

Il presente manuale offre un'ampia raccolta di metodi di valutazione dei suoli e delle terre in campo agricolo, forestale, geologico, naturalistico, ambientale e per la programmazione territoriale. Il testo è introdotto da un quadro di riferimento metodologico, utile per orientare nella scelta del procedimento di valutazione da effettuare, a cui segue una serie di schede tematiche ed esempi realizzati in Italia. Questi riguardano le principali applicazioni delle conoscenze sui suoli per una programmazione generale, per la gestione aziendale, per la scelta delle colture e per le zonazioni colturali, per la valutazione della sensibilità dei suoli al rischio di erosione, dell'attitudine allo spargimento dei reflui e per il recupero e valorizzazione dei suoli contaminati. Ogni capitolo colturale fornisce un adeguato quadro agronomico, che riassume le caratteristiche della specie coltivata, la tecnica colturale e i requisiti edafici ed agrotecnici. Vengono illustrati i fattori funzionali del suolo e dell'ambiente per la coltura in esame e sono descritte le conseguenti indicazioni operative riguardanti sia la gestione del suolo a livello aziendale, con informazioni su tecniche di impianto, sistemazione del suolo, scelta varietale, coltivazione, concimazione, irrigazione, sia la valutazione dell'attitudine delle terre a scala comprensoriale. Sono infine fornite le tabelle per l'attribuzione delle classi di attitudine dei suoli alla coltura considerata e, per alcune applicazioni territoriali, sono riportati esempi cartografici. Le schede tematiche sono presenti anche in formato digitale nel CD-rom allegato al libro.

Con scritti di:

Serafina Andiloro, Giovanni Aramini, Paolo Baldaccini, Stefano Barbieri, Devis Bartolini, Paolo Bazzoffi, Elvio Bellini, Enrico Biancardi, Claudio Bini, Sandro Bolognesi, Lorenzo Borselli, Gilberto Bragato, Pierluigi Bucelli, Francesco Calabrese, Costanza Calzolari, Stefano Campagnolo, Fabio Castelli, Giancarlo Chisci, Antonio Cimato, Caterina Colloca, Roberto Colombo, Anna Maria Corea, Edoardo A.C. Costantini, Carmelo Dazzi, Giovanni Del Bosco, Elena Franchini, Lorenzo Gardin, Andrea Giapponesi, Edgardo Giordani, Andrea Giordano, Marina Guermandi, Paolo Inglese, Luciano Lulli, Roberto Mercurio, Fabiano Miceli, Gianfranco Minotta, Daniele Morelli, Rosario Napoli, Luca Ongaro, Roberto Oppedisano, Ugo Palara, Enrico Palchetti, Raffaele Paone, Sergio Pellegrini, Mauro Piazzi, Paola Pirazzini, Marcello Raglione, Vanna Maria Sale, Paolo Sarfatti, Giampaolo Sarno, Riccardo Scalenghe, Carla Scotti, Piergiorgio Stevanato, Vincenzo Tamburino, Dino Torri, Fabrizio Ungaro, Andrea Vacca, Giuseppe Vecchio, Letizia Venuti, Santo Marcello Zimbone.

Metodi di

MINISTERO DELLE POLITICHE AGRICOLE, ALIMENTARI E FORESTALI

Osservatorio Nazionale Pedologico e per la Qualità del Suolo Agricolo e Forestale

Società Italiana della Scienza del Suolo - Commissione VI - Uso e Conservazione del Suolo

VALUTAZIONE DEI SUOLI E DELLE TERRE

METODI DI VALUTAZIONE DEI SUOLI E DELLE TERRE



Coordinatore Edoardo A.C. Costantini

Collana di metodi analitici per l'agricoltura diretta da Paolo Sequi, vol. 7

CRA - Istituto Sperimentale per lo Studio e la Difesa del Suolo, Firenze

EDIZIONI CANTAGALLI

MINISTERO DELLE POLITICHE AGRICOLE, ALIMENTARI E FORESTALI
Osservatorio Nazionale Pedologico e per la Qualità del Suolo Agricolo e Forestale

METODI DI VALUTAZIONE DEI SUOLI E DELLE TERRE

Coordinatore Edoardo A.C. Costantini

In collaborazione con:

**International Union of Soil Sciences • Società Italiana della Scienza del Suolo
Commissione VI • Uso e Conservazione del Suolo**

Collana di metodi analitici per l'agricoltura diretta da Paolo Sequi, vol. 7

**CRA - Consiglio per la Ricerca e la Sperimentazione in Agricoltura
Istituto Sperimentale per lo Studio e la Difesa del Suolo, Firenze**

EDIZIONI CANTAGALLI

In copertina: ZDENEK BURIAN (1905 - 1981), *Suoli e paesaggi agricoli*. Acquerelli conservati presso il Research Institute for Soil and Water Conservation di Praga (Repubblica Ceca).

Stampa: Edizioni Cantagalli, Siena – settembre 2006

© Edizioni Cantagalli
Siena, via Massetana Romana, 12
Settembre 2006

Premessa

Il presente manuale si colloca nella collana dei metodi analitici per l'agricoltura diretta dal prof. Paolo Sequi, direttore del CRA - Istituto Sperimentale per la Nutrizione delle Piante di Roma, ed è stato realizzato nell'ambito della "Attività straordinaria di supporto dell'Osservatorio Nazionale Pedologico e per la Qualità del Suolo Agricolo e Forestale". Il lavoro è stato coordinato dalla Commissione VI "Uso e conservazione del suolo" della Società Italiana della Scienza del Suolo¹.

Finalità del manuale è quella di fornire uno strumento operativo per pedologi, agronomi, ambientalisti e tutti gli altri specialisti che realizzano studi di valutazione del territorio agricolo e forestale o, più in generale, operano delle scelte aziendali o comprensoriali a partire dalla conoscenza della natura dei suoli. Poiché la trattazione degli argomenti non è solamente tecnica e operativa, ma anche approfondita e didattica, il testo può risultare un valido complemento per gli studenti dei corsi di laurea dove vengono acquisite le conoscenze sul suolo e la sua gestione.

Tali conoscenze si sono grandemente ampliate in Italia negli ultimi anni, grazie alle ricerche, alle sperimentazioni ed ai molti programmi di rilevamento pedologico realizzati a livello nazionale e regionale, ad opera di enti regionali, istituzioni di ricerca ed università. Gli studi per determinare l'attitudine delle terre alle colture, in particolare, hanno assunto carattere integrato ed interdisciplinare, coinvolgendo competenze riguardanti i fattori ambientali (suolo e clima in primo luogo), l'ecologia, l'agrotecnica e la genetica, la trasformazione e la valutazione analitica ed organolettica del prodotto. È nato così il concetto di "vocazione" colturale, come superamento di quello d'attitudine, in quanto conferimento al binomio coltura/terre di una connotazione di eccellenza qualitativa, che si fonda sulle sue peculiarità. E dal riconoscimento della vocazione colturale è nata l'attività di "zonazione colturale", cioè la suddivisione di un comprensorio in base alle sue caratteristiche ecopedologiche e con verifica della risposta colturale. Attività che si sta dimostrando essere uno degli strumenti più efficaci per la valorizzazione della qualità e tipicità dei prodotti che, com'è noto, è la maniera migliore per salvaguardare il territorio rurale e la chiave per il successo dell'agricoltura italiana.

Nel presente manuale non è stato possibile trattare tutti i metodi di valutazione del suolo e delle terre, per cui si è fatto riferimento alle esperienze realizzate soprattutto in Italia, pur avendo mantenuto un'impostazione

¹ Per gli anni 2003-2005, presidente: Edoardo A.C. Costantini, segretaria: Costanza Calzolari, componenti: Sergio Pellegrini, Lorenzo Borselli e Paolo Bazzoffi; 2006-2008, presidente: Edoardo A.C. Costantini, segretario: Fabio Castelli, componenti: Costanza Calzolari, Sergio Pellegrini e Riccardo Scalenghe.

metodologica che riflette le indicazioni ricavabili dalla letteratura internazionale. Anche limitandosi all'esperienza italiana, e privilegiando le valutazioni effettuate nel settore agricolo e forestale, è stato comunque ugualmente impossibile essere esaustivi sull'argomento, per cui di alcune esperienze si è fornito una indicazione bibliografica.

Come viene riportato nel testo, le possibilità di scelta tra i metodi di valutazione dei suoli e delle terre sono numerosissime, mentre sono relativamente poche le conoscenze sui rapporti che intercorrono tra i caratteri fisici delle terre, ed in particolare del suolo, e le specifiche utilizzazioni. Nella redazione del presente manuale si è quindi cercato di privilegiare la presentazione di esperienze che fornissero lo stato dell'arte su tali rapporti.

Il manuale è organizzato in due parti, la prima fornisce un quadro di riferimento metodologico, utile per orientare nella scelta del procedimento di valutazione da effettuare, ma anche per chi volesse trovarvi degli spunti per approfondimenti. Nella seconda parte è riportata un'ampia raccolta selezionata e commentata di schede tematiche su applicazioni ed esempi realizzati in Italia. Questi riguardano alcune delle più importanti applicazioni delle conoscenze sui suoli per finalità programmatiche generali e per la gestione aziendale, per la scelta delle colture e le zonazioni colturali, per la valutazione dell'attitudine dei suoli al rischio d'erosione, allo spargimento dei reflui e per il recupero e valorizzazione dei suoli contaminati.

La realizzazione delle schede è il frutto della collaborazione con gli specialisti di ogni settore, in particolare colleghi agronomi e pedologi, a cui va il merito di aver fornito un quadro conoscitivo delle tematiche in argomento aggiornato all'attualità ed una visione articolata e organica della realtà italiana ed internazionale in cui si collocano le valutazioni.

Pur non avendo un'impostazione rigida, ogni capitolo colturale è organizzato in diversi paragrafi che seguono un comune filo conduttore. I primi paragrafi forniscono un ampio quadro agronomico, che riassume le caratteristiche della specie, la tecnica colturale e i suoi requisiti edafici ed agrotecnici. La seconda serie di paragrafi illustra i fattori funzionali del suolo e dell'ambiente per la coltura in esame, quelli cioè che la sperimentazione ha dimostrato influenzare significativamente il risultato agronomico. Segue una disamina il più possibile esaustiva delle indicazioni che si possono trarre dalla conoscenza dei rapporti che intercorrono tra la natura del suolo e la coltura. Queste indicazioni riguardano sia la gestione del suolo a livello aziendale, con informazioni riguardanti le tecniche d'impianto, sistemazione del suolo, scelta varietale, coltivazione, concimazione, irrigazione, ecc., che la valutazione dell'attitudine delle terre a scala più vasta. In questa parte vengono fornite anche le tabelle per l'attribuzione delle classi di attitudine dei suoli alla coltura, le quali possono venire impiegate per le valutazioni e cartografie territoriali.

Il lettore avrà modo di apprezzare la qualità e l'enorme mole di lavoro prodotto dagli specialisti in Scienze Agrarie in generale, e in Scienza del Suolo in particolare, in Italia negli ultimi anni sul tema dell'utilizzazione e

valorizzazione delle conoscenze pedologiche. Una constatazione che non può che essere un grande motivo di soddisfazione per la disciplina e che dimostra la straordinaria importanza degli studi di Pedologia applicata. Studi che incentivano in modo particolare il dialogo, la collaborazione e la condivisione dei risultati con gli specialisti di altre discipline, agrarie e forestali, naturalistiche ed ambientali, geologiche ed ingegneristiche, nonché con gli utilizzatori dei risultati. La volontà di dialogo e collaborazione obbliga certamente il valutatore ad un notevole sforzo di trasparenza metodologica e semplificazione dei risultati, ma assicura una risposta più affidabile e duratura alle domande a cui viene chiamato a rispondere.

Concludendo, vorrei ringraziare a nome mio e dei membri della VI Commissione della SISS, che con me hanno curato i rapporti con gli autori del manuale, i tanti colleghi che hanno partecipato con entusiasmo, fiducia e generosità alla realizzazione di questa opera ed in modo particolare quelli non direttamente afferenti alla Scienza del Suolo, per la disponibilità mostrata a dare all'esposizione delle loro conoscenze un taglio funzionale alla Pedologia.

Un sentito grazie anche al prof. Donatello Magaldi, dell'Università dell'Aquila, e al dott. David Rossiter, dell'International Institute for Geo-Information Science and Earth Observation (ITC-Enschede, The Netherlands), per la rilettura critica della prima parte del manuale, nonché al dott. Ferdinando Urbano, che ha curato l'allestimento a stampa e la correzione delle bozze del volume. Infine, vorrei ringraziare il dott. Marcello Pagliai, direttore del CRA - Istituto Sperimentale per lo Studio e la Difesa del Suolo di Firenze e presidente della Società Italiana della Scienza del Suolo, per i consigli e il sostegno fornito all'iniziativa di questo manuale.

Edoardo A.C. Costantini

O fortunatos nimium, sua si bona norint, agricolas!
Virgilio – Georgicon, Liber II

Presentazione

Questo manuale s’inserisce nella collana dei metodi analitici per l’agricoltura dopo i metodi d’analisi delle acque e i metodi d’analisi fisica, chimica, microbiologica, biochimica e mineralogica del suolo.

La necessità di un manuale di questo genere è motivata dal fatto che negli ultimi decenni stiamo assistendo a tangibili cambiamenti non solo climatici, ma anche ambientali e del sistema agricolo: da un lato si assiste ad un intensificarsi dei processi di degradazione del suolo (erosione, compattamento, impermeabilizzazione, consumo di suolo, perdita di sostanza organica e di struttura, salinizzazione, desertificazione, ecc.) dovuti senza dubbio ad una non corretta gestione del territorio; dall’altro lato ad un radicale cambiamento del modo di fare agricoltura. L’agricoltura tradizionale e intensiva sta lasciando il posto ad un’agricoltura multifunzionale il cui scopo primario non è più la quantità, ma, semmai, la qualità dei prodotti in un contesto non solo di protezione dell’ambiente, ma di valorizzazione dell’ambiente stesso: “agricoltura che produce paesaggio”.

Il suolo rappresenta quindi l’elemento essenziale sia per la protezione dell’ambiente sia per consentire meglio la multifunzionalità dell’agricoltura, attraverso la pianificazione di un corretto uso del suolo stesso.

Scopo di questo manuale è proprio quello di fornire utili elementi per programmare detto corretto uso del suolo, anche alla luce dell’applicazione della Nuova Politica Agricola Comune (PAC). Com’è noto, il 26 giugno 2003 il Consiglio dei Ministri dell’Agricoltura dell’Unione Europea ha approvato una radicale riforma a carico della PAC, la così detta “Condizionalità”, destinata a rivoluzionare le modalità di sostegno dell’intero settore da parte della UE per i prossimi 10 anni; infatti, l’erogazione degli incentivi sarà subordinata al rispetto di specifiche norme in materia di salvaguardia ambientale, sicurezza alimentare e protezione degli animali.

Altro aspetto è quello della sfida futura della nostra agricoltura, da giocare tutta sulle colture di qualità e sulle colture tipiche, così come il corretto uso del suolo basato sulla vocazione del territorio, cioè sul conferimento al binomio coltura/terre di una connotazione di eccellenza qualitativa, che si fonda sulle sue peculiarità. Molto spesso la coltura di qualità diventa anche coltura di riferimento come immagine trainante di un territorio. Oggi si parla, infatti, di

“qualità totale del territorio” cioè il territorio gestito in funzione della qualità dei prodotti, conservazione del suolo e degli ecosistemi, salubrità dell’ambiente, bellezza del paesaggio.

Il manuale fornisce gli strumenti conoscitivi per valorizzare le potenzialità delle terre e condurre la migliore gestione agrotecnica, partendo dalla conoscenza del suolo.

Il manuale si colloca nella strategia dell’Osservatorio Nazionale Pedologico e per la Qualità del Suolo Agricolo e Forestale del Ministero delle Politiche Agricole, Alimentari e Forestali che, assieme alle Regioni, realizza l’introduzione della conoscenza del suolo nelle scelte di gestione del territorio a livello nazionale, regionale e locale.

Tale attività dell’Osservatorio Nazionale Pedologico ha già visto realizzati numerosi progetti, tra cui la formazione dei nuclei pedologici regionali e il progetto Carta dei suoli d’Italia a scala 1:250.000, che hanno prodotto quelle conoscenze di base che potranno essere ora, tramite la pubblicazione del presente manuale, più adeguatamente valorizzate.

Il più vivo apprezzamento quindi al curatore di questo volume, Dr. Edoardo Costantini del C.R.A. – Istituto Sperimentale per lo Studio e la Difesa del Suolo, per la splendida realizzazione di un’opera nuova nel suo genere e indistintamente a tutti gli autori dei diversi contributi per il lavoro svolto.

Giuseppe Serino

Direttore Generale dello Sviluppo Rurale, Dipartimento delle Politiche di Sviluppo del Ministero delle Politiche Agricole, Alimentari e Forestali, Presidente dell’Osservatorio Nazionale Pedologico e per la Qualità del Suolo Agricolo e Forestale

Paolo Sequi

Direttore del C.R.A. – Istituto Sperimentale per la Nutrizione delle Piante di Roma e Coordinatore dell’Osservatorio Nazionale Pedologico e per la Qualità del Suolo Agricolo e Forestale

Marcello Pagliai

Direttore del C.R.A. – Istituto Sperimentale per la Difesa del Suolo di Firenze e Vice Coordinatore dell’Osservatorio Nazionale Pedologico e per la Qualità del Suolo Agricolo e Forestale

SOMMARIO

PRESENTAZIONE

PREMESSA

Parte I. La valutazione dei suoli e delle terre

1. La valutazione dei suoli e delle terre: storia, definizioni e concetti
Costanza Calzolari, Edoardo A.C. Costantini, Letizia Venuti

Parte II. La valutazione dei suoli e delle terre a fini specifici: applicazioni ed esempi

Valutazioni ai fini programmatori generali

2. Capacità d'uso dei suoli
Edoardo A.C. Costantini
3. Capacità protettiva dei suoli nei confronti dell'inquinamento
Costanza Calzolari, Fabrizio Ungaro
4. Attitudine dei suoli all'irrigazione
Paolo Baldaccini, Andrea Vacca
5. Valutazione dell'erosione del suolo
Paolo Bazzoffi
6. Indici di rugosità superficiale del suolo a fini modellistici
Paolo Bazzoffi, Lorenzo Borselli, Sergio Pellegrini, Dino Torri
7. Valutazione dell'erodibilità del suolo in applicazioni a scala di bacino
Lorenzo Borselli

8. Valutazione del gruppo idrologico del suolo (HSG) secondo la procedura SCS curve number

Devis Bartolini, Lorenzo Borselli

9. Valutazione delle terre per i Paesi in Via di Sviluppo

Luca Ongaro, Paolo Sarfatti

Valutazioni attitudinali per la gestione aziendale e per la programmazione a livello locale

Attitudine dei suoli alle colture erbacee: cereali

10. Frumento tenero

Giancarlo Chisci, Letizia Venuti

11. Frumento duro

Giancarlo Chisci, Letizia Venuti

12. Mais

Letizia Venuti, Giancarlo Chisci

13. Riso

Giancarlo Chisci

Attitudine dei suoli alle colture erbacee: foraggiere

14. Erba medica

Letizia Venuti, Giancarlo Chisci

15. Patata

Luciano Lulli, Enrico Palchetti, Giuseppe Vecchio

16. Tabacco

Fabio Castelli, Edoardo A.C. Costantini

17. Soia

Fabiano Miceli, Stefano Barbieri

18. Barbabietola da zucchero

Enrico Biancardi, Piergiorgio Stevanato

Attitudine dei suoli alle colture di nicchia

19. Farro

Giancarlo Chisci

20. Tartufi eduli

Gilberto Bragato, Lorenzo Gardin, Luciano Lulli, Marcello Raglione

21. Frassino da manna

Carmelo Dazzi, Giovanni Fatta Del Bosco

22. Cipolla di Tropea

Giovanni Aramini, Caterina Colloca, Anna Maria Corea, Raffaele Paone

23. Ficodindia

Paolo Inglese, Riccardo Scalenghe

24. Lenticchia

Letizia Venuti

Attitudine dei suoli alle colture arboree: colture da legno

25. Frassino maggiore

Sergio Pellegrini

26. Noce e ciliegio

Rosario Napoli, Roberto Mercurio

Attitudine dei suoli alle colture arboree: colture da frutto

27. Agrumi

Francesco Calabrese, Carmelo Dazzi

28. Vite da vino e zonazioni vitivinicole

Pierluigi Bucelli, Edoardo A.C. Costantini

29. Olivo

Elena Franchini, Antonio Cimato, Edoardo A.C. Costantini

30. Il pesco

Elvio Bellini, Edgardo Giordani, Daniele Morelli

31. Il melo

Elvio Bellini, Edgardo Giordani, Daniele Morelli

32. L'actinidia

Elvio Bellini, Edgardo Giordani, Daniele Morelli

33. Il pero

Elvio Bellini, Edgardo Giordani, Daniele Morelli

34. Il susino

Elvio Bellini, Edgardo Giordani, Daniele Morelli

35. Il ciliegio

Elvio Bellini, Edgardo Giordani, Daniele Morelli

36. L'albicocco

Elvio Bellini, Edgardo Giordani, Daniele Morelli

37. La conoscenza dei suoli applicata alla coltivazione di colture arboree

Carla Scotti

Attitudine dei suoli forestali e pastorali

38. Conifere forestali: Abete rosso, Abete bianco, Larice e Pino silvestre

Andrea Giordano

39. Attitudine dei suoli al pascolo

Paolo Baldaccini, Andrea Vacca

Attitudine dei suoli allo spandimento di reflui e valorizzazione dei suoli contaminati

40. Attitudine dei suoli allo spandimento dei reflui

Costanza Calzolari, Marina Guermandi, Giovanni Aramini, Caterina Colloca, Anna Maria Corea, Raffaele Paone, Vincenzo Tamburino, Santo Marcello Zimbone, Serafina Andiloro

41. Soil restoration: recupero e valorizzazione dei suoli contaminati

Claudio Bini

Appendice

Appendice: specifiche delle proprietà e qualità dei suoli

Ministero delle Politiche Agricole, Alimentari e Forestali
Osservatorio Nazionale Pedologico e per la Qualità del Suolo Agricolo e Forestale

In collaborazione con:
International Union of Soil Sciences
Società Italiana della Scienza del Suolo
Commissione VI - Uso e Conservazione del Suolo

CALZOLARI, C., COSTANTINI, E.A.C., VENUTI, L., 2006. *La valutazione dei suoli e delle terre: storia, definizioni e concetti*. In: Costantini, E.A.C. (Ed.), *Metodi di valutazione dei suoli e delle terre*, Cantagalli, Siena, pp. 922.

Collana dei metodi analitici per l'agricoltura diretta da Paolo Sequi, vol. 7

CRA - Consiglio per la Ricerca e la Sperimentazione in Agricoltura
Istituto Sperimentale per lo Studio e la Difesa del Suolo, Firenze

1. La valutazione dei suoli e delle terre: storia, definizioni e concetti

Costanza Calzolari¹, Edoardo A.C. Costantini², Letizia Venuti¹

1.1. Introduzione	3
1.2. La valutazione delle terre nei diversi contesti culturali e operativi	5
1.3. I tipi e logiche di valutazione delle terre.....	6
1.4. I principali riferimenti internazionali.....	14
1.4.1. La classificazione della Capacità d'Uso (Land Capability Classification) ...	14
1.4.2. La classificazione dell'attitudine all'irrigazione del United States Bureau of Reclamation	14
1.4.3. Soil Fertility Capability Classification (FCC)	15
1.4.4. Lo schema di valutazione delle terre della FAO	15
1.4.5. La zonazione agroecologica: Agro-ecological Zones FAO	16
1.5. I concetti di base della valutazione delle terre	17
1.5.1. Definizione dell'entità spaziale oggetto della valutazione	17
1.5.2. Il tipo di utilizzazione delle terre	17
1.5.3. I caratteri e qualità delle terre	18
1.5.4. Requisiti colturali, territoriali, d'uso	19
1.5.5. Il procedimento di valutazione: fase di confronto (matching).....	20
1.5.6. La struttura delle classificazioni	21
1.5.7. La spazializzazione della valutazione	21
1.5.8. La valutazione delle terre e i GIS	21
1.5.9. L'affidabilità della valutazione delle terre (con la collaborazione di Fabrizio Ungaro)	22
1.6. Recenti evoluzioni nella valutazione del territorio	25
1.6.1. I sistemi esperti.....	25
1.6.2. La modellistica fisico-matematica.....	26
1.6.3. Il modello DPSIR (con la collaborazione di Andrea Vacca).....	38
Bibliografia	40

¹CNR-IRPI - Istituto Ricerca Protezione Idrogeologica, Unità di Firenze - Pedologia Applicata

²CRA - Istituto Sperimentale per lo Studio e la Difesa del Suolo, Firenze

1.1. Introduzione

La valutazione dei suoli e delle terre è un sistema di classificazione che valuta per una certa porzione di territorio l'uso ottimale o le eventuali limitazioni ad usi più o meno specifici. Sebbene vi siano testimonianze d'esperienze di valutazione delle terre antiche quanto l'introduzione dell'utilizzo agricolo del suolo, è solo a partire dalla diffusione della pedologia come scienza autonoma e della cartografia pedologica, cioè dall'inizio del secolo scorso, che la valutazione dei suoli e delle terre ha assunto una prospettiva prettamente territoriale. Poiché queste metodologie sono state messe a punto soprattutto in ambito internazionale, a partire da esperienze realizzate in paesi di cultura anglosassone, si è affermato tra pedologi e valutatori il termine "*land evaluation*" per indicare i metodi e le attività di valutazione dei suoli e delle terre. La traduzione del termine "*land*" nella letteratura italiana non è univoca. Infatti, sono spesso usati i termini "territorio", "terra", "terre" o "suolo", assieme a "valutazione", come traduzione dell'espressione "*land evaluation*". Il termine "*land*" è definito dalla Food and Agriculture Organisation delle Nazioni Unite (FAO, 1985) come "un tratto di superficie terrestre le cui caratteristiche comprendono tutti gli attributi, stabili o prevedibilmente ciclici, della biosfera [...] inclusi quelli dell'atmosfera, del suolo, della geologia, dell'idrologia, le piante e le popolazioni animali, e i risultati dell'attività umana presente e passata".

Come discusso da Giordano (1983), il termine "territorio", usato spesso come traduzione del termine "*land*", contiene un'accezione politico-amministrativa estranea al termine inglese, mentre la parola italiana "terra" o anche il suo plurale "terre", sembra meglio corrispondere. È anche vero, infatti, che, in molte applicazioni, il supporto fisico della valutazione delle terre è costituito dall'unità cartografica (*mapping unit*), presupponendo che essa individui un'area con un certo grado di omogeneità delle caratteristiche fisiche considerate nella valutazione. L'oggetto della valutazione può però anche essere il suolo di per sé, o meglio la "tipologia di suolo", intendendo con questo termine un insieme di suoli con alcuni caratteri e proprietà simili, ed in questo caso si usa il termine "valutazione del suolo" per tradurre l'inglese "*soil evaluation*".

Il suolo, secondo la definizione della Soil Taxonomy (1999), è un corpo naturale, presente sulla superficie della terra, formato da materiali solidi (minerali e materia organica), liquidi e gas. Il suolo occupa spazio, ed è caratterizzato da uno o da entrambi i seguenti elementi: 1) la presenza di orizzonti, o strati, che sono distinguibili dal materiale iniziale come conseguenza di aggiunte, perdite, trasferimenti e trasformazioni di energia e materia; 2) la capacità di sostenere piante aventi apparato radicale in un ambiente naturale. Il limite superiore del suolo è costituito dal confine con l'aria, con acqua poco profonda, piante, o materiale vegetale non decomposto.

La superficie terrestre è considerata priva di suolo se permanentemente coperta da acqua troppo profonda per lo sviluppo delle piante ad apparato radicale (in genere più di 2,5 metri). Il limite inferiore del suolo è più difficile da definire. Il suolo consiste d'orizzonti che, contrariamente al materiale genitore sottostante, sono stati alterati nel tempo dalle interazioni del clima, del rilievo e degli organismi viventi. Comunemente, al limite inferiore, il suolo sfuma gradualmente verso la roccia, coerente o incoerente, virtualmente priva di attività biologica.

Nel presente manuale si è adottata una distinzione terminologica tra “valutazione dei suoli e delle terre”, come traduzione degli equivalenti anglosassoni “*land and soil evaluation*”, e “pianificazione del territorio” come traduzione della locuzione “*land planning*” nei casi in cui vi sia un’indubbia base territoriale, in senso politico-amministrativo, delle procedure di pianificazione.

Tornando alla “*land evaluation*”, questa è definita dalla FAO come “il processo attraverso il quale viene valutata la prestazione di un tratto di terra quando questo è utilizzato per fini specifici” (FAO, 1985). Un’altra definizione (Van Diepen et al., 1991), chiama direttamente in causa l’esistenza di diversi usi possibili, definendo la valutazione delle terre come l’insieme di “tutti i metodi per spiegare o predire l’uso potenziale delle terre”. Secondo Dent e Young (1981), infatti, lo scopo fondamentale della valutazione delle terre è quello di prevedere le conseguenze di un cambiamento. Il processo di valutazione comprende “l’esecuzione e l’interpretazione dei rilevamenti e degli studi sulle forme, sui suoli, sulla vegetazione, sul clima e sugli altri aspetti del territorio utili a identificare e comparare i tipi di utilizzazione più promettenti per gli obiettivi della valutazione”.

È importante sottolineare quelli che appaiono essere i principali motivi del successo che la *land evaluation* ha universalmente ottenuto. Il primo è costituito dalla trasparenza, semplicità e linearità del processo valutativo. Il secondo è che le cartografie tematiche prodotte a partire dalle carte dei suoli sono risultate uno strumento molto utile a rendere facilmente comprensibile e applicabile dagli utilizzatori l’informazione pedologica, altrimenti ostica per i non specialisti.

Nel prosieguo del testo verranno evidenziati anche i limiti che permangono nel processo di valutazione delle terre. Uno dei principali è la carenza di conoscenze sui caratteri funzionali del suolo e dell’ambiente. Se è vero, infatti, che nel corso degli anni le tecniche e i metodi di valutazione del suolo e delle terre si sono moltiplicati enormemente, soprattutto per l’aumento delle possibilità di acquisizione ed elaborazione dei dati offerte dai mezzi informatici, le conoscenze delle condizioni e dei processi che determinano le risposte della pianta e del suolo stesso alle diverse condizioni ambientali e all’azione dell’uomo non sono andate avanti di pari passo, soprattutto per la carenza di prove sperimentali specifiche.

D'altra parte, risulta obiettivamente difficile aggiornare il panorama di conoscenze che legano l'ambiente alla pianta, all'agrotecnica e alla gestione aziendale, in una realtà sempre più dinamica e che produce continuamente innovazioni importanti nel campo della genetica, dell'agrotecnica, della meccanizzazione, ecc., e soprattutto in un contesto socio-economico come quello italiano, sempre più condizionato dalle normative europee e dagli effetti del mercato globale, piuttosto che della vocazione agricola locale.

1.2. La valutazione delle terre nei diversi contesti culturali e operativi

Nonostante la valutazione delle terre abbia come fondamento culturale unificante la conoscenza dei suoli, cioè dei loro caratteri, qualità e distribuzione geografica, le metodologie di valutazione delle terre possono avere una serie pressoché infinita di variazioni, secondo il contesto culturale ed applicativo in cui vengono realizzate. La valutazione delle prestazioni di un determinato tratto di terra, infatti, è presente in ogni processo di pianificazione delle attività che in esso si svolgono. Queste si realizzano ad ogni livello e scala geografica: dalla scala aziendale a quelle più generali. A scala aziendale la valutazione viene fatta in funzione delle esigenze dell'agricoltore, il quale poi decide, anche in base a considerazioni economiche, sociali e culturali, che destinazione dare alle proprie terre. A scala più generale, municipale, consortile, regionale o nazionale, è la collettività, diversamente definita e costituita, che adotta le forme di pianificazione del suo territorio più idonee alle finalità individuate.

Le diverse finalità determinano il focalizzarsi dell'attenzione su aspetti diversi della valutazione; è per questo motivo che nell'ambito della *land evaluation* si trovano numerosi altri concetti utilizzati spesso come sinonimi o con accezioni affatto differenti. Con "capacità d'uso", ad esempio, traduzione del termine anglosassone "*capability*", s'intende un'attitudine di un tratto di terra non per specifiche colture o pratiche agricole, ma per ampi sistemi agro-silvo-pastorali, in relazione al loro uso sostenibile. Il termine fa specifico riferimento alla classificazione americana della *Land Capability Classification*, che verrà trattata in dettaglio nella seconda parte di questo manuale. Con il termine "attitudine all'uso" s'intende invece una specifica idoneità, o adeguatezza, di un tratto di terra per un uso specifico; è il termine utilizzato per tradurre l'inglese "*suitability*". Valutazione dell'attitudine ad un determinato uso è quindi la traduzione dell'espressione anglosassone "*Land Suitability Evaluation*". Vocazione delle terre è in qualche modo sinonimo di attitudine all'uso, anche se il termine vocazione contiene al suo interno un'accezione "positiva", non necessariamente contenuta nel termine "attitudine", che anzi è spesso basata sul concetto di "limitazione all'uso". È un termine che proviene da una cultura più prettamente agronomica ed ha in sé una notazione di "peculiarità" di caratteri ambientali, che determinano il

successo anche qualitativo, oltre che produttivo, di una coltura. Il riconoscimento di vocazionalità d'alcune terre per una coltura è un fatto che arriva a trascendere l'ambito tecnico e a coinvolgere anche il sociale. Ciò avviene quando il riconoscimento di vocazionalità diventa universale e connota l'immagine stessa di un intero comprensorio. In tal modo anche le altre colture di qualità prodotte in quel territorio acquisiscono un valore aggiunto, che è spendibile sul mercato. Un esempio conosciuto a tutti è quello delle terre dove si producono i grandi vini.

Quando poi la valutazione dei suoli e delle terre si confronta con tematiche più a valenza ambientale, ad esempio il rischio di inquinamento collegato ad alcune pratiche agricole, vengono frequentemente usati termini quali "uso sostenibile", "sensibilità", "rischio", "vulnerabilità" e "resilienza" del suolo.

Un uso sostenibile delle terre (*sustainable land use*) è una forma d'utilizzazione che può essere praticata per un periodo indefinito di tempo, senza causare degradazione o depauperamento delle risorse. Nell'esame dei possibili usi del suolo alternativi, siano essi agricoli, forestali o altro, è ovviamente necessario evitare utilizzazioni "di rapina", evitando tipi d'utilizzazione che, se a breve termine forniscono alti redditi, possono portare a fenomeni di erosione accelerata, inquinamento delle falde, cambiamento nei regimi idrici dei corsi d'acqua od altre forme di degrado.

Quando si utilizza il termine "sensibilità" del suolo, si fa riferimento alla tendenza che può avere il suolo a subire rapidi cambiamenti, in dipendenza di pressioni, naturali o antropiche, che vengono esercitate su di esso. Ad esempio, un suolo sensibile al compattamento è un suolo che può facilmente compattarsi a seguito di coltivazione con macchinari agricoli pesanti.

Il termine "vulnerabilità" sottintende la tendenza del suolo a subire modificazioni irreversibili. Un esempio di vulnerabilità è quello di un suolo molto sottile, che può essere completamente asportato da fenomeni di erosione idrica superficiale accelerata. Il "rischio" d'erosione del suolo, in questo caso, è determinato dall'interazione tra la sua vulnerabilità e la probabilità che si verifichino le condizioni per il determinarsi del processo erosivo di intensità elevata.

La "resilienza" del suolo, infine, è la sua capacità di rigenerazione a fronte di una perturbazione esterna. Negli esempi precedenti, la capacità che ha il suolo di autostrutturarsi e ricostruire gli aggregati naturali dopo la compattazione, oppure la velocità di neogenesi, cioè di formazione di nuovo suolo al posto di quello eroso.

1.3. I tipi e logiche di valutazione delle terre

Esistono molti sistemi di valutazione delle terre che usano diverse tecniche e diverse basi concettuali. Una discussione approfondita può essere trovata in Van Diepen et al. (1991) e in Rossiter (1996). Nel primo articolo viene

presentata una rassegna critica dei metodi utilizzati fino a quel momento; l'articolo di Rossiter (1996) presenta per la prima volta un tentativo di inquadramento teorico, unificante e sistematico, dei tipi di valutazione delle terre. Semplificando, la classificazione proposta da Rossiter (1996) suddivide i diversi tipi di valutazione delle terre in base all'approccio spaziale (modelli spaziali o meno) e temporale (dinamici o statici) utilizzato e all'uso del concetto di qualità delle terre (anche discusso in Van Diepen et al., 1991).

Da un punto di vista operativo, la struttura fondamentale del procedimento di valutazione delle terre può essere così schematizzata: i) identificazione degli utenti (amministratori, tecnici, agricoltori, consorzi, ecc.) e definizione dei problemi; ii) definizione di un'area geografica o di un'entità spaziale oggetto della valutazione; iii) definizione delle forme di utilizzazione dell'area considerata; iv) definizione dei requisiti delle forme di utilizzazione individuate; v) definizione delle proprietà fisiche dell'area considerata, che di norma sono misurabili e che risultano importanti per le forme di uso individuate; vi) definizione dei modelli per la valutazione; vii) esecuzione della valutazione, calibrazione e presentazione dei risultati.

La valutazione delle terre, così come è stata definita, può essere realizzata direttamente, valutando i risultati ottenuti su di una particolare area, o indirettamente, analizzando le caratteristiche fisiche delle terre, interpretandole positivamente o negativamente in funzione di un uso specifico o per fini generali. Nel primo caso la valutazione si baserà su esperimenti di campo, analisi economiche aziendali o statistiche agricole, in dipendenza dalla scala della valutazione. Poiché questi dati sono spesso non disponibili o discontinui nel tempo e nello spazio e difficili da estrapolare dal contesto nel quale sono stati rilevati, si ricorre ai sistemi indiretti, basati sulle caratteristiche del suolo e delle terre, presupponendo una correlazione fra queste e le produzioni, a parità di livello di input energetico e tecnologico della gestione. In realtà questa divisione non è rigida, in quanto anche nella valutazione di tipo indiretto appaiono spesso valutazioni di caratteri economici quali produzioni, costi per interventi agronomici, ecc.

Alcuni sistemi si riferiscono ad usi agro-silvo-pastorali delle terre mentre altri sono relativi ad usi ingegneristici o a scopi di protezione del suolo (ad esempio, dall'inquinamento o dall'erosione). All'interno dei sistemi di valutazione a fini agricoli si distinguono i sistemi di valutazione con finalità generali, quando l'interpretazione delle caratteristiche ambientali è fatta unicamente per indicare le potenzialità e i limiti di utilizzo agricolo e forestale di un territorio, da quelli a fini specifici, quando cioè la valutazione prende in considerazione un uso o una agrotecnica particolare, come ad esempio la produzione di grano tenero o di mais in regime irriguo, oppure lo spargimento di liquami zootecnici. Sempre in ambito agricolo un'altra distinzione può essere fatta fra un tipo di valutazione delle terre che consideri un uso attuale di queste oppure un uso potenziale, cioè che valuti la possibilità di inserire colture nuove, magari dopo interventi di bonifica agraria (irrigazione, drenaggio, ecc.).

La valutazione dei suoli e delle terre può essere espressa in termini qualitativi, semi quantitativi o quantitativi. L'approccio di tipo qualitativo può consistere semplicemente in una descrizione dell'attitudine delle terre ai diversi tipi di uso considerati, oppure in una suddivisione in classi o livelli di attitudine (struttura gerarchica). In alcuni approcci di tipo qualitativo esiste comunque una componente di tipo quantitativo, che si esprime attraverso l'applicazione del fattore limitante e che implica una conoscenza più o meno quantitativa della condizione ottimale e dello scostamento da questa. Alcuni metodi infine utilizzano dati qualitativi che vengono differentemente pesati e combinati per ottenere un risultato espresso numericamente. Più frequente è la valutazione semi-quantitativa, per la quale si considera una produzione di riferimento e si stabiliscono alcune classi di valutazione espresse come frazione percentuale della produzione obiettivo. Un esempio di questo sistema di valutazione sono i cosiddetti "*single-factor systems*". Essi rappresentano quantitativamente l'influenza di una caratteristica delle terre, ad esempio sulla resa di una coltivazione, mediante una curva della risposta della resa al variare di un singolo fattore. Tale approccio si adatta bene al caso in cui esiste un singolo parametro che ha un effetto chiaramente positivo o negativo su quel determinato uso (per esempio la profondità del suolo). Non viene infatti considerata l'interazione di più fattori, anche se si possono combinare assieme le singole curve di risposta per formare un unico indice di attitudine (De La Rosa, 2002).

Anche i cosiddetti metodi aritmetici o parametrici rappresentano un approccio di tipo semi-quantitativo alla valutazione delle terre, in quanto si trovano a metà strada fra i metodi qualitativi, basati unicamente sul giudizio di esperto, e quelli quantitativi, che consistono nell'applicazione di modelli matematici. Essi definiscono quantitativamente gli effetti delle varie caratteristiche delle terre su un uso del suolo, esprimendo il risultato finale numericamente, come soluzione di una formula matematica. I metodi parametrici possono essere additivi ($\text{indice} = A + B + C + D + \dots$) o moltiplicativi ($\text{indice} = A * B * C * D * \dots$). Nel metodo moltiplicativo i vari punteggi ("*ratings*") attribuiti alle diverse caratteristiche vengono moltiplicati fra loro, ottenendo un unico punteggio finale. Questo metodo ha il vantaggio che nel punteggio finale viene tenuto conto del peso di ogni fattore. Lo svantaggio è che il valore complessivo delle terre può risultare anche notevolmente inferiore al punteggio di ognuno dei fattori considerati (De La Rosa, 2002).

Il primo esempio di sistema moltiplicativo è lo *Storie Index Rating* (SIR), sviluppato nel 1933 da R.E. Storie (Storie, 1933, 1978), che valuta i suoli in base alla loro attitudine ad un tipo generico di agricoltura intensiva. L'indice viene calcolato moltiplicando fra loro alcuni punteggi relativi alle caratteristiche del suolo: caratteristiche del profilo e profondità (A), tessitura superficiale (B), pendenza (E), caratteri che influiscono sulle proprietà del suolo come drenaggio, salinità, alcalinità ed erosione (X). Ciascun fattore viene valutato su

una scala da 1 a 100, dove 100 rappresenta il valore massimo e quindi ottimale, mentre valori inferiori rappresentano condizioni progressivamente meno adatte alla coltivazione intensiva. I singoli fattori vengono valutati secondo il giudizio di esperto e in seguito ad osservazioni in campo. I suoli, quindi, vengono classificati come mostrato in tabella 1.1.

Tabella 1.1. Classificazione dei suoli secondo il sistema SIR.

GRADO	INDEX RATING
Grado 1	80-100
Grado 2	60-80
Grado 3	40-60
Grado 4	20-40
Grado 5	10-20
Grado 6	<10

I suoli di grado 1 sono ottimali per un generico tipo di agricoltura intensiva; i suoli di grado 2 sono adatti all'agricoltura sebbene non siano ottimali come i suoli precedenti; i suoli di grado 3 sono abbastanza adatti; i suoli di grado 4 sono poco adatti; i suoli di tipo 5 sono molto poco adatti; i suoli di grado 6, infine, non sono affatto adatti (FAO, 1967).

I primi esempi di applicazione di valutazione delle terre pubblicati in Italia, come ad esempio la "Carta della potenzialità all'uso dei suoli d'Italia" pubblicata da Mancini e Ronchetti nel 1968, utilizzavano proprio un sistema di tipo SIR.

Nel metodo additivo, come in quello moltiplicativo, a ciascuna caratteristica viene assegnato un punteggio in base alla sua risposta all'uso considerato; i vari fattori, però, invece di essere moltiplicati fra loro, vengono sommati oppure vengono sottratti da una quota massima pari a 100, ottenendo così il punteggio finale. Anche in questo caso ci sono dei vantaggi e degli svantaggi connessi. Fra i primi possiamo considerare:

- non c'è un limite massimo al numero di parametri che si possono prendere in considerazione, come avviene invece nel metodo moltiplicativo;
- nessun fattore ha un peso tale da influenzare pesantemente il punteggio finale.

Fra gli svantaggi:

- è un sistema che diventa piuttosto complesso all'aumentare dei fattori;
- vi è la possibilità di ottenere valori negativi.

Esiste poi un metodo combinato, che usa entrambi gli approcci (moltiplicativo e additivo). In questo caso si usa il metodo additivo per ottenere i singoli punteggi (*“factor rating”*) e il metodo moltiplicativo per combinarli assieme nel punteggio finale. Il vantaggio di questo approccio è quello di non minimizzare, ma neppure amplificare, l'effetto di ciascun fattore sul valore finale. Per contro, bisogna affrontare una maggior complessità di calcolo (vedi, ad esempio, De La Rosa, 2002).

I cosiddetti metodi parametrici, nella loro semplicità, sono facili da comprendere, da applicare e da adattare alle esigenze locali. Tuttavia, bisogna evidenziare che la loro obiettività e precisione possono risultare illusorie in quanto l'attribuzione dei punteggi è comunque una scelta soggettiva, che richiede un'attenta validazione nella situazione locale. Inoltre, se essi si prestano bene a stimare qualità delle terre da utilizzare nella valutazione, danno poche indicazioni sulle conseguenze della scelta di un determinato uso.

Infine, negli approcci di tipo quantitativo si fa riferimento a quantità di produzione ottenibile, o comunque a dati misurabili. Poiché è necessario disporre di dati rilevati in campo su molti suoli in condizioni rappresentative, nella pratica è un sistema poco diffuso.

La modellistica rientra anch'essa in questo contesto, quando i modelli siano supportati da una certa quantità di dati affidabili. Il livello di dettaglio dei dati a disposizione consente, infatti, di costruire un modello di risposta delle terre alle diverse destinazioni d'uso e quindi di effettuare una valutazione conforme alla definizione tradizionale di valutazione delle terre, cioè la valutazione della prestazione di un determinato tratto di terra destinato ad usi specifici (FAO, 1985).

Un esempio di tale procedura è riportato nel capitolo sulla valutazione della capacità protettiva del suolo, nel quale la modellistica è stata utilizzata per definire le classi di rischio (Calzolari et al., 2001b).

Spesso l'applicazione di modelli al processo di valutazione delle terre si traduce nella stima della produzione potenziale di un sistema colturale, in quanto il valore della terra si riflette nella sua produttività. A volte, tuttavia, i modelli vengono semplicemente utilizzati per stimare indirettamente le qualità delle terre che vengono successivamente impiegate nella valutazione.

La principale difficoltà nell'applicazione di metodi completamente quantitativi è la necessità di disporre di un elevato numero di dati continui nello spazio. Ciò è facilitato oggi dall'impiego di sistemi di rilevamento che consentono la raccolta di dati più o meno continui (come, ad esempio, il telerilevamento) e alla disponibilità di strumenti informatici capaci di elaborare un elevato numero di dati.

Il progresso in campo informatico ha portato ad un'evoluzione nelle metodologie di valutazione delle terre, incrementando l'impiego d'approcci sempre più quantitativi, essenzialmente di tipo modellistico. Secondo Hoosbeek e Bryant (1992), i modelli possono essere classificati in base a 3 caratteristiche: grado di generalizzazione, complessità e livello gerarchico di scala. Analoga classificazione può essere utilizzata nei confronti dei modelli per la valutazione delle terre (figura 1.1) (Bouma, 2000). In ordinata è riportata la scala di riferimento alla quale si possono descrivere i processi, da quella globale a quella molecolare, passando per l'origine, rappresentata dal pedon/plot. Le due ascisse perpendicolari rappresentano il livello di conoscenza: una è relativa al grado di generalizzazione, e va dall'approccio qualitativo a quello quantitativo, l'altra rappresenta il grado di complessità di descrizione dei processi, che va dall'approccio empirico-statistico a quello fisico-meccanicistico.

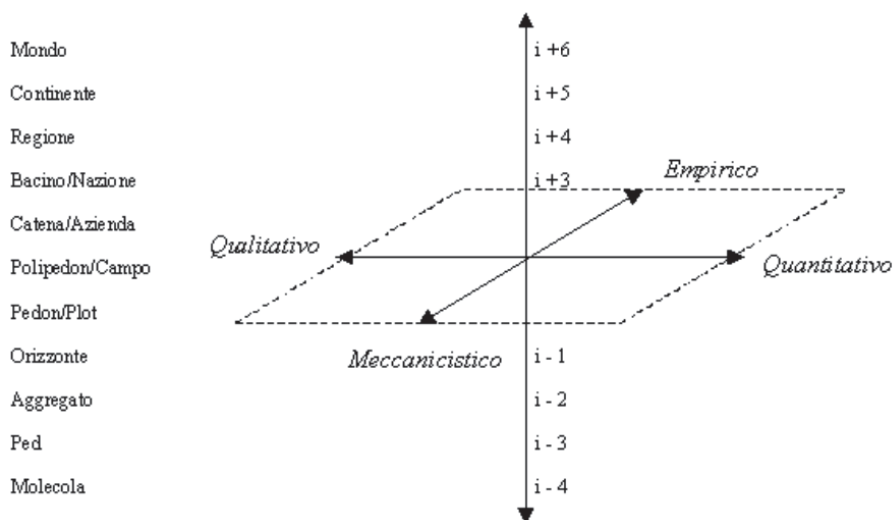


Figura 1.1. Caratteristiche dei modelli (da Hoosbeek e Bryant, 1992, modificato).

Le logiche di calcolo sulle quali si basano i modelli matematici per la valutazione delle terre possono essere diverse. Le principali sono la logica booleana, la logica *fuzzy* e le reti neurali artificiali.

Logica booleana

Nella logica booleana, i limiti di un insieme sono nettamente definiti, per cui un elemento appartiene o non appartiene ad un determinato insieme. È la logica del vero o falso, utilizzata tradizionalmente nelle scienze applicative e, nel caso della valutazione delle terre, la logica che permea il metodo FAO (1976). Secondo tale approccio, una terra può essere molto adatta, moderatamente adatta, marginalmente adatta o non adatta. Non esiste la possibilità di descrivere le sfumature fra le classi, in quanto le classi intermedie non vengono contemplate.

Logica fuzzy

Se è vero che la valutazione delle terre tradizionale si basa su un approccio di tipo booleano, oggi tale approccio può risultare inadeguato a rappresentare una realtà come quella delle risorse naturali, che è di per sé inesatta e soggetta ad un tipo di variabilità continua piuttosto che discreta. La logica *fuzzy* (letteralmente “confusa”, “sfocata”), consente di effettuare operazioni logiche senza utilizzare la rigidità tipica della logica booleana.

Nella logica booleana un oggetto appartiene oppure no ad un determinato insieme, i cui limiti sono rigidamente definiti: nel primo caso questo assume valore 1, nel secondo 0. Nella logica *fuzzy*, invece, i limiti dell’insieme sono sfocati ed un oggetto viene definito da un certo grado di appartenenza ad esso, grado definito da un numero fra zero e uno. Un insieme *fuzzy* è quindi un insieme nel quale non c’è un confine ben preciso e definito fra gli oggetti che vi appartengono e quelli che non vi appartengono (Faggiani, 1999), ma i confini sono sfumati, sfocati.

La logica *fuzzy* si presta particolarmente in quei casi in cui si vuole minimizzare l’influenza sulla valutazione complessiva delle terre di una proprietà, caratteristica o qualità, avente un valore appena al di fuori di uno specifico intervallo (Burrough, 1989). Nella valutazione delle terre secondo la logica *fuzzy* viene introdotto il concetto di appartenenza ad una classe, rappresentato dalla “funzione di appartenenza” (“*membership function*”, MF). Agli individui, il cui valore rientra in una classe definita, viene attribuito un valore di appartenenza alla classe pari a 1 ($MF=1$). Agli individui il cui valore ricade al di fuori di tale classe viene invece assegnato un valore di appartenenza inferiore a 1 e maggiore di 0 ($0 < MF < 1$), tanto più basso quanto più tale valore si discosta da quello della classe. Il valore delle caratteristiche o qualità delle terre viene quindi espresso, piuttosto che come classe, come grado di appartenenza alla classe. Alle singole caratteristiche o qualità delle terre viene inoltre attribuito un peso che rappresenta la loro importanza relativa nel giudizio finale sull’attitudine complessiva. L’attitudine complessiva (“*overall suitability*”) di una unità di terra viene quindi espressa come grado di

appartenenza complessiva (“*joint membership function*”, JMF), che è la somma pesata delle funzioni delle varie caratteristiche o qualità considerate. Quindi:

$$\text{JMF} = aA * \text{MFA} + aB * \text{MFB} + \dots + aZ * \text{MFZ} \quad (1)$$

dove:

$$aA + aB + \dots + aZ = 1$$

La scelta dei pesi attribuiti ai vari parametri (aA , aB , ...) rappresenta una fase critica ed importante, che può essere effettuata mediante il giudizio di esperto, conoscenze dei locali, dati sperimentali, ecc. (De La Rosa, 2002).

Un esempio di applicazione della logica *fuzzy* alla valutazione dell'erosività del suolo (fattore K di Wischmeier) è stato realizzato nel programma Fusle (Borselli, 1995). La logica *fuzzy* è stata anche utilizzata a Cochabamba in Bolivia per una procedura di valutazione delle terre per lo sviluppo urbano (IAO, 1999), come descritto nel capitolo relativo alla valutazione delle terre nei paesi in via di sviluppo.

Reti neurali

Le reti neurali sono algoritmi composti da una rete di nodi connessi fra di loro, la cui struttura si ispira a quella dei sistemi nervosi biologici. Le reti neurali non necessitano di una conoscenza delle relazioni intercorrenti fra le variabili di input e di output, come nel caso dei modelli di regressione. Sono non-lineari e quindi possono manipolare dati molto più complessi di quelli gestibili con i semplici modelli matematici. Inoltre è possibile trattare tutti i tipi di dati, da quelli continui o quasi continui, fino a quelli espressi in categorie. Le reti neurali hanno poi una capacità di generalizzazione ed astrazione, propria del cervello umano, che consente di trattare dati e modelli non processabili con i metodi tradizionali.

I sistemi basati sulle reti neurali rappresentano un tipo di simulazione continua che si basa sullo studio matematico e statistico dei fenomeni considerati, tramite il quale viene calcolato il valore di alcune quantità dipendenti al variare di altre quantità determinanti (per esempio, come varia il valore di un inquinante in un determinato punto al variare dei valori di vento e di traffico rilevati in punti limitrofi). La metodologia delle reti neurali fornisce risultati precisi partendo da una fase di addestramento effettuata con misurazioni storiche delle quantità dipendenti e di quelle determinanti. Viene impiegata soprattutto nella pianificazione operativa che ha bisogno di un'alta velocità di risposta anche in situazioni imprevedibili e quindi non codificabili, più ancora che di verificare le scelte. Questa metodologia infatti permette di “addestrare” il sistema stesso con casi noti e risolti, lasciando al sistema il

compito di dare risposte coerenti a tale apprendimento nelle situazioni non ancora verificate e risolte.

La logica delle reti neurali è stata utilizzata nella realizzazione di alcuni software per la valutazione delle terre, come ImpelERO (De La Rosa et al., 1999) per la valutazione del rischio di erosione e integrata in un sistema informativo geografico per la valutazione dell'attitudine dei suoli a diverse colture in Grecia (Yialouris et al., 1997) e nelle Filippine (Bandibas, 1998).

1.4. I principali riferimenti internazionali

Molti sistemi di *land evaluation* sono utilizzati a livello internazionale. Fra essi, alcuni costituiscono un riferimento riconosciuto.

1.4.1. La classificazione della Capacità d'Uso (Land Capability Classification)

Questo metodo è stato elaborato dal Soil Conservation Service del Dipartimento dell'Agricoltura degli Stati Uniti (Klingebiel e Montgomery, 1961) e, sebbene sviluppato per sostenere progetti specifici di conservazione del suolo negli Stati Uniti centrali, è stato ampiamente utilizzato in tutto il mondo con numerosi adattamenti. Il sistema vede nella semplicità e genericità della sua applicazione sia la sua forza, sia i suoi svantaggi. Si tratta di un sistema di tipo categorico, basato su criteri di stima qualitativi, il cui principale scopo è quello di rendere prontamente leggibili e comprensibili i dati di rilevamento sulle risorse naturali e specificatamente i dati pedologici. Il sistema di classificazione prevede otto classi definite dalla combinazione fra la possibilità di scelta di uso e l'intensità delle limitazioni presenti: tipicamente, dalla prima all'ottava classe aumenta il numero ed il grado delle limitazioni e si restringe la possibilità di scelta di usi produttivi. Per le prime quattro classi è possibile un uso agricolo, con crescenti limitazioni e conseguente minore possibilità di scelta di colture possibili; per le successive tre classi non è possibile altra utilizzazione se non la silvo-pastorale; l'ottava classe è destinata esclusivamente alla conservazione del suolo e dell'ambiente. Sono previste sottoclassi e unità in base al tipo di limitazione presente.

1.4.2. La classificazione dell'attitudine all'irrigazione del United States Bureau of Reclamation

La classificazione dell'attitudine all'irrigazione è un sistema sviluppato negli anni '50 negli Stati Uniti (USBR, 1953), con lo scopo di classificare le terre in base alla loro capacità di sostenere agricoltura irrigua. Si tratta del primo esempio di classificazione delle potenzialità delle terre ad un uso specifico

(Beek, 1978). Nello schema dell'USBR le classi sono definite secondo un grado relativo di "capacità di remunerazione", cioè in base al reddito netto lasciato all'imprenditore una volta pagati i costi di impianto e manutenzione. In questo senso è un esempio di valutazione delle terre fortemente basato su criteri economici. Il sistema prevede sei classi definite sulle caratteristiche specifiche dell'area di studio. Le prime 3 classi sono irrigabili, con capacità di ripagare i costi progressivamente minore. La sesta classe è comunque non irrigabile. La classe quinta è una classe "provvisoria", nella quale ricadono le terre che attualmente non sono irrigabili, ma che meritano di essere studiate più a fondo. La quarta classe viene definita "speciale", in quanto il ritorno economico e quindi la convenienza dell'irrigazione dipende dall'utilizzazione specifica.

1.4.3. Soil Fertility Capability Classification (FCC)

Proposta da Buol et al., (1975) e modificata da Sanchez et al. (1982), la classificazione *Soil Fertility Capability Classification* (FCC) è stata recentemente rivista e ripensata (Sanchez et al., 2003). Si tratta di un sistema nato per riclassificare i suoli in gruppi a gestione omogenea della fertilità, in particolare chimica. In questo sistema sono previsti tre livelli: il primo livello è definito dalla tessitura dell'orizzonte di superficie; il secondo livello è definito dalla tessitura dell'orizzonte sottosuperficiale (entro 50 cm); il terzo livello è individuato da "specificatori" che rappresentano le condizioni chimiche e fisiche che possono condizionare negativamente la fertilità del suolo e che vanno dal regime di umidità alla presenza di elementi tossici, alla salinità, ecc. Nella revisione proposta da Sanchez et al. (2003) il metodo FCC viene proposto come un sistema semi-quantitativo di stima della qualità del suolo.

1.4.4. Lo schema di valutazione delle terre della FAO

Come già ricordato, a partire dagli anni '70 la FAO (1976; 1991) ha messo a punto una metodologia relativa all'attitudine del territorio con l'obiettivo di stabilire, più che una formale descrizione delle classi, una struttura per la procedura di valutazione (Davidson, 1980). Lo schema FAO è considerato lo standard di riferimento nei lavori di valutazione delle terre (Dent and Young, 1981; Van Diepen et al., 1991). La struttura della classificazione consta di 4 livelli gerarchici:

1. Ordine
2. Classe
3. Sottoclasse
4. Unità

Gli ordini sono 2 e indicano solamente se una porzione di territorio è adatta (S, *suitable*) o non adatta (N, *not suitable*) ad un uso sostenibile. L'uso dei soli ordini è generalmente ristretto a studi a piccola scala o a tabelle riassuntive.

L'ordine S, adatto, definisce un tratto di terra nel quale l'uso preso in considerazione fornisce produzioni o risultati tali da giustificare l'impiego di risorse umane, economiche e tecnologiche, senza rischi di danneggiare l'ambiente. L'ordine N, non adatto, definisce invece un tratto di terra con qualità inadatte ad un uso sostenibile per il tipo d'utilizzazione preso in considerazione.

Le classi definiscono il grado di attitudine. Sono raccomandate 3 classi per l'ordine S: molto adatto (S1), moderatamente adatto (S2), poco o marginalmente adatto (S3); 2 per l'ordine N: attualmente non adatto (N1), permanentemente non adatto (N2). Se esistono ragioni valide, il numero delle classi può essere aumentato o diminuito. Le sottoclassi definiscono il tipo di limitazione presente, l'unità ne definisce il grado. L'uso delle sottoclassi e delle unità è analogo a quello della classificazione della capacità d'uso delle terre.

La struttura della classificazione permette, in alcuni casi limitati, di utilizzare una fase "Sc", definita come adatta sotto condizione (FAO, 1984). Se ad esempio un'unità di terre viene classificata N2o/Sc1, vuol dire che attualmente non è adatta, per problemi di ossigenazione nella zona di radicamento, ma diventerebbe molto adatta se venissero risolti i problemi di drenaggio.

1.4.5. La zonazione agroecologica: Agro-ecological Zones FAO

Per applicazioni a piccola scala (nazionale o continentale), il sistema di valutazione delle risorse naturali di riferimento per la valutazione delle terre è la zonazione agro-ecologica (Agro-ecological Zones, AEZ) della FAO (1978-1981). Nato come sistema per la pianificazione, la gestione ed il monitoraggio delle risorse a scala nazionale, prevede la rappresentazione del territorio in distinti strati di informazione spaziale e la loro conseguente integrazione tramite sistemi informativi geografici. Le zone agro-ecologiche create con queste intersezioni si aggiungono così alle informazioni topografico-amministrative, fisiografiche, geologiche, pedologiche, climatiche, di uso del suolo, demografiche, ecc.

I database collegati alle zone agro-ecologiche forniscono gli input ai modelli utilizzati per le diverse applicazioni, fra cui quelli per il calcolo del periodo di crescita delle colture, per l'irrigazione, per la stima dell'attitudine a diverse colture, per la pianificazione territoriale. L'approccio per zone agro-ecologiche è stato diffusamente utilizzato dalla FAO in studi di carattere generale in paesi in via di sviluppo. Sono anche disponibili pacchetti software che contengono il sistema (AEZWIN, <ftp://ftp.fao.org/agl/agll/misc/aezwin.exe>). Un esempio di zonazione agro-ecologica secondo un approccio di tipo FAO è stato realizzato in Italia nei primi anni '80 (Ministero Agricoltura e Foreste, 1983) per la coltura del mais, quando ancora i sistemi geografici informativi non avevano la diffusione capillare di oggi. In questo esempio,

realizzato a scala 1:2.000.000, l'attitudine "climatica" definita in base alla lunghezza del periodo di crescita e alla disponibilità idrica, viene combinata con l'attitudine pedologica, definita da requisiti in termini di profondità del suolo, drenaggio, tessitura e reazione, derivati dalla carta in scala 1:1.000.000 di Mancini e collaboratori (Mancini e coll., 1966).

1.5. I concetti di base della valutazione delle terre

Si è detto che la valutazione delle terre non è sempre finalizzata a scopi agricoli o comunque produttivi, ma anche a fini di protezione della risorsa suolo da possibili agenti di degrado (erosione, desertificazione, perdita di sostanza organica, inquinamento, ecc.). Abbiamo anche visto che, a prescindere dagli scopi della valutazione, dal modello prescelto per la valutazione e dal metodo utilizzato, tutti i sistemi sono accomunati da alcuni principi di base. Di seguito verranno meglio descritti tali concetti di base del processo di valutazione delle terre, prendendo come riferimento il sistema FAO (1976).

1.5.1. Definizione dell'entità spaziale oggetto della valutazione

Tradizionalmente il processo di valutazione delle terre produce quel che è conosciuto con il termine di "cartografia derivata". Viene quindi sottinteso che l'oggetto di valutazione è l'unità cartografica, sia essa unità pedologica o unità di suolo paesaggio, a diversi livelli di dettaglio. È inoltre implicito che l'output del processo di valutazione sia una carta che generalmente deriva, appunto, dalla carta dei suoli. Un esempio di questa metodologia è riportato nella sezione di questo manuale relativa alle colture arboree.

In realtà esistono anche alcune applicazioni della valutazione delle terre che prescindono dalla cartografia dei suoli in senso tradizionale, che prevede la suddivisione di un'area in unità cartografiche caratterizzate da una variabilità interna. Si pensi ad esempio all'agricoltura di precisione, o comunque a procedure che utilizzano modelli spaziali continui (De Grujter, 1996). L'unità di valutazione può quindi essere qualsiasi unità cartografica o altra entità spaziale topologicamente definita (profilo, transect, pixel di una carta raster). L'accuratezza spaziale e la quantità d'informazione disponibile per l'entità da valutare determinano la scala di riferimento ed il dettaglio del processo di valutazione.

1.5.2. Il tipo di utilizzazione delle terre

Nello schema della FAO ed in tutti i modelli che ad esso si richiamano, la definizione del tipo di uso delle terre (*Land Utilization Type*, LUT), cioè la descrizione dettagliata dell'uso del suolo, conformemente alla scala di

riferimento adottata, è un passo estremamente delicato ed importante. Esso specifica per quale tipo di assetto agricolo o forestale o per quale sistema colturale si attua il processo di valutazione. Il concetto di LUT richiede che ne venga specificato esplicitamente il contesto sia dal punto di vista socio-economico che tecnico. Questo significa che nella definizione di LUT è necessario dare una descrizione tecnica completa ed adeguata alla scala di riferimento della valutazione (ad esempio, quale coltura in quale sistema agricolo, con quali input energetici e tecnologici, ecc.). Questo è estremamente importante poiché modificare lo scenario di riferimento significa modificare i presupposti logici dell'interpretazione. Se ad esempio viene classificata un'area in base alla sua attitudine a produrre una coltura completamente meccanizzata, i caratteri del territorio dovranno essere letti in modo del tutto diverso rispetto ad una coltivazione parzialmente manuale.

Il livello di specificazione del LUT dipende dalla scala di lavoro e dal livello di dettaglio richiesto. Spesso la descrizione di un dato LUT si limita all'indicazione di una coltura, o di una successione di colture, con le relative operazioni colturali ed i livelli di input tecnologico ed energetico. Nei lavori di valutazione svolti in aree limitate di territorio viene solitamente fatto esplicito riferimento alle condizioni locali, spesso funzionanti da variabile guida nel processo di valutazione (vedi, ad esempio, il capitolo sulla valutazione per il frassino da manna). È comunque chiaro che in processi di valutazione finalizzati alla pianificazione agricola, e più in generale alla pianificazione territoriale, il contesto della valutazione deve essere chiaramente definito. Al valutatore quindi viene richiesto di preparare una lista di specifiche che identifichino un determinato LUT.

Nel caso di valutazioni a fini non agricoli, le terre non vengono valutate nel loro potenziale a fini produttivi, ma per la loro capacità di assolvere a funzioni diverse da quelle di produzione agricola o forestale. La capacità protettiva dei suoli e delle terre nei confronti delle acque superficiali o sottosuperficiali e l'attitudine allo smaltimento dei reflui zootecnici sono dei possibili esempi. In questi casi il tipo di utilizzazione deve essere specificato in modo sufficientemente completo, così che risultino chiari i contorni del problema. Ad esempio, quando si deve valutare la capacità protettiva, deve essere chiaro a cosa ci si riferisce: alle acque, ed in questo caso se alle acque di scorrimento superficiale o a quelle di infiltrazione, al suolo o alle colture che su di esso si praticano, ecc. Questo passo è fondamentale per individuare i caratteri e le qualità dei suoli e delle terre da considerare.

1.5.3. I caratteri e qualità delle terre

Per carattere o caratteristica di una terra (*Land Characteristic*, LC) si intende "un attributo semplice di una data area, che può essere misurato o stimato". La qualità della terra (*Land Quality*, LQ) viene invece definita come un "attributo complesso di un tratto di

terra, che influenza in modo specifico le attitudini di questa ad usi specifici" (FAO, 1983). Le caratteristiche sono di regola descritte durante i rilevamenti e gli studi di base per la valutazione e comprendono caratteri del suolo, come ad esempio la granulometria, la pietrosità, il pH, il contenuto in carbonato di calcio; caratteristiche climatiche, quali la piovosità e la temperatura; caratteri geomorfologici come la franosità, e topografici, come quota e pendenza; caratteri idrologici, come la profondità delle falde permanenti e temporanee, e quant'altro può essere utile alla definizione delle unità di terre ed alla loro valutazione. Le LC sono quindi attributi delle terre che possono essere misurati o stimati, nei rilevamenti ordinari, ma che di regola non influenzano direttamente il grado di attitudine ad un determinato uso del suolo, ma influenzano, invece, le qualità del suolo. La granulometria del suolo, ad esempio, ha un effetto su molte qualità del suolo: capacità per l'aria, capacità per l'acqua, lavorabilità e percorribilità, rischio di compattamento e rischio di erosione, ecc. L'effetto può anche essere diversificato: suoli grossolani assicurano una buona capacità per l'aria, ma possono essere carenti da un punto di vista nutrizionale o, in regimi sub-aridi, dal punto di vista del rifornimento idrico.

Nella pratica, le caratteristiche delle terre vengono spesso usate direttamente per la valutazione del grado di attitudine ad un determinato tipo di uso, ma sarebbe più corretto utilizzare le LC per la stima delle qualità delle terre. Le qualità delle terre non sono infatti in genere misurabili direttamente, ma sono stimabili attraverso la misura delle caratteristiche.

1.5.4. Requisiti colturali, territoriali, d'uso

Ogni tipo di utilizzazione delle terre, definito ai passi precedenti, ha certe esigenze o requisiti (*Land Use Requirements*, LUR), definibili: i) in termini fisiologici di crescita della coltura, ii) tecnologici e gestionali, iii) di conservazione del suolo. Nel primo caso si tratta di stabilire quali sono le condizioni edafiche ottimali per la crescita di una coltura (*Crop Requirements*); nel secondo quali sono i requisiti per la realizzazione di tecniche di gestione colturale (*Management Requirements*); nel terzo quali sono le condizioni per controllare i processi erosivi e di degrado (*Conservation Requirements*). Nei requisiti non sono incluse le specifiche che riguardano aspetti socio-economici come la manodopera o i capitali finanziari, anche se quasi tutti i caratteri fisici di un territorio li influenzano. I requisiti dei tipi di utilizzazione possono essere espressi in termini sia di caratteristiche che di qualità.

La conoscenza dei requisiti è fondamentale per il successo della valutazione. Avere a disposizione esperienze, prove di campo e sperimentazioni pertinenti all'oggetto della valutazione e al territorio studiato consente di selezionare e di graduare i caratteri o le qualità dei suoli e delle terre nel modo più opportuno. In caso contrario bisogna affidarsi alle informazioni

ricavabili da manuali o altri testi che, in termini talvolta molto generici, descrivono le necessità delle colture o le condizioni adatte per talune pratiche agricole.

1.5.5. Il procedimento di valutazione: fase di confronto (matching)

Dopo aver stabilito lo scopo della valutazione, acquisito i dati per l'elaborazione e definito i requisiti di un uso specifico, per applicare il procedimento di valutazione nel territorio in esame, occorre trattare questi tre elementi per attribuire le classi di attitudine agli oggetti della valutazione, ad esempio tipologie pedologiche o unità cartografiche. Questo obiettivo viene tradizionalmente raggiunto mediante una tabella (*matching table* o *lookup table*) dove vengono messi a confronto i requisiti di un determinato tipo di utilizzazione con le qualità delle unità di terre. È questo un momento molto delicato, poiché dare un peso diverso a questa o quella qualità significa variare, anche notevolmente, l'esito della valutazione. I metodi di attribuzione delle classi di attitudine mediante l'impiego della tabella di confronto sono molti, ma il più usato è certamente quello della massima limitazione. Secondo questo metodo le unità di terre vengono classificate in base alla limitazione più severa per un determinato uso. È un metodo analogo alla "legge del minimo" postulata nel 1840 da Liebig, il quale affermava che "la crescita dei vegetali è determinata dall'elemento che è presente in quantità minore rispetto ai fabbisogni". Ampliata in tempi successivi, la legge del minimo spiega le modalità di crescita delle popolazioni negli ecosistemi: "la crescita di un individuo (o di una popolazione) in un ecosistema è determinata dal fattore ecologico che è presente in quantità minore rispetto alle necessità". Il risultato del confronto consente di individuare per ciascun suolo la qualità con il valore più basso e attribuirne la classe relativa. Ad esempio, per una certa attitudine si prendono in considerazione 5 qualità, che per un certo suolo assumono attributi s1, s2, s1, s3, s1. Essendo il valore s3 il più basso, quella unità territoriale assumerà la classe di valutazione complessiva S3.

Per calibrare la correttezza delle valutazioni è indispensabile stabilire dei suoli caposaldo (*benchmark soil*) dove sono conosciute in dettaglio le caratteristiche e qualità del suolo e, allo stesso tempo, la risposta culturale o agrotecnica stimata.

Le tabelle non sono tuttavia l'unico modo per procedere al confronto fra requisiti e qualità o per stimare le qualità da caratteristiche diagnostiche. L'approccio tipo "albero delle decisioni" (vedi più avanti) consente al tempo stesso una gerarchizzazione della struttura di confronto e di tenere in conto le possibili interazioni. In tempi recenti la fase di confronto è sempre più spesso attuata ricorrendo a procedimenti alternativi a quelli tradizionali, quali analisi statistica, reti neurali, modellistica, ecc.

1.5.6. La struttura delle classificazioni

Come è stato accennato, esistono molti metodi di valutazione, ciascuno legato a finalità diverse; nonostante questo, si può osservare che tutti seguono un medesimo schema logico, basato sui seguenti principi:

- a) alle classi viene attribuito un valore decrescente, cioè le prime classi esprimono le condizioni migliori per l'uso considerato, le ultime le peggiori;
- b) il giudizio espresso con la valutazione deve essere motivato; tutte le classificazioni infatti prevedono che vengano esplicitate le condizioni limitanti che hanno condizionato il giudizio finale.

1.5.7. La spazializzazione della valutazione

La spazializzazione della valutazione è tradizionalmente ottenuta sulla base della carta pedologica. L'oggetto della valutazione può essere l'unità cartografica o la tipologia di suolo. Nel primo caso si presuppone una corrispondenza tra suolo e unità cartografica, nel secondo i suoli caposaldo o i suoli modali delle tipologie sono valutati e il risultato della valutazione viene confrontato con la presenza singola o associata delle tipologie nelle unità cartografiche. Vi saranno dunque delle unità cartografiche di tipo S1, oppure S1 e S2, oppure S1 e S3 ecc., con una certa percentuale per ogni classe. Alternativamente, anziché valutare il solo profilo caposaldo o il profilo modale della tipologia, è possibile valutare tutte le singole osservazioni relative alla tipologia presenti nel database, e stabilire la classe modale della tipologia o, eventualmente, le classi più rappresentative, per poi procedere come descritto.

Recentemente, sono stati proposti metodi di spazializzazione diversi dalla carta pedologica in senso classico (De Gruijter, 1996). L'uso di tecniche di analisi spaziale, come la geostatistica, e la disponibilità di strati informativi continui, come le immagini da satellite o modelli digitali del terreno, consentono di caratterizzare in continuo un determinato tratto di terra per alcuni attributi e quindi, in una rappresentazione di tipo raster, di effettuare la valutazione per pixel.

1.5.8. La valutazione delle terre e i GIS

La diffusione dei GIS sta gradualmente cambiando la metodologia di valutazione delle terre. Da una valutazione che utilizzava essenzialmente la tipologia di suolo o l'unità cartografica come unico contenitore di informazioni e unità di valutazione, negli ultimi anni si sta passando ad un uso integrato di banche dati geografiche, tra cui quella pedologica. L'informazione chiesta alla banca dati pedologica riguarda solo alcuni caratteri e qualità del suolo, ricavati essenzialmente dalla descrizione ed analisi del profilo, che vengono messi in relazione agli aspetti funzionali di carattere morfologico, geologico, idrologico,

di uso del suolo, ecc. In questo modo il processo di valutazione ha come oggetto il pixel, a cui sono associate le informazioni ricavate dai vari strati informativi originali (ad esempio: pendenza, quota e drenaggio dal DEM; risposta spettrale nelle varie lunghezze d'onda dal satellite; acqua disponibile, profondità, pietrosità dalla banca dati dei suoli; substrato dalla banca dati litologica; precipitazione, temperatura e loro elaborazioni dalle spazializzazioni climatiche ecc.). I vantaggi di questo approccio metodologico sono:

- una più dettagliata spazializzazione della valutazione;
- l'automazione delle procedure di valutazione;
- la possibilità di modificare i parametri di valutazione e verificare immediatamente il risultato;
- l'integrazione di molti strati informativi.

Vi sono da considerare, però, anche i pericoli insiti in questo metodo, relativi in particolare alla coerenza tra la scala nominale dei tematismi utilizzati, il loro contenuto informativo e la scala di riferimento della valutazione. Se, ad esempio, una certa valutazione richiede un'uscita cartografica di un certo dettaglio, è necessario che anche le qualità funzionali delle terre siano stabilite a quel dettaglio. Utilizzando un DEM ad alta risoluzione e, invece, un'informazione pedologica o climatica al riconoscimento, si otterrà una valutazione solo apparentemente dettagliata.

Vi è poi il problema della propagazione dell'errore. Ogni tematismo porta con sé una serie di errori tipologici e topologici (ad esempio, di misurazione, di elaborazione, di spazializzazione) che viene moltiplicata per gli errori di ogni singolo tematismo. Per cui, più strati informativi vengono utilizzati e maggiore è il loro grado di approssimazione, più grande è l'errore nella valutazione. Poiché la propagazione dell'errore è in genere esponenziale, si può intendere facilmente quanto sia importante una oculata scelta dei tematismi da utilizzare.

La valutazione delle terre tramite GIS può comunque avere come oggetto anche il poligono, invece che il pixel. Ogni singola delineazione presente nel GIS, infatti, può avere una diversa distribuzione delle tipologie pedologiche al suo interno, quindi una combinazione più o meno articolata di classi di valutazione. In tal caso è possibile fornire una valutazione probabilistica della presenza delle diverse classi di attitudine all'interno di ogni poligono. Un esempio di tale procedura di spazializzazione della valutazione è riportato in questo manuale nel capitolo sulla coltura dell'olivo.

1.5.9. L'affidabilità della valutazione delle terre (con la collaborazione di Fabrizio Ungaro¹)

Dai paragrafi precedenti si evince chiaramente come si possa arrivare ad una stessa valutazione finale tramite percorsi e strumenti metodologici anche molto

¹ CNR-IRPI - Istituto Ricerca Protezione Idrogeologica, Unità di Firenze - Pedologia Applicata

diversi, più o meno complessi. Una panoramica più esaustiva sui vari approcci alla valutazione delle terre verrà fornita nei paragrafi successivi. Peraltro, come tutte le stime, anche la valutazione delle terre è influenzata da un certo grado di errore, derivante soprattutto dalle approssimazioni e generalizzazioni fatte. Se non è sempre vero che più grande è l'approssimazione, più difettoso e meno affidabile è il risultato, tuttavia il grado di incertezza nella valutazione è raramente definito ed esplicitato in termini quantitativi o quantomeno espresso chiaramente in termini descrittivi. Ciò può essere un grave difetto della valutazione, soprattutto quando gli utenti devono prendere delle decisioni su basi informative il più certe possibile, il cui grado di accuratezza deve essere il più elevato possibile.

La consapevolezza dell'incerta affidabilità di un processo di valutazione ha fatto emergere i concetti di "purezza" e "confidenza" della valutazione (King e Le Bas, 1996; Costantini e Sulli, 2000). Tali criteri, che producono cartografie associate alla valutazione, rappresentano degli strumenti atti a definire l'attendibilità informativa della cartografia prodotta. La "purezza" della valutazione rappresenta il grado di validità geografica dell'informazione tematica ed è funzione della presenza di "impurità" nel singolo poligono, cioè di suoli con valutazione diversa da quella riportata in legenda. La "confidenza" della valutazione esprime il concetto di affidabilità della stima. Questo può essere riferito all'affidabilità del modello di valutazione adottato per i suoli indagati o alla presenza di prove sperimentali specifiche su suoli caposaldo. Un esempio di applicazione in Italia di cartografie di "confidenza" e "purezza" della valutazione è riportato in Napoli et al. (1999).

In un processo di valutazione delle terre, le fonti di incertezza possono essere ricondotte sostanzialmente a: i) incertezza nei dati (*data uncertainty*), legata a problemi di campionamento e misura; ii) estensione del dato puntiforme a dato areale (*map unit*); iii) incertezza del modello concettuale (*rule uncertainty*). Gli errori di misura sono generalmente considerati indipendenti, normalmente distribuiti e più o meno facilmente individuabili; per questi motivi hanno un peso ridotto nell'influenzare l'affidabilità della valutazione finale. Gli errori di campionamento, d'altro canto, sono difficilmente eliminabili: l'oggetto campionato non è mai coincidente con l'oggetto della valutazione, e lo scarto tra le due "realità" dipende in modo critico dalla strategia di campionamento adottata. L'ampiezza di tali errori può essere determinata solamente effettuando sotto-campionamenti ripetuti o infittendo la maglia di campionamento. In entrambi i casi l'incertezza del dato può essere espressa associando al valore atteso (cioè la media) la sua varianza di campionamento.

L'estensione del dato puntuale ad una cella o ad un poligono comporta necessariamente un certo grado di approssimazione, variabile con la strategia adottata: i) attribuzione all'unità di un singolo valore "tipico" o "rappresentativo"; ii) attribuzione all'unità di un range di valori (o classe, definita dal valore minimo e massimo); iii) descrizione dell'unità attraverso i

parametri di una distribuzione statistica (per esempio, normale, uniforme, triangolare, esponenziale, ecc.); iv) descrizione dell'unità attraverso una distribuzione non parametrica (ossia attraverso la distribuzione delle frequenze che specifica in modo completo la probabilità di occorrenza di un dato valore). Una volta che i dati su cui si basa la valutazione sono noti insieme al loro grado di incertezza e alle modalità di estensione cartografica, rimane da verificare la correttezza formale del processo che ci porta ad attribuire alla loro combinazione una determinata classe. Anche in questo passaggio infatti vi sono fonti di incertezza più o meno palesi: nel caso si adottino funzioni continue di trasferimento (per esempio, regressioni multiple, polinomiali, ecc.) la loro forma "vera" non è mai nota ma solo inferibile da dati sperimentali o ancora, nel caso del "giudizio di esperto" l'esito della valutazione può cambiare da individuo ad individuo e allo stesso tempo mantenere anche per uno stesso individuo un certo grado di ambiguità.

Nel caso in cui i dati siano completamente descritti da distribuzioni di probabilità e queste a loro volta combinate in funzioni continue per la definizione delle classi d'attitudine, è possibile applicare la teoria della propagazione degli errori al fine di determinare statisticamente l'affidabilità del risultato finale. In questo caso è quindi possibile definire precisamente i limiti di confidenza statistica per i risultati della procedura di valutazione delle terre. Un esempio è la valutazione delle terre basata sulla previsione del raccolto di una coltura significativa stimato con una regressione multipla, funzione di un certo numero di attributi delle terre ciascuno caratterizzato dalla propria distribuzione di probabilità. In questi casi è possibile far riferimento alle seguenti indicazioni operative di massima, alle quali attenersi al fine di ridurre quanto più possibile l'errore di stima: i) evitare indici ottenuti moltiplicando tra loro più fattori, poiché anche gli errori di ciascun fattore vengono moltiplicati; ii) ridurre il numero dei fattori quanto più possibile; iii) individuare fra i fattori quelli che, pesando maggiormente, costituiscono la principale fonte di errore e cercare di controllarli quanto più possibile (Rossiter, 1994).

Per definire i risultati di una valutazione in termini statistici di limiti di confidenza, un metodo comunemente usato è la tecnica di simulazione Monte Carlo applicata ai valori dei parametri in input di un dato modello di valutazione (ad esempio, una equazione di regressione). La simulazione Monte Carlo consente, date le caratteristiche di distribuzione di una popolazione di un parametro (ad esempio, media e deviazione standard del contenuto in argilla o della profondità del suolo), di generare un alto numero di valori da utilizzare come input del modello di valutazione scelto. Gli output ottenuti da modello stesso potranno quindi essere descritti statisticamente quantificandone l'incertezza, ad esempio attraverso l'intervallo di confidenza del valore medio ottenuto.

Un aspetto del processo di valutazione delle terre che gioca un ruolo critico nel determinarne l'affidabilità è che i caratteri dei suoli variano nello spazio secondo un pattern che nella maggior parte dei casi non è casuale, ma

mostra una dipendenza spaziale che consente di estrapolare l'informazione disponibile in corrispondenza di punti non campionati all'intorno. L'esistenza di una dipendenza spaziale tra i valori di una data variabile implica l'esistenza di una struttura spaziale che, una volta inferita e modellizzata in termini variografici, consente di stimare la variabile d'interesse in tutta l'area di studio, quantificandone allo stesso tempo l'incertezza spaziale ricorrendo ad approcci geostatistici (krigaggio a indicatore multiplo) o a tecniche di simulazione sequenziale (Goovaerts, 2001).

Un'ulteriore possibilità per esprimere l'affidabilità della valutazione è data dalla verifica a posteriori (validazione). A valutazione effettuata, o comunque con un procedimento completamente indipendente da essa, vengono fatte una serie di osservazioni pedologiche nel territorio indagato, preferibilmente a maglia regolare, o un campionamento colturale nelle aziende, per verificare se la valutazione stimata in quelle situazioni corrisponde realmente a quella riscontrata nella realtà. I dati così ottenuti possono essere poi elaborati statisticamente, ottenendo vari indici di stima complessiva dell'affidabilità della valutazione, oppure anche geostatisticamente, per conoscere la distribuzione nel territorio delle aree dove la valutazione è più incerta e avrebbe bisogno di maggiori indagini e verifiche. Un'applicazione in Toscana di tale metodologia è descritta da Costantini et al. (2002).

1.6. Recenti evoluzioni nella valutazione del territorio

In tempi recenti, con la diffusione di strumenti di calcolo sempre più potenti, le procedure di valutazione delle terre si sono notevolmente evolute rispetto alle tecniche utilizzate nei primi anni '70. Nel presente paragrafo verranno brevemente illustrate alcune tecniche introdotte recentemente nel processo di valutazione.

1.6.1. I sistemi esperti

I sistemi esperti sono programmi informatici che simulano la capacità di una o più persone esperte nel risolvere un problema. Essi sono quindi strumenti di supporto alle decisioni e semplificano l'individuazione delle soluzioni ai problemi più frequenti e complessi. È necessario scegliere il formalismo più adatto al caso specifico per rappresentare la conoscenza, oltre che per rappresentare il tipo di risultato atteso. Nell'ambito della valutazione delle terre questo sistema si basa fondamentalmente sull'impiego di un "albero delle decisioni" (*decision tree*), che rappresenta la fase del confronto ("*matching*") fra le proprietà delle terre e i requisiti di un tipo di utilizzazione. La struttura dell'albero viene costruita da esperti e quindi essa stessa riflette di per sé il loro livello di conoscenza. La struttura dell'albero delle decisioni è una struttura piramidale o gerarchica, con le "foglie" che rappresentano le caratteristiche o

qualità delle terre (esprese come intervalli di valori o classi) e i nodi interni che costituiscono il valore attribuito per un determinato uso. Una struttura ad albero può essere utilizzata efficacemente sia nel processo di stima delle qualità, sia nell'attribuzione ad una determinata classe di attitudine. Un sistema esperto di per sé non aggiunge informazioni, ma le struttura logicamente. Quando sono disponibili sufficienti dati sperimentali, è possibile costruire un albero delle decisioni di tipo statistico, caratterizzato da buona capacità predittiva. Di solito vengono applicati entrambi i tipi di sistemi esperti (albero delle decisioni teorico e statistico) allo scopo di ottenere migliori risultati.

ALES, *Automated Land Evaluation System* (Rossiter, 1990; <http://www.css.cornell.edu/landeal/ales/ales.htm>), è un pacchetto informatico in grado di supportare l'utente nella costruzione di un proprio albero delle decisioni, utilizzabile nella successiva fase di valutazione dell'attitudine (fisica ed economica) di determinati usi del suolo in rapporto alle caratteristiche di un territorio. Esso rappresenta un contenitore esterno, dentro al quale costruire un "sistema esperto" e quindi non fornisce di per sé alcun tipo di conoscenza. Dentro a tale contenitore vuoto devono essere descritti i possibili usi del suolo, sia in termini fisici che economici, ed inserita la banca dati contenente i parametri territoriali da valutare. ALES rappresenta quindi, di fatto, una versione informatizzata dell'approccio FAO (1976), con il vantaggio di arricchirla con un metodo d'analisi economica ben definito, oltre a facilitarne e velocizzarne l'applicazione. L'impiego dell'albero delle decisioni consente inoltre di rendere esplicito il processo logico di colui che ha costruito il modello, e di utilizzare i risultati della valutazione anche nella successiva fase decisionale di pianificazione.

1.6.2. La modellistica fisico-matematica

L'uso fondamentale della modellistica nel processo di valutazione a fini agricoli e forestali è nel calcolo delle rese: il valore delle terre è direttamente stimato attraverso le produzioni che da esse si ottengono, ed in questo senso la valutazione con l'uso della modellistica è quantitativa per definizione. Nelle valutazioni a fini non agricoli, come ad esempio nelle valutazioni a fini ambientali, la modellistica può intervenire nel simulare il comportamento di un determinato sistema ambientale ad input esterni: la modellistica dell'erosione ne è un esempio ben conosciuto. I modelli fisico-matematici vengono anche utilizzati per la stima di singole qualità, particolarmente importanti nel processo di valutazione: ad esempio, il bilancio idrico di un sistema suolo pianta, alla base sia dei processi di crescita di una coltura, sia della funzione di buffer del suolo nei confronti dell'inquinamento, può essere simulato con una certa accuratezza con l'uso di modelli matematici. Seguendo Rossiter (1996), esistono fondamentalmente due tipi di approcci modellistico-quantitativi alla

valutazione delle terre, il primo di tipo empirico (o statistico) ed il secondo deterministico e dinamico.

Modelli statistici o empirici

In campo agricolo forestale lo scopo dei modelli statistici consiste nel quantificare le relazioni osservate tra le caratteristiche (o le qualità) delle terre e la produzione potenziale per un dato territorio e nell'utilizzarle per fare previsioni relativamente ad altri territori. Requisito indispensabile per l'applicazione di tali modelli è una sufficiente disponibilità di dati, tale da poter inferire statisticamente le variabili desiderate. L'impiego di modelli statistici nella valutazione delle terre risale abbastanza indietro nel tempo, fin dalla nascita di questa disciplina. Come accennato in precedenza, il risultato ottenuto dall'applicazione di tali modelli consiste nella valutazione della produzione potenziale di un dato sistema colturale, indice della sua attitudine a quello specifico uso. Vanno quindi definiti a priori i fattori di produzione, che coincidono con le proprietà misurabili delle terre e che costituiscono le variabili indipendenti (x), da cui si ricava la variabile dipendente (y), cioè la produzione potenziale. Lo scopo è quello di ricavare una relazione causale dai dati di produzione osservati (y), e fattori produttivi presenti (quantità di fertilizzante impiegata, quantità di nutrienti nel suolo, ecc.).

Si possono utilizzare due diversi tipi di dati relativi ai fattori produttivi: dati di controllo, ricavati da sperimentazioni ad hoc, oppure dati derivati da osservazioni dirette. Nel primo caso si ricavano relazioni di causa effetto maggiormente affidabili, ma molto più costose che nel secondo caso. Nell'ambito della valutazione delle terre le parcelle sperimentali vengono spesso utilizzate per ricavare la relazione che intercorre fra caratteristiche diagnostiche e qualità delle terre, mentre si ricorre ad osservazioni dirette per valutare la produzione potenziale (attitudine delle terre) a partire dalle caratteristiche ambientali osservate. In pratica viene osservata la correlazione esistente fra fattori produttivi e produzione ottenuta.

Il tipo più semplice di modello statistico è quello che si basa sull'assunzione di una relazione di tipo lineare fra una o più variabili indipendenti e la variabile dipendente (produzione). Alcune variabili possono essere decisive per alcuni sistemi agro-ambientali, e può quindi essere giustificato l'uso di una regressione lineare semplice. Si pensi al regime idrico per colture asciutte di zone semi aride. Tuttavia, è evidente che nella realtà le cose sono più complicate. Equazioni di regressione multipla permettono una maggiore articolazione, mettendo in relazione la variabile dipendente, la produzione, con diverse variabili indipendenti. Un esempio ben conosciuto di tale approccio è quello realizzato per la Spagna da De La Rosa et al. (1981), incorporato in seguito nel pacchetto software MicroLEIS (De La Rosa, 2002; De La Rosa et al., 1992, 2004). De La Rosa et al. (1981) propongono una serie di equazioni che correlano la resa di diverse colture mediterranee a proprietà

delle terre quali pH, profondità, tessitura, capacità di scambio cationico, ecc. In Italia, sono state riscontrate relazioni statistiche significative tra resa del tabacco e qualità fisiche del suolo, in particolare capacità per l'aria e acqua alla capacità di campo (Costantini et al., 1992). Più di recente, Tomasi et al. (1999) hanno trovato una relazione, calcolata nel periodo di maturazione, tra zuccheri nell'uva e acqua disponibile nel terreno.

In molte situazioni non è possibile utilizzare relazioni lineari, perché la relazione fra variabile e risposta del sistema non è di tipo lineare. Le ordinarie trasformazioni possono in certi casi risolvere il problema. Ci sono infatti diversi modi per inferire equazioni di regressione di dati osservati su variabili ambientali, ma difficilmente se ne può definire uno migliore degli altri: infatti si tratta sempre di un processo basato sul giudizio soggettivo e sulla arbitrarietà. Le tecniche di statistica multivariata non lineari possono dare conto di effetti di interazioni fra variabili, con conseguenti azioni sinergiche o antagonistiche fra le variabili considerate. Un esempio di effetto sinergico può essere quello che fa sì che alti livelli di un solo elemento nutritivo abbiano una scarsa risposta a livello di produzione, finché non si raggiunge un livello analogo per tutti gli elementi nutritivi. Un esempio di effetto antagonistico è quello che fa sì che un alto livello di nutrienti conduca ad un'augmentata efficienza nell'assorbimento dell'acqua da parte delle piante, cosicché l'aumento di acqua impiegata ha una risposta meno evidente di quella ottenuta quando il livello di elementi della nutrizione è scarso.

A fronte dei numerosi vantaggi dei modelli statistici nella valutazione delle terre, peraltro assai utilizzati, si registrano anche alcuni svantaggi. Una tale impostazione, infatti, fornisce una buona descrizione anche in termini statistici del comportamento delle terre nei confronti di un determinato uso, ma se non ci si basa su una rigorosa sperimentazione di campo, peraltro assai onerosa, ci può essere lo svantaggio di un'eccessiva soggettività sia nella scelta delle variabili prese in considerazione, sia nei metodi di elaborazione.

Modelli deterministici e dinamici

I modelli di simulazione dinamica descrivono quantitativamente processi fisici e biologici, quali ad esempio la crescita di una coltura, il bilancio idrico del suolo, la percolazione degli elementi nutritivi o degli inquinanti, l'erosione del suolo. Nell'ambito della valutazione delle terre a fini agricoli e forestali tali modelli vengono essenzialmente impiegati per quantificare la produzione colturale, ma anche l'effetto della siccità, la perdita di elementi nutritivi, l'erosione del suolo, ecc. sotto diversi impieghi colturali e tecniche di gestione. L'uso dei modelli dinamici può essere anche limitato alla stima dinamica di qualità delle terre di particolare significato. Come già accennato, il regime idrico del suolo, qualità decisiva per la possibilità di utilizzazione agricola specie in regioni semi-aride, può essere stimato con modelli di simulazione dinamica.

A differenza dei sistemi tradizionali, i modelli dinamici hanno fra gli altri il vantaggio di considerare la variabilità temporale sia delle caratteristiche e qualità delle terre che dei tipi di uso. La caratteristica dei modelli deterministici, siano essi modelli colturali, di bilancio idrico o di erosione, è di richiedere generalmente un alto numero di dati misurati in input. Tali modelli inoltre devono essere calibrati nell'ambiente in cui vengono applicati e la validazione dei risultati è spesso molto difficile. Questo comporta spesso una mancata corrispondenza fra il livello di dettaglio dei dati di input e quello richiesto dal modello: per ovviare a questo inconveniente si rende solitamente necessario incrementare il livello di dettaglio dei rilevamenti, oppure ricorrere all'uso delle cosiddette pedofunzioni di trasferimento (PTF, Bouma, 1989), cioè algoritmi più o meno complicati per stimare i dati necessari a partire da dati di più facile reperibilità. Sebbene questi modelli forniscano come dato finale il quantitativo prodotto da una coltura, in molti casi questo non rappresenta lo scopo prioritario della loro applicazione; essi infatti vengono spesso impiegati per approfondire lo studio dei processi fisici che interessano la produzione colturale, l'uso del suolo oppure decisioni di tipo gestionale. WOFOST (Van Diepen et al. 1989) è un esempio di modello di simulazione dinamica che utilizza come input alcune caratteristiche delle terre (Rossiter, 1994).

Pedofunzioni per la stima di input per i modelli (con la collaborazione di Fabrizio Ungaro)

Fra i dati necessari come input per la modellistica, i parametri fisico-idrologici del suolo sono fra i meno disponibili nei rilevamenti routinari e fra i più onerosi da misurare. Nel corso degli anni sono state quindi sviluppate numerose pedofunzioni per la derivazione dei parametri fisico-idrologici del suolo, cioè le caratteristiche ritenitive e la conducibilità idraulica. Pur non esistendo relazioni per la derivazione delle proprietà idrologiche del suolo universalmente applicabili, è possibile indicare alcune pedofunzioni derivate da set cospicui di dati e controllate in campagna ed in laboratorio. La loro scelta ed il loro conseguente utilizzo per la stima dei parametri idrologici è principalmente funzione di fattori quali la scala di indagine, la disponibilità ed il tipo di dati misurati, il grado di accuratezza richiesta. La formulazione analitica della curva di ritenzione idrica di un suolo è stata formalizzata da van Genuchten (1980) nella nota:

$$\theta = \theta_r + (\theta_s - \theta_r) [1 + (\alpha \psi)^n]^{-m} \quad (2)$$

dove θ è il contenuto idrico ad una certa tensione, θ_s e θ_r ($\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$) sono il contenuto idrico a saturazione e quello residuale, α (cm^{-1}), n (-) ed m (-) dei parametri empirici che determinano la forma della curva: α è approssimativamente uguale all'inverso del valore del potenziale nel punto di flesso della curva (punto di ingresso all'aria, h_b , cm), corrispondente al confine

fra il dominio dei micro e dei macropori, mentre n determina la pendenza della curva ossia la velocità con cui la curva si avvicina all'asse delle ordinate al diminuire del potenziale (figura 1.2).

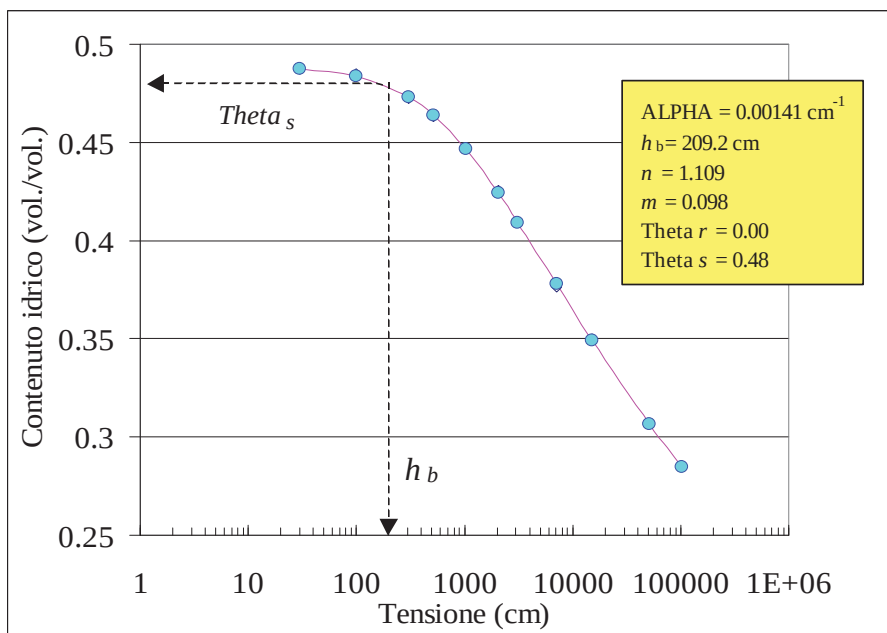


Figura 1.2. Curva di ritenzione idrica secondo il modello di van Genuchten (1980).

Alcuni modelli di simulazione del bilancio idrico (ad esempio MACRO, Jarvis et al., 1997), utilizzano per la curva di ritenzione idrica la formulazione di Brooks e Corey (1964):

$$\theta = \theta_r + (\theta_s - \theta_r) \left(\frac{h}{h_b} \right)^{-\lambda}, \text{ per } h/h_b > 1 \quad (3)$$

$$\theta = \theta_s, \text{ per } h/h_b \leq 1 \quad (4)$$

dove h è il potenziale, h_b (cm) il potenziale all'ingresso dell'aria (*air-entry tension*), λ l'indice di distribuzione delle dimensioni dei pori che determina la pendenza della curva di ritenzione, θ_r è il contenuto idrico residuo (cm³cm⁻³) e θ_s quello a saturazione (cm³cm⁻³). Generalmente i valori di λ sono maggiori per suoli con distribuzione dimensionale dei pori uniforme, mentre in suoli con pori di dimensioni molto variabili i valori sono più bassi. Il contenuto idrico residuo rappresenta la massima quantità d'acqua che non contribuisce al flusso, a causa d'adsorbimento sulla fase solida o per assenza di continuità nei pori. Formalmente potrebbe essere definito come il contenuto idrico in corrispondenza del quale sia $d\theta/dh$ che la conducibilità K vanno a zero per

valori crescenti di potenziale h . Il contenuto idrico residuale è un parametro estrapolato e quindi non rappresenta necessariamente il minimo contenuto idrico possibile in un suolo.

I parametri di van Genuchten sono legati ai parametri di Brooks e Corey dalle seguenti relazioni:

$$\alpha = 1/h_b \quad (5)$$

$$n = \lambda + 1 \quad (6)$$

$$m = \lambda / (\lambda + 1) \quad (7)$$

Entrambe le funzioni di ritenzione esaminate possono essere combinate con modelli per la previsione della conducibilità idrica, una volta nota e definita una relazione funzionale tra le due. I numerosi approcci formulati per sviluppare funzioni continue in grado di descrivere $K(h)$ e $K(\theta)$ (Gardner, 1958; Kunze et al., 1968; Millington e Quirk, 1961; Russo, 1988) sono distinti da importanti differenze concettuali; tuttavia parte delle differenze nelle loro capacità descrittive e predittive sono dovute al fatto che le diverse formulazioni sono state calibrate su data set di dimensioni esigue e relativi a particolari e distinte classi tessiturali. A causa della loro semplicità, l'utilizzo di modelli predittivi per $K(h)$ e $K(\theta)$ è molto diffuso per la soluzione numerica dell'equazione di Richards per il flusso insaturo. I risultati ottenuti dimostrano come tali modelli lavorino in maniera soddisfacente nel caso di suoli a tessitura grossolana e media, ma che le previsioni per suoli a tessitura fine e per suoli ben strutturati rimangono sostanzialmente poco affidabili. A seconda dei dati di input disponibili si possono definire diversi livelli di informazione, per ciascuno dei quali è individuabile una o più pedofunzioni:

- livello 1: frazioni granulometriche (almeno tre), classe tessiturale;
- livello 2: frazioni granulometriche (almeno tre), densità apparente o sostanza organica;
- livello 3: frazioni granulometriche, densità apparente e sostanza organica;
- livello 4: frazioni granulometriche, densità apparente, sostanza organica, contenuto idrico a -33 e -1500 kPa;
- livello 5: frazioni granulometriche, densità apparente, sostanza organica, conducibilità satura.

Nella tabella 1.2 vengono riportate, per ciascun livello informativo, alcune delle pedofunzioni di letteratura più note ed i relativi input ed output. Delle pedofunzioni selezionate, sette stimano la conducibilità idraulica satura e/o insatura (A, B, C, D, F, H, K, L, O), mentre nove (D, E, G, I, J, K, L, M, N, O) consentono la derivazione della curva di ritenzione, o attraverso la stima del contenuto idrico a determinati valori di potenziale, o stimando i parametri caratteristici di modelli di ritenzione, specificatamente quelli di van Genuchten e di Brooks e Corey.

Tabella 1.2. Schema riassuntivo delle pedofunzioni selezionate.

Riferimento	Livello Informativo	Variabili in input	Variabili in output	Modalità di calcolo
Bloemen, 1980	1	Contenuti % di almeno tre classi dimensionali (qualsiasi classificazione)	K satura (cm d^{-1}).	Calcolo dal median particle size e dal grain size distribution index.
Cosby et al., 1984	1	Sabbia (50-2000 μm) %, Argilla (< 2 μm) %	K satura (cm d^{-1}).	1 equazione di regressione per tutte le tessiture.
Campbell e Shiozawa, 1992	1	Limo (2-50 μm) %, Argilla (< 2 μm) %	Air entry pot. (m); K satura (m s^{-1}).	Calcolo dal geometric mean particle size; una equazione per tutte le tessiture.
Saxton et al., 1986	1	Sabbia (50-2000 μm) %, Argilla (< 2 μm) %	Potenziale idrico (kPa); K insatura (cm d^{-1}).	3 equazioni in funzione del range di potenziale; non valida per tutte le tessiture.
Rawls et al., 1982'	2	Sabbia (50-2000 μm) %, Limo (2-50 μm) %, Argilla (< 2 μm) %, Sostanza organica %	Contenuto idrico a 10 valori di potenziale matriciale.	1 equazione di regressione per tutte le tessiture e per ciascun valore di potenziale.
Brakensiek et al., 1984	2	Sabbia (50-2000 μm) %, Argilla (< 2 μm) %, Porosità (g cm^{-3})	K satura (cm d^{-1}).	1 equazione di regressione per tutte le classi tessiturali.
Rawls e Brakensiek, 1985	2	Sabbia (50-2000 μm) % (limiti 5-70%), Argilla (< 2 μm) % (limiti 5-60 %), Porosità (g cm^{-3})	Parametri λ , θ_r e h_i di Brooks e Corey; Parametri θ_r , θ_s , α e n di van Genuchten.	Equazioni di regressione per tutte le classi tessiturali; non valida per tutti i range tessiturali.
Campbell, 1985	2	Contenuti % di almeno tre classi dimensionali (qualsiasi classificazione), Densità apparente (g cm^{-3})	Air entry pot. (m); K satura (cm d^{-1}); K insatura (cm d^{-1}).	Calcolo dal geometric mean particle size e geometric standard deviation; una equazione per tutte le classi tessiturali
Simota e Mayr, 1996	3	Sabbia (63-2000 μm) %, Limo (2-63 μm) %, Argilla (< 2 μm) %, Densità apparente (g cm^{-3}), Carbonio organico (%)	Parametri θ_r , θ_s , α e n di van Genuchten; parametri medi per classe tessiturale.	1 equazione di regressione per tutte le classi tessiturali.
Rawls et al., 1982	3	Sabbia (50-2000 μm) %, Argilla (< 2 μm) %, Densità apparente (g cm^{-3}), Sostanza organica %	Contenuto idrico a 12 valori di potenziale matriciale.	Equazioni di regressione valide per tutte le classi tessiturali.
Jarvis et al., 1997	3	Sabbia (63-2000 μm) %, Limo (2-63 μm) %, Argilla (< 2 μm) %, Struttura, Densità apparente (g cm^{-3}), Carbonio organico (%)	Parametri λ , θ_s e h_i di Brooks e Corey; K satura (mm h^{-1}), microp. K satura (mm h^{-1}), macrop.	Equazioni di regressione valide per tutte le classi tessiturali.
Jarvis e Stenemo, 2002	3	Sabbia (63-2000 μm) %, Limo (2-63 μm) %, Argilla (< 2 μm) %, Densità apparente (g cm^{-3}), Carbonio organico (%), Struttura	Parametri λ , θ_s e h_i di Brooks e Corey; K satura (mm h^{-1}), microp. K satura (mm h^{-1}), macrop.	Leggere modifiche a Jarvis et al., 1997.

Riferimento	Livello Informativo	Variabili in input	Variabili in output	Modalità di calcolo
Scheinost et al. ^b , 1997	3	Argilla (< 2µm) %, Densità apparente (g cm ⁻³), Sostanza organica %	Parametri $\theta_r, \theta_s, \alpha$ e n di van Genuchten.	Equazioni di regressione valide per tutte le classi tessiturali.
Rawls et al., 1982 ^a	4	Sabbia (50-2000 µm) %, Argilla (< 2µm) %, Densità apparente (g cm ⁻³), Sostanza organica %, Contenuto idrico a -33 e -1500 kPa	Contenuto idrico a 12 valori di potenziale matriciale.	Equazioni di regressione valide per tutte le classi tessiturali.
Vereecken et al., 1989; 1990	5	Sabbia (50-2000 µm) %, Limo (2-50µm) %, Argilla (< 2µm) %, Densità apparente (g cm ⁻³), Carbonio organico (g kg ⁻¹), Conducibilità saturata (cm d ⁻¹)	Parametri $\theta_r, \theta_s, \alpha$ e n di van Genuchten; Parametri di Gardner b e λ per la K insatura (m d ⁻¹). K saturata (cm d ⁻¹).	Equazioni di regressione valide per tutte le classi tessiturali.

a. La pedofunzione di Rawls et al. (1982) è indicata nel testo come Rawls modello 1, Rawls modello 2 e Rawls modello 3 in funzione delle variabili in input per la stima del contenuto idrico in corrispondenza dei seguenti valori di potenziale (kPa): -4, -7, -10, -20, -33, -60, -100, -200, -400, -700, -1000, -1500. Per Rawls modello 1 le variabili in input sono: sabbia, limo, argilla, carbonio organico e densità apparente; per Rawls modello 2 e Rawls modello 3 gli input sono gli stessi con in aggiunta il contenuto idrico a -33 kPa di potenziale ed il contenuto idrico a -33 e a -1500 kPa di potenziale rispettivamente.

b. Il numero di frazioni granulometriche ed i loro limiti dimensionali necessari per la derivazione dei parametri della distribuzione dimensionale delle particelle necessari come input per la pedofunzione di Scheinost et al. (1997) dipendono dai dati disponibili; nell'ambito del presente lavoro sono state usate tre (sabbia 50-2000 µm, limo 2-50 µm e argilla < 2 µm) e cinque (sabbia grossolana 100-2000 µm, sabbia fine 50-100 µm, limo grossolano 50-20 µm, limo fine 20-2 µm ed argilla < 2 µm) classi in input; i risultati di validazione sono riportati come Scheinost 3 e Scheinost 5 rispettivamente.

Una presentazione aggiornata nel campo delle pedofunzioni si trova in Pachepsky e Rawls (eds, 2005).

In una serie di studi effettuati in Italia (Calzolari et al., 2001a; Ungaro e Calzolari, 2001; Ungaro e Calzolari, 2005) le pedofunzioni selezionate sono state controllate nelle loro prestazioni utilizzando i consueti indici statistici. Per quanto riguarda le PTF per la stima della curva di ritenzione, l'analisi effettuata sugli indici di errore ha rilevato chiare differenze nelle risposte fornite dalle singole pedofunzioni nella stima della curva di ritenzione. L'errore di stima, e quindi il grado di affidabilità di ciascun algoritmo, si differenzia infatti notevolmente in funzione delle caratteristiche dei suoli, siano queste dovute a variazioni nelle frazioni granulometriche, nella densità apparente o nel contenuto di carbonio organico. La scelta di una pedofunzione deve quindi essere sempre preceduta sia da un'analisi della pedofunzione stessa in termini di richieste di input e di modalità di calcolo, sia da un attento esame dei dati e delle caratteristiche pedologiche dei suoli o degli orizzonti oggetto di stima, anche in funzione dell'utilizzazione che si vuole fare del dato derivato.

Alla luce di quanto fin qui esposto, seguono alcune considerazioni di massima sull'uso delle diverse pedofunzioni selezionate (Calzolari et al., 2001a).

- Nel caso in cui la tessitura sia l'unico dato disponibile, la pedofunzione di Saxton et al. (1986), fornisce risultati soddisfacenti; da ricordare che in questo caso si ottengono valori di contenuto idrico in corrispondenza di specifici valori di potenziale, per cui, per ottenere i parametri della curva secondo l'equazione di van Genuchten o di Brooks e Corey è necessario parametrizzarla, interpolando i valori ottenuti.
- Nel caso siano disponibili oltre la tessitura, la densità apparente ed il contenuto in carbonio organico le PTF di Jarvis et al. (1997) e Vereecken et al. (1990) o Rawls e Brakensiek (1985), forniscono le prestazioni migliori. La pedofunzione di Jarvis et al. (1997) è adottabile per la stima dei parametri della curva di ritenzione secondo Brooks e Corey, mentre le altre due sono utilizzabili se si desidera parametrizzare la funzione di ritenzione utilizzando l'equazione di van Genuchten.
- Nel caso in cui oltre ai dati sopra elencati siano disponibili i contenuti idrici a -33 kPa e -1500 kPa di tensione, la PTF con i migliori indici di errore è quella di Rawls et al. (1982) modello 3; anche in questo caso, come per Saxton et al. (1986), si ottengono valori di contenuto idrico in corrispondenza di specifici valori di potenziale, per cui è necessario interpolarli per ottenere i parametri richiesti dal modello.
- Nel caso di suoli caratterizzati da un elevato contenuto in carbonio organico, le PTF che forniscono risultati più affidabili sono quelle di Jarvis et al. (1997) e Saxton et al. (1986), mentre nel caso opposto di suoli con basso contenuto in carbonio organico ed elevata densità apparente, i risultati migliori sono stati ottenuti con le PTF di Vereecken et al. (1990) e di Jarvis et al. (1997).

Tabella 1.3. Valori della media geometrica del rapporto di errore (GMER), e la sua deviazione standard geometrica (GSDER), e range dei valori di Ks (mm/h) predetti (N=215).

PTF	GMER	GSDER	min	max
Bloemen, 1980	1,02	33,54	0,03	13.865,13
Brakensiek et al., 1984	0,78	21,35	0,002	1.180,67
Campbell, 1985	2,06	38,15	1,07	2.528.154,4
Cosby et al., 1984	4,16	27,34	6,79	220,82
Jarvis et al., 1997	13,87	21,63	0,16	1.898,62
Jarvis e Stenemo, 2002	9,62	23,08	0,7	2.066,7
Saxton et al., 1986	4,01	25,08	5,57	352,31
Vereecken et al., 1989; 1990	13,22	32,67	3,08	129.222,43

Per quanto riguarda la stima della conducibilità idraulica, le pedofunzioni esaminate hanno mostrato prestazioni nel complesso piuttosto scadenti. Questo è sicuramente dovuto alla grandezza esaminata. La conducibilità idraulica infatti è una proprietà che risente molto delle condizioni di misura,

oltre che dal metodo utilizzato per la misura stessa. Nella tabella 1.3 sono riportati gli indici di errore statistici delle pedofunzioni esaminate rispetto ad un data set di 215 misure relative a 71 orizzonti e circa 30 suoli della pianura padano-veneta (Calzolari et al., 2001a).

Dall'esame degli indici di errore si nota che tutte le PTF tendono a sovrastimare notevolmente la conducibilità idraulica ($GMER > 1$), tranne la PTF di Brakensiek et al. (1984), che la sottostima. Le migliori predizioni si hanno nel caso della pedofunzione di Bloemen (1980), anche se la deviazione standard dell'errore è piuttosto elevata. In diversi casi si può notare che il range dei valori stimati esula da valori fisicamente plausibili: è il caso ad esempio della pedofunzione di Vereecken et al. (1989, 1990), che porta a stime inattendibili in suoli con bassa densità apparente (come nel caso di suoli organici).

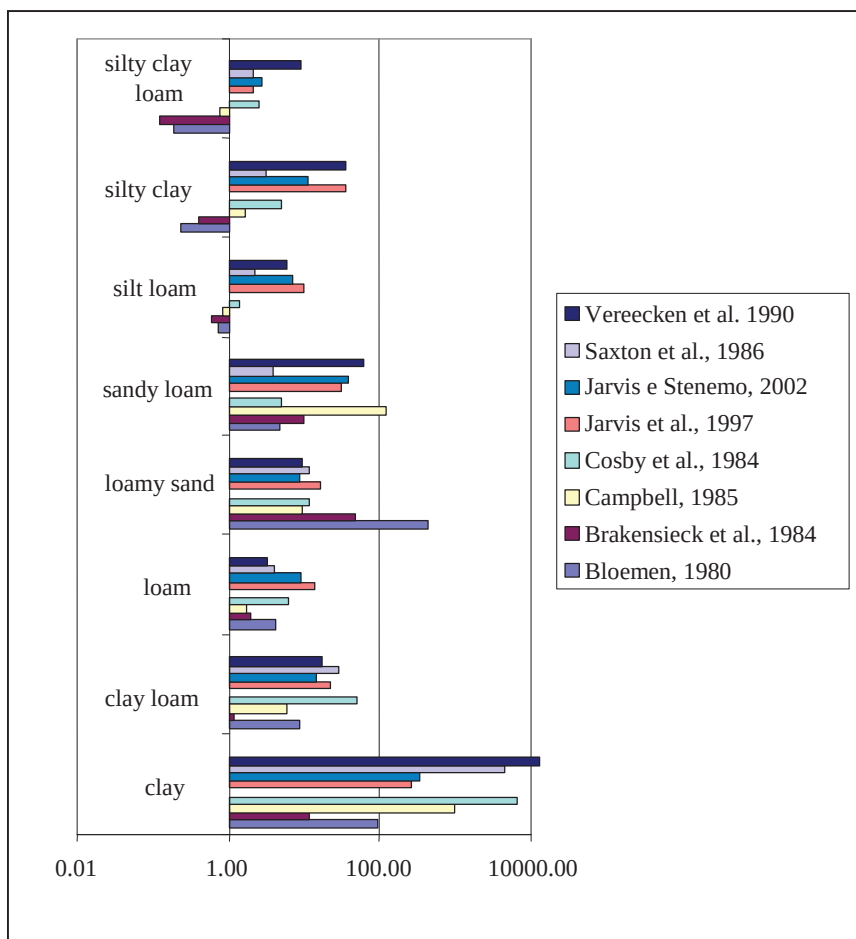


Figura 1.3. Prestazione delle pedofunzioni per la stima della conducibilità idraulica saturata: andamento di GMER nelle diverse classi tessiturali.

La figura 1.3, nella quale sono riportati i valori di GMER ottenuti con l'applicazione delle diverse PTF nelle varie classi tessiturali può essere utile per la scelta della PTF più adatta alle diverse classi di tessitura. Si nota che i valori di K_s calcolati risultano quasi sempre sovrastimati, e la sovrastima risulta assai importante nel caso dei suoli argillosi. Anche le classi tessiturali più grossolane sono generalmente sovrastimate, anche se con trend differenziati.

Alcune delle pedofunzioni brevemente descritte sono disponibili in Internet in pacchetti software scaricabili. Fra i vari esempi si segnala il pacchetto SOILPAR 2.00 (Acutis e Donatelli, 2003) scaricabile liberamente all'indirizzo www.isci.it/tools. In esso sono contenute varie pedofunzioni per la stima di densità apparente, contenuti idrici a determinate tensioni, capacità di campo, punto di appassimento e conducibilità idrica satura, calcolati secondo diversi algoritmi. Le pedofunzioni di Saxton sono contenute in un foglio excel scaricabile all'indirizzo <http://hydrolab.arsusda.gov/soilwater/Index.htm>. Le pedofunzioni calibrate in Italia su suoli della pianura padano-veneta nell'ambito del progetto SINA Carta Pedologica in Aree a Rischio Ambientale (Ungaro e Calzolari, 2005), sono descritte ed utilizzabili all'indirizzo www.fi.cnr.it/irpi/pedone/Pedon_introd.htm.

Tecniche di supporto alle decisioni

Esistono tecniche che vanno al di là delle procedure di valutazione delle terre in senso stretto, e che piuttosto le integrano, prefiggendosi di risolvere il problema dell'allocazione delle risorse nell'ambito della pianificazione, sia a livello aziendale che a livello territoriale. Talvolta esse utilizzano i risultati della procedura di valutazione come parametri di input nella fase successiva di allocazione delle risorse, oppure al contrario svolgono sia la funzione di strumento di valutazione delle risorse, sia di supporto alla fase decisionale vera e propria. Valutazione delle terre e pianificazione territoriale, pur essendo due concetti e due processi ben distinti, sono strettamente interdipendenti. Spesso infatti la valutazione delle terre viene utilizzata come studio preliminare alla pianificazione, ma, nello stesso tempo, gli elementi relativi alla pianificazione servono per fare una prima cernita dei possibili usi del suolo da considerare nel processo di valutazione (FAO, 1993).

Analisi multicriteriale

Secondo la definizione data da Roy (1996, in Chakhar e Martel, 2003), l'Analisi Multi-Criteriale (MCA), è uno strumento matematico di supporto alle decisioni, che consente il confronto fra alternative e scenari differenti, secondo criteri diversi e spesso in contraddizione. I criteri sono caratteristiche del territorio da cui dipende la scelta di uno scenario piuttosto che di un altro. Grazie all'aiuto fornito dalla MCA, il pianificatore arriva alla fine ad una decisione che risulta essere un compromesso, tenendo in debito conto i vari pro e contro e le preferenze dei soggetti locali.

Lo scopo principale della MCA è quindi quello di esaminare un certo numero di alternative, alla luce di criteri multipli ed obiettivi, alternativi e conflittuali fra loro (Ceballos-Silva e Lopez-Blanco, 2003). Per fare ciò, è necessario arrivare ad un compromesso fra le diverse alternative e ad una graduatoria di queste, in base al grado di attrazione di ciascuna. L'analisi multicriteriale può appunto servire per identificare questo compromesso, massimizzando i benefici per tutti gli interessati al processo di valutazione/pianificazione, riducendo al minimo i costi e i danni per l'ambiente. L'analisi multicriteriale può essere integrata in ambiente GIS per costruire sistemi di supporto alle decisioni che implicino la dimensione spaziale (*Spatial Decision Support System*, SDDS). Un esempio di software commerciale è il pacchetto GIS Idrisi32 (Clark Labs.) che, nelle ultime versioni, dispone di un modulo per la valutazione multicriteriale, MCE.

Questo tipo di analisi può risultare utile nell'approccio alla valutazione delle terre di tipo partecipativo (Cools et al., 2003). Per approccio partecipativo si intende in questo caso il coinvolgimento diretto e paritetico, nel processo di valutazione, dei diversi operatori interessati (ad esempio gli agricoltori, i tecnici locali, il personale politico). Poiché il processo coinvolge tutte le persone e/o gli enti che sono o che verranno interessati dalle modifiche effettuate sul territorio, questo approccio ha come conseguenza l'insorgere di nuovi problemi: spesso infatti i diversi partecipanti hanno obiettivi ed esigenze diverse e quindi la pianificazione deve tenere in debito conto tutte queste componenti, arrivando ad un compromesso tra esse.

Un esempio di approccio partecipativo alla pianificazione è stato recentemente prodotto dalla FAO in Bosnia Erzegovina (FAO, 2004). In questo progetto, realizzato in collaborazione con la Cooperazione Italiana, è stato sperimentato un modello di processo pianificatorio che vede al centro la figura del "compartecipante", *stakeholder*, cioè di "chiunque, singolo, associazione o istituzione, abbia interesse [...] a partecipare nelle decisioni che lo riguardano". I potenziali conflitti che si possono creare fra i diversi interessi, vengono qui risolti attraverso una serie di passi: allestimento delle informazioni di base, esame dei prodotti intermedi, discussione dei risultati ed eventuale riesame, formalizzati nella loro successione e realizzazione.

La programmazione lineare (LP, Linear Programming)

La programmazione lineare è un caso speciale di programmazione matematica, che ha lo scopo di ottimizzare una funzione obiettivo sottoposta ad una serie di vincoli o limitazioni. Sia la funzione obiettivo che le limitazioni sono di tipo lineare. In quanto strumento di ottimizzazione, le tecniche di programmazione lineare vengono utilizzate come supporto alle decisioni. Le varie decisioni di tipo manageriale e/o tecnologico, spesso richieste da studi di natura di pianificazione ambientale e/o socio-economica possono essere razionalizzate attraverso algoritmi matematici (Reveliotis, 1997).

Il modello MODAM (*Multi-Objective Decision support tool for Agroecosystem Management*), sviluppato in Germania dallo ZALF (Zander, 2001) costituisce un esempio di applicazione della programmazione lineare alla pianificazione a livello territoriale. In questo approccio l'ottimizzazione economica a livello di azienda agricola viene integrata con i vincoli ambientali (rischio di erosione del suolo, rischio di inquinamento, conservazione della biodiversità, ecc.), per la gestione sostenibile del territorio.

1.6.3. Il modello DPSIR (con la collaborazione di Andrea Vacca¹)

Il modello concettuale DPSIR (*Driving forces, Pressures, State, Impacts, Response*), ideato dall'Agenzia Europea per l'Ambiente (EEA, 1999) come sviluppo del più semplice modello PSR (*Pressure State Response*) dell'OECD (Organizzazione per la Cooperazione Economica e lo Sviluppo, 1998), è uno strumento per la descrizione e l'analisi delle interazioni fra la società e l'ambiente; esso viene utilizzato per lo studio dei fattori che influiscono sull'ambiente stesso, della loro interrelazione e dell'efficacia delle risposte agli effetti di tale impatto. Il DPSIR è quindi un modello generico, più che una metodologia vera e propria, creato per ordinare le informazioni relative allo stato dell'ambiente; la sua struttura, derivata da quella originariamente applicata a studi di tipo sociale, è stata ampliata ed applicata più generalmente all'organizzazione degli indicatori ambientali e, successivamente, allo sviluppo sostenibile. Il modello si basa sulle relazioni di causa-effetto fra le componenti sociali, economiche ed ambientali che agiscono sull'ambiente e, precisamente:

- *Driving forces*: determinanti che inducono un cambiamento ambientale (per esempio produzione industriale), ossia le attività antropiche, derivanti da esigenze sociali, economiche e produttive, che insistono su un territorio e da cui si originano le pressioni sull'ambiente;
- *Pressures*: pressioni sull'ambiente (per esempio, acque di scarico) derivanti dalle attività e dai comportamenti umani;
- *State*: stato dell'ambiente (per esempio, qualità delle acque di fiumi e laghi), ossia qualità e caratteristiche della risorsa ambientale, espresse tramite parametri chimici, biologici, fisici, naturalistici ed economici, che possono essere alterate negativamente dalle pressioni e che occorre tutelare;
- *Impacts*: impatti su popolazione, economia ed ecosistema (per esempio, acqua non potabile), ossia cambiamenti significativi dello stato dell'ambiente che si manifestano come alterazione negli ecosistemi, nella loro capacità di sostenere la vita, la salute umana, le performance sociali ed economiche;
- *Response*: risposte della società (per esempio, protezione a livello di bacino), o meglio della pubblica amministrazione, nei confronti di una

¹ Università degli Studi di Cagliari

qualsiasi componente DPSIR, per fronteggiare gli impatti e promuovere lo sviluppo sostenibile.

Il modello DPSIR consente quindi di rappresentare, anche visivamente, le tematiche e i fenomeni ambientali, correlandoli con le politiche esercitate su di essi (figura 1.4). È pertanto di facile comprensione, anche per i non esperti.

Per descrivere lo stato di un fenomeno, di un'area o di un ambiente all'interno del modello DPSIR, sono utilizzati degli indicatori ambientali; essi consentono di sintetizzare un fenomeno, riducendo il numero di misure e di parametri che sarebbero normalmente necessari per dare una visione completa della situazione e favorendo la comunicazione con l'utente. Gli indicatori vengono, infatti, selezionati in numero limitato, in base alla loro attitudine ad interpretare e sintetizzare un gran numero di dati relazionati fra loro; essi inoltre sono in grado di evidenziare la tendenza evolutiva dei fenomeni e favorire la correlazione fra essi.

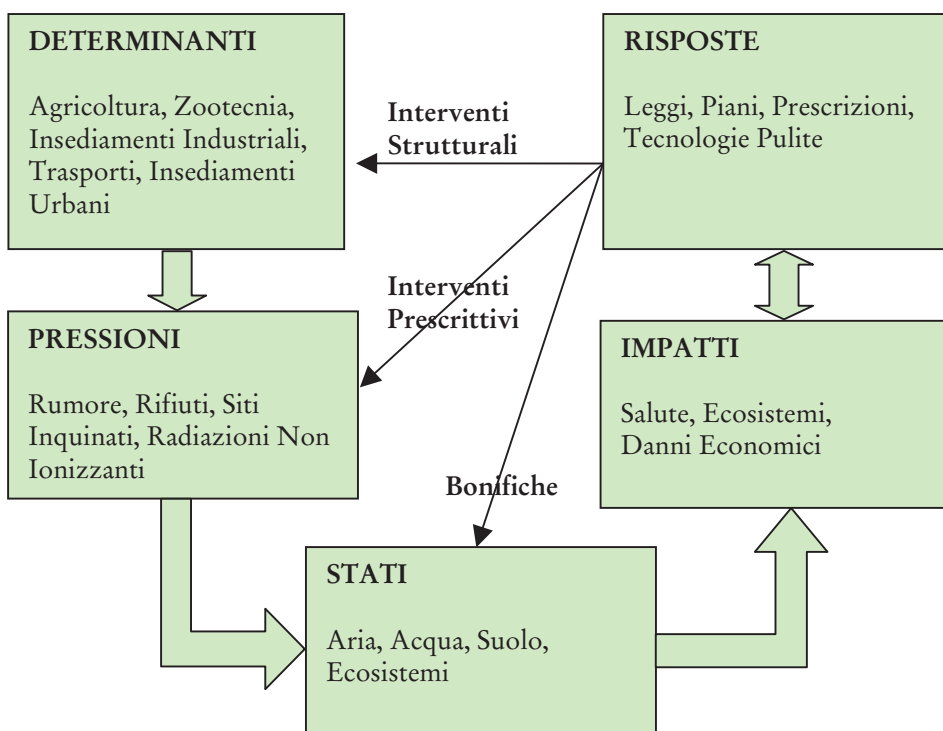


Figura 1.4. Il modello DPSIR.

All'interno del modello gli indicatori, che rappresentano le componenti ambientali, sono connessi da una relazione logica circolare di causalità, secondo cui le pressioni sull'ambiente modificano lo stato dello stesso che, a sua volta, influenza le risposte da mettere in atto per raggiungere lo standard desiderato. Vacca e Marrone (2004) hanno applicato il modello DPSIR al suolo,

utilizzandolo come sistema di riferimento per lo studio analitico di causa-effetto nei processi di degradazione. Sono stati presi in considerazione sei tipi principali di degradazione del suolo, che sono stati scomposti nelle loro componenti mediante l'applicazione del modello DPSIR.

A titolo di esempio, in figura 1.5 riportiamo l'applicazione di tale modello al caso dell'inquinamento del suolo.

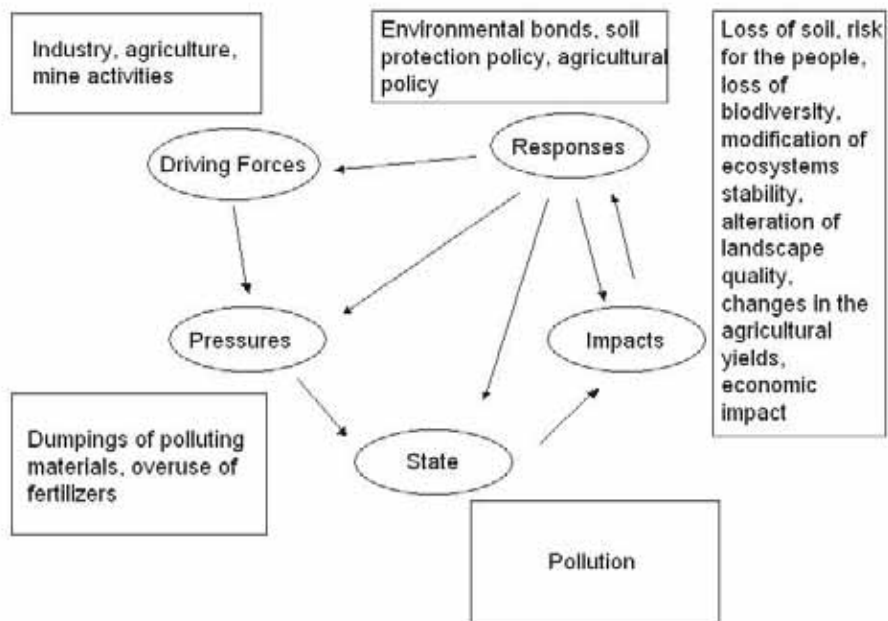


Figura 1.5. Il modello DPSIR applicato al caso dell'inquinamento del suolo (Vacca e Marrone, 2004).

Bibliografia

- ACUTIS, M., DONATELLI, M., 2003. *SOILPAR 2.00: software to estimate soil hydrological parameters and functions*. European Journal of Agronomy, 18, 373-377.
- BANDIBAS, J.C., 1998. *A Land Evaluation System Using Artificial Neural Network Based Expert's Knowledge and GIS*. Proceedings of ACRS, 1998. <http://www.gisdevelopment.net/aars/acrs/1998/ps1/ps1023a.shtml>.
- BEEK, K.J., 1978. *Land evaluation for agricultural development: some explorations of land use systems analysis with particular reference to Latin America*. Publ. 23, ILRI, Wageningen.

- BLOEMEN, W., 1980. *Calculation of hydraulic conductivities of soils from texture and organic matter content*. Z. Pflanzenernähr. Bodenkd., 43, 581-605.
- BORSELLI, L., 1995. *Fusle: A Computer Program For Soil Loss Risk Analysis By Fuzzy Variables And Possibility Distributions*. Quaderni di scienza del suolo, C.N.R., Firenze, vol. VI, 81-98.
- BOUMA, J., 1989. *Using soil survey data for quantitative land evaluation*. In: Stewart, B.A., (Ed.), *Advances in Soil Science* 9, Springer and Verlag, Berlin, 177-213.
- BOUMA, J., 2000. *Land Evaluation for Landscape Units*. In: Sumner, M.E., (Ed.), *Handbook of Soil Science*, cap.7, E393-E412
- BRakensiek, D.L., Rawls, W.J., Stephenson, G.R., 1984. *Modifying SCS hydrologic soil groups and curve numbers for rangeland soils*. ASAE Paper N., PNR-84-302, St. Joseph, Michigan.
- BROOKS, R.H., COREY, A.T., 1964. *Hydraulic properties of porous media*. Hydrology paper n.3, Colorado State University, Fort Collins.
- BUOL, S.W., SANCHEZ, P.A., CATE, R.B., GRANGER, M.A., 1975. *Soil fertility capability classification: a technical soil classification system for fertility management*. In: Bornemisza, E., Alvarado, A., (Ed.), *Soil Management in Tropical America*, N.C. State Univ., Raleigh, 126-145.
- BURROUGH, P.A., 1989. *Fuzzy mathematical methods for soil survey and land evaluation*. Journal of Soil Science, vol.40, 477-492.
- CALZOLARI, C., UNGARO, F., BUSONI, E., SALVADOR, P., 2001a. *Metodi indiretti per la stima delle proprietà fisico-idrologica dei suoli. I. Validazione di pedofunzioni da letteratura*. Progetto SINA Carta Pedologica, in Aree a Rischio Ambientale, Rapporto n.9.1, aprile 2001. http://www.regione.emilia-romagna.it/geologia/suoli/suol_docu_sina.htm.
- CALZOLARI, C., UNGARO, F., GUERMANDI, M., LARUCCIA, N., 2001b. *Suoli capisaldo della pianura Padano-Veneta: bilanci idrici e capacità protettiva*. Progetto SINA Carta Pedologica, In: Aree a Rischio Ambientale, Rapporto n.10.1, aprile 2001. http://www.regione.emilia-romagna.it/geologia/suoli/suol_docu_sina.htm.
- CAMPBELL, G.S., 1985. *Soil Physics with BASIC: Transport Models for Soil-Plant Systems*. 150, Elsevier, New York.
- CAMPBELL, G.S., SHIOZAWA, S., 1992. *Prediction of hydraulic properties of soils using particle-size distribution and bulk density data*. In: Van Genuchten, M.T., Leij, F.J., Lund, L.J., (Ed.), *Proceedings of the International Workshop on Indirect Methods for Estimating the Hydraulic Properties of Unsaturated Soils*; Riverside, California, October 11-13, 1989, 317-328.
- CEBALLOS-SILVA, A., LOPEZ-BLANCO, J., 2003. *Delineation of suitable areas for crops using a Multi-Criteria Evaluation approach and land use/cover mapping: a case study in Central Mexico*. Agricultural System, 77, 117-136.
- CHAKHAR, S., MARTEL, J.M., 2003. *Enhancing Geographical Information Systems Capabilities with Multi-Criteria Evaluation Functions*. Journal of Geographic Information and Decision Analysis n.2, 47-71.
- COOLS, N., DE PAUW, E., DECKERS, J., 2003. *Towards an integration of conventional land evaluation methods and farmers' soil suitability assessment: a case study in northwestern Syria*. Agriculture, Ecosystems and Environment, 95, 327-342.
- COSBY, B.J., HOMBERGER, G.M., CLAPP, R.B., GLINN, T.R., 1984. *A statistical exploration of the relationships of soil moisture characteristics to the physical properties of soils*. Water Resources Research, 20, 682-690.

- COSTANTINI, E.A.C., BARBETTI, R., RIGHINI, G., 2002. *Managing the Uncertainty in Soil Mapping and Land Evaluation in Areas of High Pedodiversity. Methods and Strategies Applied in the Province of Siena (Central Italy)*. Acts of the Int. Sym. on Soils with Med. type of Climate, CIHEAM-IAMB, Bari, 45-56.
- COSTANTINI, E.A.C., CASTELLI, F., CASTALDINI, D., RODOLFI, G., NAPOLI, R., PANINI, T., BRAGATO, G., PELLEGRINI, S., ARCARA, P.G., CHERUBINI, P., SPALLACCI, P., BIDINI, D., SIMONCINI, S., 1992. *Valutazione del territorio per la produzione di tabacco di tipo Virginia Bright: uno studio interdisciplinare nel comprensorio veronese (Italia settentrionale)*. Supp. Annali ISSDS, vol.XX, 157.
- COSTANTINI, E.A.C., SULLI, L., 2000. *Land evaluation in areas with high environmental sensitivity and qualitative value of the crops: the viticultural and olive-growing zoning of the Siena province*. Boll. S.I.S.S., 49 (1-2), 219-234.
- DAVIDSON, D.A., 1980. *Soils and land use planning*. Longman, London, 129.
- DE GRUIJTER, 1996. *Discussion on the paper by D.G. Rossiter*. Geoderma, 72, 191-202.
- DE LA ROSA, D., 2002. *MicroLEIS: Conceptual framework – Agro-ecological Land Evaluation*. <http://leu.irnase.csic.es/microlei/microlei.htm>.
- DE LA ROSA, D., ALMORZA, J., CARDONA, F., 1981. *Crop yield prediction based on properties of soils in Sevilla, Spain*. Geoderma, 25, 267-274.
- DE LA ROSA, D., MAYOL, F., DIAZ-PEREIRA, E., FERNANDEZ, M., DE LA ROSA JR, D., 2004. *A land evaluation decision support system (MicroLEIS DSS) for agricultural soil protection: With special reference to the Mediterranean region*. Environmental Modelling & Software, 19, 929-942.
- DE LA ROSA, D., MAYOL, F., MORENO, J.A., BONSON, T., LOZANO, S., 1999. *An expert system/neural network model for evaluating agricultural soil erosion in Andalusia region, southern Spain*. Agriculture, Ecosystems and Environment, 73, 211-226.
- DE LA ROSA, D., MORENO, J.A., GARCIA, L.V., ALMORZA, J., 1992. *MicroLEIS: a microcomputer-based Mediterranean land evaluation information system*. Soil Use and Management, 8, 89-96.
- DENT, D., YOUNG, A., 1981. *Soil survey and land evaluation*. George Allen & Unwin, London.
- EEA EUROPEAN ENVIRONMENT AGENCY, 1999. *DPSIR Framework*. <http://www.ceroi.net/reports/rendal/dpsir.htm>.
- FAGGIANI, A., 1999. *La logica fuzzy nella soluzione dei problemi territoriali multicriteriali*. Tesi di laurea di Agostino Nardocci, n.3, DAEST, Venezia.
- FAO, 1967. *Soil survey interpretation and its use*. Soils Bulletin 8, Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome, Italy.
- FAO, 1976. *A framework for land evaluation*. Soils Bulletin 32, Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome, Italy.
- FAO, 1983. *Guidelines: land evaluation for rainfed agriculture*. Soils Bulletin 52, Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome, Italy.
- FAO, 1984. *Land evaluation for forestry*. Forestry paper 48, Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome, Italy.
- FAO, 1985. *Guidelines: land evaluation for irrigated agriculture*. Soils Bulletin 55, Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome, Italy.
- FAO, 1991. *Guidelines: land evaluation for extensive grazing*. Soils Bulletin 58, Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome, Italy.

- FAO, 1978-81. *Report on the Agro-ecological Zones project*. Vol.1, Methodology and results for Africa, Vol.2, Results for southwest Asia, Vol.3, Methodology and results for South and Central America, Vol. 4, Results for Southeast Asia, FAO World Soil Resources Report, 48/1, 4.
- FAO, 1993. *Guidelines for land-use planning*. Development Series n.1, Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome, Italy.
- FAO, 2004. *Participatory Land Use Development in the Municipalities of Bosnia Herzegovina. Guidelines*. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Cooperazione Italiana.
- GARDNER, W.R., 1958. *Some steady state solutions of the unsaturated moisture flow equation with application to evaporation from a water table*. Soil Science, 85, 228-232.
- GIORDANO, A., 1983. *Alcune osservazioni sui termini "land", "land evaluation" terra, terreno e territorio*. In: atti del convegno "Land Evaluation", Firenze 25-27 maggio 1983, Edizioni del Centro Interregionale, Firenze, 162-172.
- GOOVAERTS, P., 2001. *Geostatistical modeling of uncertainty in soil science*. Geoderma, 103, 3-26.
- HOOSBEEK, M.R., BRYANT, R.B., 1992. *Towards a quantitative modelling of pedogenesis: a review*. Geoderma, 55, 183-210.
- IAO, 1999. *Land resources and land evaluation of the central valley of Cochabamba (Bolivia)*. 19th Course professional master "Geomatics and natural resources Evaluation"
- JARVIS, N., STENEMO, F., 2002. *Guidance document and manual for the use of MACRO_DB V.2.0*. Dept. Soil Science, SLU, Uppsala Sweden, 25.
- JARVIS, N.J., HOLLIS, J.M., NICHOLLS, P.H., MAYR, T., EVANS, S.P., 1997. *MACRO-DB: a decision-support tool for assessing pesticide fate and mobility in soils*. Environmental Modelling and Software, 12, 251-265.
- KING, D., LE BAS, C., 1996. *Towards a European Soil information System: past activities and perspectives of the soil and GIS Support Group*. In: Soil databases to support sustainable development, JRC, ISPRA, 115-124.
- KLINGEBIEL, A.A., MONTGOMERY, P.H., 1961. *Land capability classification*. USDA Agricultural Handbook 210, US Government Printing Office, Washington, DC.
- KUNZE, R.J., UEHARA, G., GRAHAM, K., 1968. *Factors important in the calculation of hydraulic conductivity*. Soil Sci. Soc. Am. Proc., 32, 760-765.
- L'ABATE, G., COSTANTINI, E.A.C., 2001. *I suoli e la valorizzazione delle risorse naturali e culturali del territorio. Un prototipo di sistema esperto applicato in Alta Val d'Elsa*. Elsanatura, anno 2000, n.1, 8-22.
- MANCINI, F., COLL., E., 1966. *Carta dei suoli d'Italia*. Comitato per la Carta dei Suoli, Firenze, Italy.
- MANCINI, F., RONCHETTI, G., 1968. *Carta della potenzialità dei suoli d'Italia*. Comitato per la Carta dei Suoli, Firenze, Italy.
- MILLINGTON, R.J., QUIRK, J.P., 1961. *Permeability of porous solids*. Trans. Faraday Soc., 57, 1200-1207.
- MINISTERO DELL'AGRICOLTURA E DELLE FORESTE – GRUPPO DI LAVORO PER LA VALUTAZIONE DEL TERRITORIO A FINI AGRICOLI E FORESTALI, 1983. *Proposta metodologica di classificazione attitudinale del territorio (esemplificazione per la coltura del mais da granella)*. Suppl. a Annali Istituto Sperimentale Studio e Difesa del Suolo, vol.XIV, 55.
- NAPOLI, R., COSTANTINI, E.A.C., GARDIN, L., 1999. *Un sistema informativo pedologico per le valutazioni agro-ambientali a scala di dettaglio e semi-dettaglio*. Agricoltura Ricerca, XXI, 159-176.

- OECD, 1998. *Joint Working Party of the Committee for Agriculture and the Environment Policy Committee - Proposed Work on Trade, Agriculture and Environment*. Document: COM/AGR/CA/ENV/EPOC (98), 142.
- PACHEPSKY, Y., RAWLS, W.J., (Ed.), 2005. *Development of pedotransfer functions in soil hydrology*. Developments in Soil Science, 30, Elsevier.
- RAWLS, W.J., BRAKENSIEK, D.L., SAXTON, K.E., 1982. *Estimation of soil water properties*. Trans. ASAE, 25, 1316-1320.
- RAWLS, W.J., BRAKENSIEK, D.L., 1985. *Prediction of soil water properties for hydrological modelling*. In: Jones, E., Ward, T.J., (Ed.), *Proceedings of the ASCE Symposium Watershed Management in the Eighties*, Denver, CO, 30 Apr. -2 May 1985, 293-299.
- RENARD, K.G., FOSTER, G.R., WEESIES, G.A., MCCOOL, D.K., YODER, D.C., (COORDINATORS), 1997. *Predicting soil erosion by water: a guide to conservation planning with the revised universal soil loss equation (RUSLE)*. United States Department of Agriculture, Agriculture Research Service, Agriculture Handbook n.703, 384.
- REVELIOTIS, S.A., 1997. *The "prototype" Web-based electronic text project: An Introduction to Linear Programming and the Simplex Algorithm*. School of Industrial & Systems Eng., Georgia Institute of Technology, 1997.
- ROSSITER, D.G., 1990. *A framework for land evaluation using a microcomputer*. Soil Use and Management, 6, 7-20.
- ROSSITER, D.G., 1994. *Lecture Notes: "Land Evaluation"*. http://www.css.cornell.edu/landeal/le_notes/lecnot.htm.
- ROSSITER, D.G., 1996. *A theoretical framework for land evaluation*. Geoderma, 72, 165-190.
- RUSSO, D., 1988. *Determining soil hydraulic properties by parameter estimation: on the selection of a model for the hydraulic properties*. Water Resources Research 24, 453-459.
- SANCHEZ, P.A., COUTO, W., BUOL, S.W., 1982. *The fertility capability soil classification system: interpretation, applicability and modification*. Geoderma 27(4), 283-309.
- SANCHEZ, P.A., PALMA C.A., BUOL S.W., 2003. *Fertility capability soil classification: a tool to help assess soil quality in the tropics*. Geoderma, 114, 157-185.
- SAXTON, K.E., RAWLS, W.J., ROMBERGER, J.S., PAPENDICK, R.I., 1986. *Estimating generalised soil-water characteristics from texture*. Soil Science Society of America Journal, 50, 1031-1036.
- SCHEINOST, A.C., SINOWSKI, W., AUERSWALD, K., 1997. *Regionalization of soil water retention curves in a highly variable soilscape, I. Developing a new pedotransfer function*. Geoderma, 78, 129-143.
- SIMOTA, C., MAYR, T., 1996. *Pedotransfer function*. In: Loveland, P.J. e Rounsevell, M.D.A. (Ed.), *Agro-Climatic Change and European Soil Suitability (EuroACCESS)*, A spatially distributed, soil, agro-climatic and soil hydrological model to predict the effects of climatic change on land-use within the European Community, Commission of the European Communities, Directorate-General XII Science, Research and Development, 234.
- SOIL SURVEY STAFF, 1999. *Soil Taxonomy - Agricultural Handbook 436*. Washington, U.S.A., 869.
- STORIE, R.E., 1933. *An index for rating the agricultural value of soils*. University of California, Agricultural Experiment Station.
- STORIE, R.E., 1978. *The Storie Index soil rating revise*. University of California, Division of Agricultural Sciences, Special Publication (3203).

- TOMASI, D., CALÒ, A., BISCARO, S., VETTORELLO, G., PANERO, L., DI STEFANO, R., 1999. *Influence des caractéristiques physiques du sol, sur le développement de la vigne, dans la composition polyphénolique et anthocyanique des raisins et la qualité du vin de Cabernet sauvignon*. Bull. O.I.V., vol.72, 819-820.
- UNGARO, F., CALZOLARI, C., 2001. *Using existing soil databases for estimating water-retention properties for soils of the Pianura Padano-Veneta region of North Italy*. Geoderma, 99, 99-121.
- UNGARO, F., CALZOLARI, C., 2005. *Development of pedotransfer functions using a group method of data handling for the soil of the Pianura Padano-Veneta region of North Italy: water retention properties*. Geoderma, 124, 293-317.
- USBR DEPARTMENT OF THE INTERIOR BUREAU OF RECLAMATION, 1953. *Irrigated land use, Part 2: Land classification*. B. R. Manual, vol.5, U.S. Government Printing Office, Washington.
- VACCA, A., MARRONE, V.A., 2004. *Soil degradation systems in the Italian Regions of the EU Objective 1: application of the DPSIR Model as a reference System for the Typological Systematisation of the Phenomena 2004*. CD-rom Proceedings of Eurosoil 2004, Freiburg, 4-12 September 2004, 10.
- VAN DIEPEN, C.A., VAN KEULEN, H., WOLF, J., BERKHOUT, J.A.A., 1991. *Land evaluation: from intuition to quantification*. In: Advances in Soil Science, Stewart, B.A., (Ed.), Springer, New York, 139-204.
- VAN DIEPEN, C.A., WOLF, J., VAN KEULEN, H., RAPPOLDT, C., 1989. *WOFOST, a simulation model of crop production*. Soil Use and Management, 5, 16-24.
- VAN GENUCHTEN, M.T., 1980. *A closed-form equation for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated soils*. Soil Science Society of America Journal, 44, 892-898.
- VEREecken, H., MAES, J., FEYEN, J., DARIUS, P., 1989. *Estimating the soil moisture retention characteristic from texture, bulk density and carbon content*. Soil Science, 148, 389-403.
- VEREecken, H., MAES, J., FEYEN, J., 1990. *Estimating unsaturated hydraulic conductivity from easily measured soil properties*. Soil Science, 149, 1-12.
- WILLIAMS, J.R., 1975. *Sediment routing for agricultural watersheds*. Water Resources Bulletin, 11(5), 965-974.
- WISCHMEIER, W.H., SMITH, D.D., 1965. *Predicting rainfall erosion losses from cropland east of the Rocky Mountains - guide for selection of practices for soil and water conservation*. Agriculture handbook n.282, USDA, Washington.
- WISCHMEIER, W.H., SMITH, D.D., 1978. *Predicting rainfall erosion losses - a guide to conservation planning*. Agriculture handbook n.537, USDA, Washington.
- YIALOURIS, C., KOLLIAS, V., LORENTZOS, N., KALIVAS, D., SIDERIDIS, A., 1997. *An Integrated Expert Geographical Information System for Soil Suitability and Soil Evaluation*. Journal of Geographic Information and Decision Analysis, vol.1, n.2, 90-100.
- ZANDER, P., 2001. *Interdisciplinary modelling of agricultural land use: MODAM – Multi-Objective Decision Support Tool for Agroecosystem Management*. In: Helming, K., (Ed.), Multidisciplinary Approaches to Soil Conservation Strategies: Proceedings; International Symposium ESSC, DBG, ZALF, Müncheberg, Selbstverlag, (ZALF-Berichte, n.47), 155-160.

Ministero delle Politiche Agricole, Alimentari e Forestali
Osservatorio Nazionale Pedologico e per la Qualità del Suolo Agricolo e Forestale

In collaborazione con:
International Union of Soil Sciences
Società Italiana della Scienza del Suolo
Commissione VI - Uso e Conservazione del Suolo

COSTANTINI, E.A.C., 2006. *La classificazione della capacità d'uso delle terre (Land Capability Classification)*. In: Costantini, E.A.C. (Ed.), *Metodi di valutazione dei suoli e delle terre*, Cantagalli, Siena, pp. 922.

Collana dei metodi analitici per l'agricoltura diretta da Paolo Sequi, vol. 7

CRA - Consiglio per la Ricerca e la Sperimentazione in Agricoltura
Istituto Sperimentale per lo Studio e la Difesa del Suolo, Firenze

2. La classificazione della capacità d'uso delle terre (Land Capability Classification)

Edoardo A.C. Costantini¹

2.1. Introduzione	2
2.2. Caratteristiche della classificazione	3
2.2.1. Tabelle di stima.....	6
2.2.2. Sottoclasse di capacità d'uso	9
2.2.3. Unità di capacità d'uso	9
2.2.4. Terre agricole di prima qualità e terre agricole uniche.....	10
Bibliografia	11

2.1. Introduzione

La classificazione della capacità d'uso (*Land Capability Classification, LCC*) è un metodo che viene usato per classificare le terre non in base a specifiche colture o pratiche agricole, ma per un ventaglio più o meno ampio di sistemi agro-silvo-pastorali. La metodologia originale è stata elaborata dal servizio per la conservazione del suolo del Dipartimento dell'Agricoltura degli Stati Uniti (Klingebiel e Montgomery, 1961) in funzione del rilevamento dei suoli condotto al dettaglio, a scale di riferimento variabili dal 1:15.000 al 1:20.000. È importante ricordare che l'attività del servizio per la conservazione del suolo degli Stati Uniti aveva ricevuto un formidabile impulso dal “*Soil Conservation and Domestic Allotment Act*” del 1935. Tale legge era stata emanata in seguito al drastico crollo della produzione agricola della seconda metà degli anni venti, causato dall'erosione del suolo in vaste aree ad agricoltura intensiva, basata sulla monosuccessione e priva di misure per la conservazione del suolo. La comprensione che questo crollo produttivo era stato una delle cause della famosa “crisi del 1929” aveva motivato la volontà politica di orientare le scelte degli agricoltori verso una agricoltura più sostenibile, in particolare più attenta ad evitare l'erosione del suolo e a conservare la sua fertilità.

In seguito al rilevamento e alla rappresentazione cartografica, tramite la *Land Capability Classification* i suoli venivano raggruppati in base alla loro

¹ CRA - Istituto Sperimentale per lo Studio e la Difesa del Suolo, Firenze

capacità di produrre comuni colture, foraggi o legname, senza subire alcun deterioramento e per un lungo periodo di tempo. Lo scopo delle carte di capacità d'uso era quello di fornire un documento di facile lettura per gli agricoltori, che suddividesse i terreni aziendali in aree a diversa potenzialità produttiva, rischio di erosione del suolo e difficoltà di gestione per le attività agricole e forestali praticate.

In seguito al successo ottenuto dal sistema negli Stati Uniti, molti paesi europei ed extraeuropei hanno sviluppato una propria classificazione basata sulle caratteristiche del proprio territorio, che differiva dall'originale americana per il numero ed il significato delle classi e dei caratteri limitanti adottati. Così, ad esempio, mentre negli Stati Uniti vengono usate otto classi e quattro tipi di limitazioni principali, in Canada ed in Inghilterra vengono usate sette classi e cinque tipi di limitazioni principali.

La metodologia messa a punto negli Stati Uniti rimane però di gran lunga la più seguita, anche in Italia, sebbene con modifiche realizzate negli anni per adattare le specifiche delle classi alla realtà italiana, alle conoscenze pedologiche sempre più approfondite e alle mutate finalità. La LCC infatti non è più il sistema preferito dagli specialisti in conservazione del suolo che lavorano a livello aziendale, perché sono stati messi a punto, sempre a partire dalle esperienze realizzate negli Stati Uniti, sistemi più avanzati per la stima del rischio di erosione del suolo.

La LCC è stata invece via via sempre più utilizzata per la programmazione e pianificazione territoriale, cioè a scale di riferimento più vaste di quella aziendale. A tale proposito vi sono state nel tempo innumerevoli realizzazioni, basti citare la carta della potenzialità dei suoli d'Italia di Mancini e Ronchetti (1968), e le carte regionali di Piemonte (IPLA, 1982), Emilia-Romagna (Regione Emilia-Romagna, 1981), Lombardia (Regione Lombardia, 2000). Numerose anche le carte a scala di maggior dettaglio quali, ad esempio, quelle prodotte in Toscana (Costantini, 1987; Regione Toscana, 1994) e in Campania (Regione Campania, 2004).

In alcuni casi la LCC ha assunto un ruolo fondamentale di strumento per lo scambio delle conoscenze tra specialisti di discipline diverse, in particolare pedologi, agronomi, architetti e, più in generale, pianificatori territoriali, con un notevole impatto sulle decisioni degli amministratori pubblici. In tal senso si possono citare le esperienze realizzate a livello comunale in Lombardia (Brenna e Madoi, 2004), in Piemonte (Comune di Carugo, 2004) e in Sardegna (Fantola et al., 1995; Lai et al., 1995).

2.2. Caratteristiche della classificazione

La LCC si fonda su una serie di principi ispiratori.

- La valutazione si riferisce al complesso di colture praticabili nel territorio in questione e non ad una coltura in particolare.

- Vengono escluse le valutazioni dei fattori socio-economici.
- Al concetto di limitazione è legato quello di flessibilità colturale, nel senso che all'aumentare del grado di limitazione corrisponde una diminuzione nella gamma dei possibili usi agro-silvo-pastorali (figura 2.1).
- Le limitazioni prese in considerazione sono quelle permanenti e non quelle temporanee, quelle cioè che possono essere risolte da appropriati interventi di miglioramento (drenaggi, concimazioni, ecc.).
- Nel termine "difficoltà di gestione" vengono comprese tutte quelle pratiche conservative e sistematorie necessarie affinché l'uso non determini perdita di fertilità o degradazione del suolo.
- La valutazione considera un livello di conduzione gestionale medio elevato, ma allo stesso tempo accessibile alla maggioranza degli operatori agricoli.

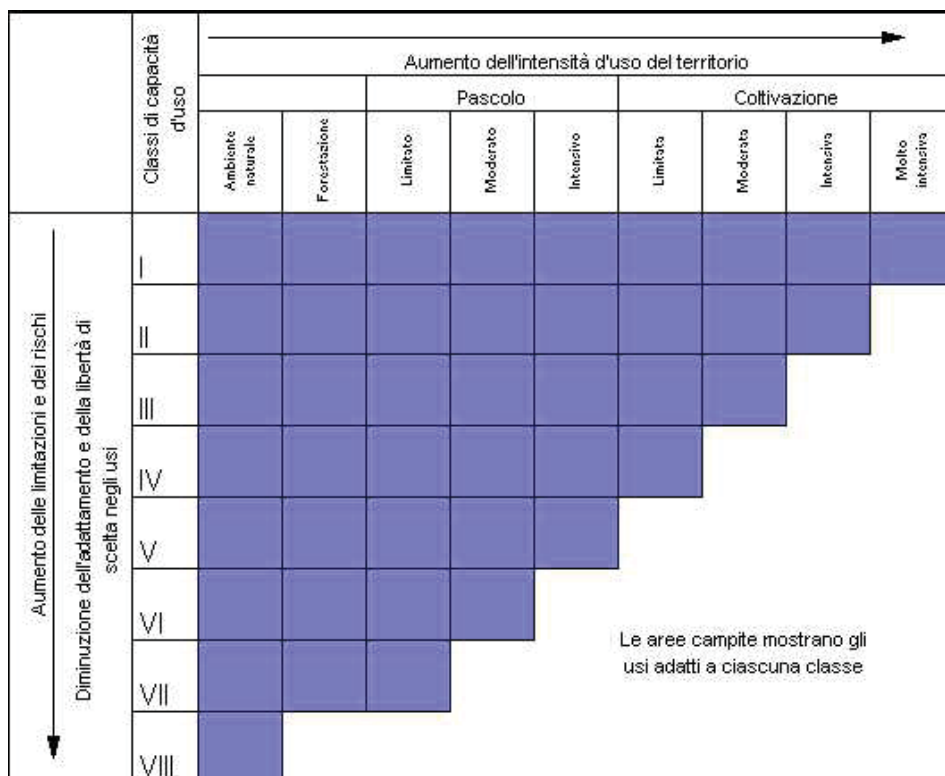


Figura 2.1. Relazioni concettuali tra classi di capacità d'uso, intensità delle limitazioni e rischi per il suolo e intensità d'uso del territorio.

La classificazione prevede tre livelli di definizione:

- 1) la classe;
- 2) la sottoclasse;
- 3) l'unità.

Le classi di capacità d'uso raggruppano sottoclassi che possiedono lo stesso grado di limitazione o rischio. Sono designate con numeri romani dall'I all'VIII in base al numero ed alla severità delle limitazioni e sono definite come segue.

Suoli arabili

- Classe I: suoli senza o con poche limitazioni all'utilizzazione agricola. Non richiedono particolari pratiche di conservazione e consentono un'ampia scelta tra le colture diffuse nell'ambiente.
- Classe II: suoli con moderate limitazioni, che riducono la scelta colturale o che richiedono alcune pratiche di conservazione, quali un'efficiente rete di affossature e di drenaggi.
- Classe III: suoli con notevoli limitazioni, che riducono la scelta colturale o che richiedono un'accurata e continua manutenzione delle sistemazioni idrauliche agrarie e forestali.
- Classe IV: suoli con limitazioni molto forti all'utilizzazione agricola. Consentono solo una limitata possibilità di scelta.

Suoli non arabili

- Classe V: suoli che presentano limitazioni ineliminabili non dovute a fenomeni di erosione e che ne riducono il loro uso alla forestazione, alla produzione di foraggi, al pascolo o al mantenimento dell'ambiente naturale (ad esempio, suoli molto pietrosi, suoli delle aree golenali).
- Classe VI: suoli con limitazioni permanenti tali da restringere l'uso alla produzione forestale, al pascolo o alla produzione di foraggi.
- Classe VII: suoli con limitazioni permanenti tali da richiedere pratiche di conservazione anche per l'utilizzazione forestale o per il pascolo.
- Classe VIII: suoli inadatti a qualsiasi tipo di utilizzazione agricola e forestale. Da destinare esclusivamente a riserve naturali o ad usi ricreativi, prevedendo gli interventi necessari a conservare il suolo e a favorire la vegetazione (figura 2.2).

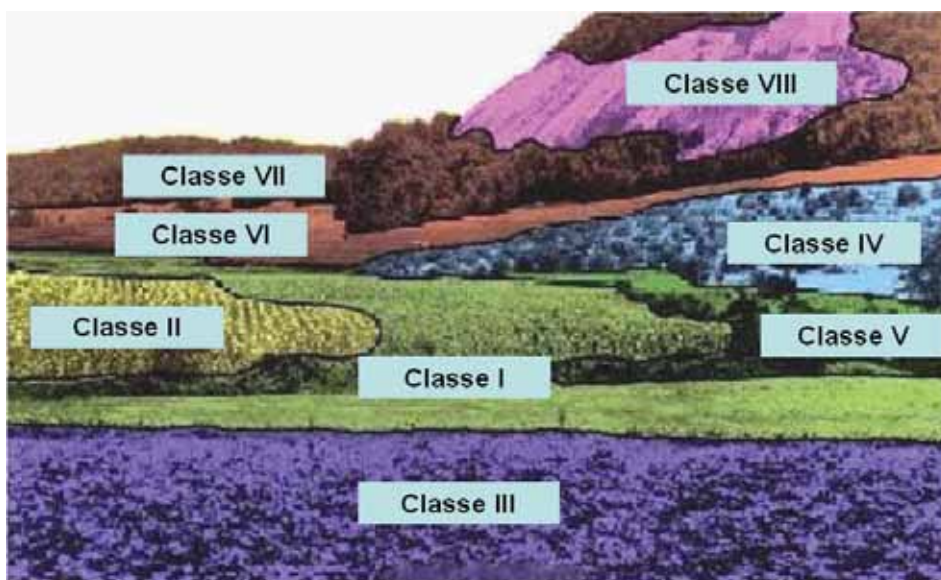


Figura 2.2. Esempificazione di terre a diversa classe di capacità d'uso.

Appartengono alla classe I i suoli dei primi terrazzi alluvionali, pianeggianti, profondi, senza limitazioni. I terrazzi più elevati, a causa di limitazioni legate alla natura del suolo, sono di classe II e III. Su versanti a pendenza moderata, ma con rischio di erosione elevato, sono presenti suoli di classe IV, mentre quelli di classe V non hanno problemi di erosione, bensì di alluvionamento molto frequente, in quanto prospicienti il corso d'acqua. In classe VI vi sono i suoli dei versanti con suoli sottili, lasciati a pascolo, mentre le terre a maggiore pendenza e rischio di erosione (suoli di classe VII) sono interessate da una selvicoltura conservativa. In classe VIII si trovano le aree improduttive sia ai fini agricoli che forestali.

2.2.1. Tabelle di stima

Si riporta un metodo originale di valutazione ricavato rielaborando i risultati del progetto SINA, Sistema Informativo Nazionale Ambientale, sottoprogetto "cartografia della capacità d'uso dei suoli" coordinato dalla Regione Emilia Romagna, a cui hanno partecipato i servizi del suolo di alcune regioni del nord Italia (Lombardia, Piemonte, Veneto, Friuli Venezia Giulia) e l'Istituto Sperimentale per lo Studio e la Difesa del Suolo di Firenze, e collaudato anche sui suoli di altre regioni d'Italia.

Tabella 2.1. Stima della classe di capacità d'uso.

CLASSE DI CAPACITÀ D'USO								
PROPRIETÀ	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII
Profondità utile per le radici (cm)	>100 elevata e molto elevata	>100 elevata e molto elevata	50-100 moderatamente elevata	25-49 scarsa	25-49 scarsa	25-49 scarsa	10-24 molto scarsa	<10 molto scarsa
AWC: acqua disponibile fino alla profondità utile (mm)	≥100 da moderata a elevata	≥100 da moderata a elevata	51-99 bassa	≤50 molto bassa	-	-	-	-
Tessitura USDA orizzonte superficiale *	S, SF, FS, F, FA	L, FL, FAS, FAL, AS, AL	A	-	-	-	-	-
Scheletro orizzonte superficiale e pietrosità piccola superficiale %	<5 assente o scarso	5-15 comune	16-35 frequente	36-70 abbondante	>70 pendenza <5%	>70 molto abbondante	-	-
Pietrosità superficiale media e grande %	<Q3 assente e molto scarsa	Q3-1 scarsa	1,1-3 comune	3,1-15 frequente	>15 pendenza <5%	15,1-50 abbondante	15,1-50 abbondante	>50 molto abbondante e affioramento pietre
Rocciosità %	0 assente	0 assente	≤2 scarsamente roccioso	2,1-10 roccioso	>10 pendenza <5%	10,1-25 molto roccioso	25,1-50 estrem. roccioso	>50 estrem. roccioso
Fertilità chimica dell'orizzonte superficiale **	buona	parzialmente buona	moderata	bassa	da buona a bassa	da buona a bassa	molto bassa	-
Salinità dell'orizzonte superficiale mS/cm	<2	2-4	2,1-8	>8	-	-	-	-
Salinità dell'orizzonte sotto superficiale (<1 m) mS/cm ***	<2	2-8	>8	>8	-	-	-	-
Drenaggio interno	ben drenato, moderatamente ben drenato	ben drenato, moderatamente ben drenato	piuttosto mal drenato, talvolta eccessivamente drenato	mal drenato, eccessivamente drenato	molto mal drenato e pendenza < 5%	molto mal drenato e pendenza > 5%	-	-
Rischio d'inondazione	assente	lieve	moderato	moderato	alto e/o golene aperte	-	-	-
Pendenza %	<13 pianeggiante o a pendenza moderata	14-20 rilevante	21-35 forte	36-60 molto forte	-	36-60 molto forte	61-90 scoscesa	>90 ripida
Erosione	assente	diffusa moderata	diffusa forte o incanalata moderata o occlusa moderata o all'assore	incanalata forte o occlusa forte	-	erosione di massa per crollo e scosciamento	-	-
Interferenza climatica ****	assente	lieve	moderata	da nessuna a moderata	da nessuna a moderata	forte	molto forte	-

(*) S'intende come orizzonte superficiale lo strato di suolo che condiziona le lavorazioni e la trafficabilità. L'orizzonte superficiale corrisponde, nei suoli arativi, alla profondità dell'orizzonte interessato dalla lavorazione principale, ad esempio aratura. Può quindi essere composto dai sotto orizzonti Ap1 e Ap2. Lo stesso concetto di orizzonte superficiale viene utilizzato in riferimento sia alla meccanizzazione che alla fertilità chimica. In questo caso, esso corrisponde in molti suoli allo strato con maggiore sviluppo delle radici fini della specie di interesse. Nel caso di una coltura arborea inerbita, però, lo spessore interessato dalle radici annuali della specie arborea può essere diverso da quello della copertura erbacea. In questo caso andrebbe considerato il secondo orizzonte. Nei suoli forestali l'orizzonte superficiale fa riferimento ai primi orizzonti minerali, fino alla profondità corrispondente a quella di un'ipotetica lavorazione principale.

(**) Caratteri funzionali della fertilità chimica: vedi tabella 2.2.

(***) Si intende come orizzonte sottosuperficiale lo strato di suolo sottostante l'orizzonte superficiale, dove hanno maggiore sviluppo le radici perennanti delle specie pluriennali. Il suo limite inferiore è in molti suoli inferiore al metro di profondità. L'orizzonte sottosuperficiale può essere composto da più orizzonti del profilo.

(****) Classi d'interferenza climatica: vedi tabella 2.3.

Tabella 2.2. Caratteri funzionali della fertilità chimica.

Descrizione	Classe LCC	pH	T.S.B.	CaCO ₃ totale	C.S.C.	E.S.P.
buona	I	6,6-8,4	e >50	e <40%	e >10	e <8
parzialmente buona	II	5,6-6,5	o 35-50	o >40%	o 5-10	e <8
moderata	III	4,5-5,5 o >8,4	o <35	o qualsiasi	o <5	o <8 e 8-15 entro 1m
bassa	IV	<4,5	e qualsiasi	e qualsiasi	e qualsiasi	o <15 e qualsiasi entro 1m
da buona a bassa	V	qualsiasi	e qualsiasi	e qualsiasi	e qualsiasi	e <8 e qualsiasi entro 1m
da buona a bassa	VI	qualsiasi	e qualsiasi	e qualsiasi	e qualsiasi	e <8 e qualsiasi entro 1m
molto bassa	VII	qualsiasi	e qualsiasi	e qualsiasi	e qualsiasi	e >15
qualsiasi	VIII	qualsiasi	e qualsiasi	e qualsiasi	e qualsiasi	e qualsiasi

Tabella 2.3. Classi di interferenza climatica.

Codice	Classe	Descrizione
1	Assente	
2	Lieve	Tale da poter condizionare negativamente alcune colture agricole in alcuni anni (ad esempio, occasionali ritorni di freddo nei fondivalle e nebbie per gli oliveti e vigneti)
3	Moderata	Tale da poter condizionare negativamente alcune colture agricole nella maggior parte degli anni (ad esempio, aree a pedoclima xerico secco, dove è più alto il rischio di "stretta" dei cereali e dove è più diffusa la pratica del maggese)
4	Forte	Tale da limitare l'uso del suolo al settore silvo-pastorale (ad esempio, aree di montagna)
5	Molto forte	Tale da limitare l'uso del suolo al settore pastorale (ad esempio, pascoli di alta quota, oltre al limite della vegetazione forestale)

2.2.2. Sottoclasse di capacità d'uso

All'interno della classe di capacità d'uso è possibile raggruppare i suoli per tipo di limitazione all'uso agricolo e forestale. Con una o più lettere minuscole, apposte dopo il numero romano che indica la classe, si segnala immediatamente all'utilizzatore se la limitazione, la cui intensità ha determinato la classe d'appartenenza, è dovuta a proprietà del suolo (**s**), ad eccesso idrico (**w**), al rischio di erosione (**e**) o ad aspetti climatici (**c**).

Le proprietà dei suoli e delle terre adottate per valutarne la LCC vengono così raggruppate:

- s** **limitazioni dovute al suolo**
profondità utile per le radici
tessitura
scheletro
pietrosità superficiale
rocciosità
fertilità chimica dell'orizzonte superficiale
salinità
drenaggio interno eccessivo
- w** **limitazioni dovute all'eccesso idrico**
drenaggio interno
rischio di inondazione
- e** **limitazioni dovute al rischio di erosione e di ribaltamento delle macchine agricole**
pendenza
erosione idrica superficiale
erosione di massa
- c** **limitazioni dovute al clima**
interferenza climatica

La classe **I** non ha sottoclassi perché i suoli ad essa appartenenti presentano poche limitazioni e di debole intensità. La classe **V** può presentare solo le sottoclassi indicate con la lettera **s**, **w**, e **c**, perché i suoli di questa classe non sono soggetti, o lo sono pochissimo, all'erosione, ma hanno altre limitazioni che ne riducono l'uso principalmente al pascolo, alla produzione di foraggi, alla selvicoltura e al mantenimento dell'ambiente.

2.2.3. Unità di capacità d'uso

Se ritenuto necessario, l'unità di capacità d'uso consente di individuare i suoli che sono simili come potenzialità d'uso agricolo e forestale e presentano

analoghe problematiche di gestione e conservazione della risorsa. Con un numero arabo apposto dopo la lettera minuscola (ad esempio, s1) si individuano suoli che presentano analogia limitazione. Ciò consente di individuare suoli simili in termini di comportamento, problematica di gestione e specifico intervento agrotecnico. Le unità di capacità d'uso vengono attribuite secondo lo schema di tabella 2.4.

Tabella 2.4. Unità di capacità d'uso.

Unità	Limitazione
1	profondità utile per le radici
2	tessitura orizzonte superficiale
3	scheletro orizzonte superficiale
4	pietrosità superficiale
5	rocciosità
6	fertilità chimica orizzonte superficiale
7	salinità
8	drenaggio interno
9	rischio di inondazione
10	pendenza
11	erosione idrica superficiale
12	erosione di massa
13	interferenza climatica

2.2.4. Terre agricole di prima qualità e terre agricole uniche

L'utilizzazione della classificazione di capacità d'uso dei suoli negli Stati Uniti ha portato allo sviluppo dei concetti di "terre agricole di prima qualità" (*prime farmland*) e di "terre agricole uniche" (*unique farmland*). Il termine di "terre di prima qualità" viene utilizzato per distinguere quelle aree con suoli che, per le loro caratteristiche fisiche permanenti, rappresentano la parte più produttiva del territorio nazionale, quella cioè su cui si basano le stime di produzione lorda vendibile delle principali derrate alimentari quotate in borsa. Questi suoli, infatti, sono stati riconosciuti come strategicamente importanti, non solo per l'approvvigionamento alimentare interno, ma anche come fattore economico di crescente importanza nella bilancia dell'*import/export* e come potente strumento di pressione politica (Miller, 1979). In genere questi terreni appartengono alla classe I e II di capacità d'uso, ma in alcuni casi è stata inserita anche parte della classe III (IIIw - drenata). Per "terre agricole uniche" si intendono invece suoli rari, con qualità particolari, di estensione limitata. Molte colture di alto valore infatti sono prodotte in terreni o ecosistemi che non potrebbero essere qualificati come di prima qualità nei termini sopra espressi. Un esempio sono i suoli delle risaie. In Italia le terre agricole uniche sono particolarmente frequenti, basti pensare a quelle che producono vini di pregio

in condizioni agronomiche generali talvolta pessime (su terreni pietrosi, sottili, ad elevata pendenza), le quali rappresentano un importante patrimonio di agroecosistemi di alto valore sia ecosistemico che economico.

Bibliografia

- BRENNI, S., MADDO, R., 2004. *Informazioni pedologiche e pianificazione territoriale: un esempio dalla Lombardia*. Boll. Società Italiana della Scienza del Suolo, 1-2, 409-414.
- COMUNE DI CARUGO, 2004. *Carta della capacità d'uso*. www.comune.carugo.co.it/DocumentiUfficioTecnico/studioGeologico/Tav2pedologica.pdf.
- COSTANTINI, E.A.C., 1987. *Cartografia tematica per la valutazione del territorio nell'ambito dei sistemi produttivi. Bacini dei torrenti Vergaia e Borratello: Area rappresentativa dell'ambiente di produzione del vino Vernaccia di San Gimignano (Siena)*. Ann. Ist. Sper. Studio e Difesa Suolo, XVIII, 23- 74, Firenze.
- FANTOLA, F., LODDO, S., PUDDU, R., ARU, A., 1995. *Studi pedologici e territoriali per l'adeguamento del Piano Urbanistico Comunale al Piano Territoriale Paesistico nel comune di Assemini. Atti del Convegno annuale S.I.S.S. "Il Ruolo della Pedologia nella Pianificazione e Gestione del Territorio"*, Cagliari, 231-246.
- IPLA, 1982. *Capacità d'uso dei suoli in Piemonte ai fini agricoli e forestali con carta scala 1:250.000*. IPLA, Torino
- KLINGEBIEL, A.A., MONTGOMERY, P.H., 1961. *Land capability classification*. USDA Agricultural Handbook 210, US Government Printing Office, Washington, DC.
- LAI, M.R., LODDO, S., PUDDU, R., SERRA, G., ARU, A., 1995. *Lo studio geopedologico nella pianificazione degli interventi di difesa del suolo e di mitigazione della desertificazione. Salvaguardia della risorsa pedologica nel quadro della legge n°183/89: il bacino del Rio S. Lucia di Capoterra*. Atti del Convegno annuale S.I.S.S., "Il Ruolo della Pedologia nella Pianificazione e Gestione del Territorio", Cagliari, 349-352.
- MANCINI, F., RONCHETTI, G., 1968. *Carta della potenzialità dei suoli d'Italia*. Comitato per la Carta dei Suoli, Firenze.
- MILLER, F.P., 1979. *Defining, Delineating and Designating Uses for Prime and Unique Agricultural Lands in Planning the Uses and Management of Land*. Monograph of Agronomy, 21.
- REGIONE CAMPANIA, 2004. *I Suoli della Piana in Destra Sele*. www.sito.regione.campania.it/agricoltura/pubblicazioni/pdf/destra-sele.pdf
- REGIONE EMILIA ROMAGNA, 1981. *Capacità d'uso dei suoli della Regione Emilia-Romagna*. Servizio Geologico Sismico e dei Suoli; Bologna.
- REGIONE LOMBARDIA, 2000. *Carta della capacità d'uso*. www.cartografia.regione.lombardia.it/cartanet/download.asp?id=35.
- REGIONE TOSCANA, 1994. *Capacità d'uso agricolo-forestale*. www.rete.toscana.it/sett/territorio/carto/cartopage/pagine/temisit/pagine/Capacitauso.htm.

Ministero delle Politiche Agricole, Alimentari e Forestali
Osservatorio Nazionale Pedologico e per la Qualità del Suolo Agricolo e Forestale

In collaborazione con:
International Union of Soil Sciences
Società Italiana della Scienza del Suolo
Commissione VI - Uso e Conservazione del Suolo

CALZOLARI, C., UNGARO, F., 2006. *Capacità protettiva dei suoli nei confronti dell'inquinamento*. In: Costantini, E.A.C. (Ed.), *Metodi di valutazione dei suoli e delle terre*, Cantagalli, Siena, pp. 922.

Collana dei metodi analitici per l'agricoltura diretta da Paolo Sequi, vol. 7

CRA - Consiglio per la Ricerca e la Sperimentazione in Agricoltura
Istituto Sperimentale per lo Studio e la Difesa del Suolo, Firenze

3. Capacità protettiva dei suoli nei confronti dell'inquinamento

Costanza Calzolari¹ e Fabrizio Ungaro¹

3.1. Introduzione	2
3.2. Capacità protettiva nei confronti delle acque	3
3.3. La Direttiva “Nitrati” 91/676/CEE, e le leggi nazionali di recepimento	5
3.4. La valutazione della capacità protettiva attraverso schemi di valutazione parametrici.....	6
3.5. La valutazione della capacità protettiva del suolo attraverso l'uso di modellistica	11
3.5.1. L'approccio “SINA”	12
3.6. La direttiva comunitaria 91/414/EEC e il lavoro del FOCUS (FORum for the Co-ordination of pesticide fate models and their Use).	15
Bibliografia	20

3.1. Introduzione

La capacità protettiva di un suolo è la sua capacità di filtrare gli agenti inquinanti e di mitigarne gli effetti nocivi, senza che ne venga compromessa la funzionalità. Questa è una qualità complessa e delicata, che può subire importanti modifiche in tempi anche brevi. Per valutarla, è necessario considerare la “vulnerabilità” del suolo.

Con vulnerabilità del suolo s'intende “la propensione del sistema suolo alla perdita di una o più delle sue funzioni ecologiche” (Batjes e Bridges, 1993). Queste funzioni includono: a) la produzione di biomassa; b) le funzioni di filtro, buffer, stoccaggio e trasformazione; c) habitat biologico e riserva genica. Le proprietà statiche e dinamiche del suolo che controllano il movimento degli inquinanti condizionano quindi la sua vulnerabilità.

La vulnerabilità del suolo è quindi un concetto più complesso di vulnerabilità delle acque, che viene normalmente definita come propensione

¹ CNR-IRPI - Istituto Ricerca Protezione Idrogeologica, Unità di Firenze - Pedologia Applicata

all'inquinamento, e spesso misurata in termini di inquinamento attuale. La vulnerabilità delle acque è legata alla capacità protettiva dei suoli all'interfaccia con l'atmosfera del sistema idrogeologico di riferimento.

Nella valutazione di un suolo in termini della sua capacità protettiva occorre innanzitutto tenere presente che il suolo non è necessariamente l'oggetto da proteggere, ma che di esso viene sfruttata la funzionalità di filtro, immagazzinamento e trasformazione. È inoltre necessario che sia chiara la finalità della valutazione perché un suolo con buone capacità protettive nei confronti delle acque d'infiltrazione non è detto che mostri analoghe capacità nei confronti delle colture agrarie che supporta e sulla catena alimentare nella quale esse entrano.

Per quanto sopra detto, è importante sottolineare che non esiste una capacità protettiva del suolo valida per tutte le finalità e per tutti gli agenti inquinanti e che anche suoli molto protettivi, ad esempio nei confronti delle acque di falda, possono accumulare sostanze inquinanti con un possibile effetto di "bomba a tempo", cioè con il rischio che il mutamento di un qualche fattore di stato o di equilibrio porti alla liberazione del carico inquinante accumulato.

Tornando al concetto di vulnerabilità, occorre inoltre sottolineare che questo termine assume anche un significato normativo dal momento che la direttiva 91/676/CEE, più nota come Direttiva "Nitrati", richiede da parte degli enti competenti, le Regioni, la definizione delle aree vulnerabili ai rischi della contaminazione da nitrati delle acque.

Il problema è dunque assai complesso, presentando aspetti normativi e aspetti legati al suolo in quanto tale, al sistema suolo-acqua-pianta-atmosfera, alle differenti sostanze e molecole considerate.

La valutazione della capacità protettiva dei suoli viene di norma fatta ricorrendo a metodologie e schemi basati su caratteristiche statiche dei suoli, differenti da caso a caso, diversamente ponderate in funzione della variabilità riscontrata localmente e della percezione di rischio avvertita dall'esperto relativamente al medesimo contesto locale.

Un'alternativa a questo tipo di approccio, divenuta più diffusa negli ultimi anni, è l'uso di modelli dinamici, fisicamente basati sulle risposte funzionali del suolo quale parte integrante del sistema suolo-pianta-atmosfera.

3.2. Capacità protettiva nei confronti delle acque

La capacità protettiva del suolo nei confronti delle acque è condizionata dalle proprietà del suolo, dalle proprietà della sostanza inquinante, dalla quantità e qualità di acqua che arriva al suolo, dalle modalità con cui l'acqua vi arriva, e dalle pratiche di gestione del suolo. Poiché i processi coinvolti sono assai differenti, occorre inoltre distinguere fra capacità protettiva nei confronti delle acque di superficie o di profondità.

La capacità protettiva del suolo nei confronti delle acque di ruscellamento è legata alle sue proprietà di superficie, oltre che alle proprietà delle sostanze inquinanti, dalla quantità d'acqua che perviene al suolo (sia in superficie che dalle acque di falda) e dalle pratiche di gestione ed utilizzazione del suolo.

Gli aspetti funzionali del suolo legati alla capacità protettiva nei confronti delle acque di ruscellamento sono quindi la capacità d'infiltrazione, a sua volta legata alla capacità di ritenuta idrica e alla conducibilità idraulica del suolo nel suo complesso e degli orizzonti superficiali, e la predisposizione alla formazione di croste superficiali (rischio d'incrostazione). La capacità protettiva di un suolo nei confronti delle acque di ruscellamento è in definitiva collegata alla sua propensione alla generazione di deflusso.

La capacità protettiva del suolo nei confronti delle acque di falda è legata alle sue proprietà, alle proprietà delle sostanze inquinanti, al carico idraulico sul suolo e alle pratiche di gestione ed utilizzazione del suolo.

Un suolo le cui proprietà determinano una rapida trasmissione di sostanze inquinanti alla falda sottostante viene definito poco protettivo, e l'area su cui questo insiste è definita *sensibile*, cioè soggetta a cambiamenti delle sue proprietà. Non è detto, però, che la presenza di un suolo poco protettivo significhi necessariamente rischio di inquinamento, dato che le pratiche di gestione possono ovviare al rischio. Al contrario, pratiche di gestione scorrette possono produrre rischio di inquinamento delle falde, anche in aree non sensibili.

I principali aspetti funzionali del suolo legati alla capacità protettiva nei confronti delle acque di falda sono: l'effetto meccanico di filtro; la capacità tampone fisico-chimica; la resistenza alla mobilità delle molecole; la capacità tampone microbiologica; l'effetto tampone sul pH. Tali funzioni sono a loro volta legate a: conducibilità idraulica, o permeabilità, e condizioni della falda, che insieme determinano il potenziale di lisciviazione; contenuto in sostanza organica; struttura del suolo; contenuto e tipologia dei materiali argillosi, che condizionano la capacità di adsorbimento. Anche il carico idraulico condiziona la quantità di percolazione che si avrà alla base del profilo verso le acque profonde. È chiaro che quando la quantità di acqua che si infila nel suolo è superiore ai fabbisogni evapotraspirativi delle colture o della vegetazione presente e alla capacità di immagazzinamento del suolo, avverrà percolazione alla base del profilo e lisciviazione di eventuali elementi inquinanti.

Gli schemi che nel tempo sono stati sviluppati per la valutazione della capacità protettiva dei suoli nei confronti delle acque, prendono tutti in considerazione le proprietà brevemente illustrate in precedenza. Il numero delle proprietà considerate ed il peso loro attribuito nella valutazione complessiva sono generalmente funzione della variabilità riscontrata localmente e della percezione di rischio avvertita dagli esperti relativamente al contesto locale.

Per ovviare ad un eccessivo peso della valutazione soggettiva dell'esperto locale, è divenuto relativamente frequente l'utilizzo di modelli matematici per

la descrizione e la previsione della lisciviazione dal suolo dei più svariati tipi di inquinanti in condizioni di campagna e per la simulazione di ipotetici scenari di gestione. Questi modelli variano ampiamente nell'approccio concettuale e nella loro complessità, essendo fortemente influenzati dall'ambiente in cui sono stati sviluppati e dalla finalità più o meno applicativa. Alcuni esempi di uso di questi modelli a scala generale sono stati realizzati anche in Italia, come in Emilia Romagna (Severi et al., 2002) ed in Veneto (Ragazzi et al., 2004).

3.3. La Direttiva “Nitrati” 91/676/CEE, e le leggi nazionali di recepimento

La direttiva 91/676/CEE, recepita in Italia con il decreto legislativo n. 152/99 e successive integrazioni e modifiche, si pone l'obiettivo di ridurre o prevenire l'inquinamento delle acque causato direttamente od indirettamente da accumulo di nitrati di origine agricola. La direttiva europea definisce come “vulnerabili” le zone che scaricano in acque inquinate o che potrebbero essere tali, e che potrebbero concorrere al loro inquinamento, e ne prescrive la delimitazione ad opera degli Stati Membri. Gli Stati Membri devono quindi provvedere ad individuare sul loro territorio “le acque, di superficie o sotterranee, inquinate o che potrebbero essere inquinate” e le “zone vulnerabili che concorrono all'inquinamento”. Gli Stati Membri, inoltre, sono tenuti a fissare “codici di buona pratica agricola”, applicabili a discrezione degli agricoltori, e ad elaborare ed applicare programmi d'azione per le zone vulnerabili. Questi comprendono le misure vincolanti descritte nei codici di buona pratica agricola, nonché “provvedimenti intesi a limitare l'impiego in agricoltura di fertilizzanti che contengono azoto e a fissare restrizioni per l'impiego in agricoltura di effluenti di allevamento”. Agli Stati Membri, infine, è affidato il compito di monitorare con cadenze specificate la qualità delle acque “applicando a tal fine metodi standardizzati di misura di riferimento per i composti azotati”.

Il decreto legislativo 152/99 di recepimento a sua volta delega alle amministrazioni regionali il compito di redigere la documentazione cartografica, con la delimitazione delle zone vulnerabili e le relative misure di accompagnamento, e di predisporre i Piani di Azione per il recupero delle aree inquinate o a rischio di inquinamento. Nell'allegato 7, parte A, vengono stabiliti i criteri per la definizione delle aree vulnerabili, conformemente a quanto stabilito dalla direttiva europea, e vengono indicate le metodologie di riferimento. Le aree vulnerabili debbono quindi essere individuate “tenendo conto dei carichi, nonché dei fattori ambientali che possono concorrere a determinare uno stato di contaminazione”. I fattori ambientali individuati nel decreto legge dipendono: dalla “vulnerabilità intrinseca delle formazioni acquifere ai fluidi inquinanti”; dalla “capacità d'attenuazione del suolo nei confronti dell'inquinante”; dalle “condizioni climatiche e idrologiche”; dal “tipo di ordinamento colturale e dalle relative pratiche agronomiche”. La capacità d'attenuazione del suolo nei confronti dell'inquinante viene messa in relazione alle “caratteristiche di tessitura, contenuto di sostanza organica ed altri fattori relativi alla sua composizione e reattività chimico-

biologica”. Pur indicando nella metodologia CNR-GNDCI (Civita e De Maio, 2001) il riferimento metodologico, il decreto legislativo 152/1999 non esclude l’uso d’altre metodologie. In particolare, non vengono fornite ulteriori specifiche per la definizione della “capacità attenuativa” dei suoli. Viene inoltre specificato che le indagini preliminari di riconoscimento delle aree vulnerabili devono essere seguite da indagini successive di approfondimento sulla base di nuove indicazioni provenienti dalle attività di monitoraggio contestualmente attivate e comunque laddove le amministrazioni regionali ne ravvedano la necessità.

3.4. La valutazione della capacità protettiva attraverso schemi di valutazione parametrici

Il problema dell’inquinamento delle acque è sicuramente più sentito nelle aree sottoposte da tempo a forti pressioni antropiche, legate sia all’industria che all’agricoltura intensiva. Non è quindi casuale che i primi esempi di valutazioni in tal senso siano relativi alle regioni del nord Italia e, in particolare, del bacino padano-veneto. Carte della capacità protettiva del suolo sono state prodotte da Piemonte, Lombardia, Veneto, Friuli Venezia Giulia e Emilia Romagna, in alcuni casi ancora prima dell’entrata in vigore della Direttiva “Nitrati”. In seguito al recepimento della Direttiva “Nitrati”, anche altre regioni centro-meridionali hanno prodotto negli ultimi anni cartografie di vulnerabilità o di capacità protettiva. Alcuni esempi vengono illustrati di seguito.

Piemonte - IPLA

In Piemonte sono stati realizzati diversi esempi di carte della capacità protettiva del suolo da parte dell’IPLA di Torino (Carta della Capacità Protettiva dei Suoli nei confronti delle acque sotterranee a scala 1:250.000 per tutta la regione e a scala 1:50.000 per le aree di pianura attualmente coperte da cartografia dei suoli). Per la realizzazione della Carta della Capacità Protettiva è stato utilizzato un approccio parametrico derivato dal sistema di classificazione idrologica dei suoli del Regno Unito, HOST (*Hydrology of Soil Types*, Boorman et al., 1995). Questo sistema è costituito da modelli concettuali dei processi che si svolgono nel suolo o nel substrato. Tali modelli si basano su tre tipi di condizioni idrologiche: suoli su substrati permeabili con falda a profondità maggiori di 2 metri; suoli su substrato permeabile con una falda superficiale; suoli con un orizzonte impermeabile o poco permeabile entro un metro. All’interno di queste tre situazioni vengono individuate delle suddivisioni basate su diverse proprietà del suolo e sulla presenza di orizzonti organici o con caratteristiche idromorfe. Ne risultano 11 gruppi a loro volta articolati in 29 classi in base alle proprietà del substrato. Per l’applicazione in Piemonte, questo modello è stato modificato in modo da considerare

esclusivamente alcune caratteristiche dei suoli, quali la quantità di scheletro, la tessitura, la presenza di crepacciature, la profondità dell'orizzonte permanentemente ridotto, il quantitativo di argilla, il pH e la quantità di carbonio organico.

Lombardia – ERSAF

Lo schema proposto in Lombardia dall'ERSAF (Ente Regionale per i Servizi all'Agricoltura e alle Foreste), recentemente utilizzato per l'individuazione delle zone vulnerabili a nitrati e fitofarmaci nel quadro del Programma di Tutela e Uso delle Acque (Regione Lombardia, Deliberazione n. VII/19359, 2004) e adottato con modifiche varie da altri servizi dei suoli regionali, prevede la classificazione in tre classi di capacità protettiva, e si riferisce alla capacità del suolo a trattenere potenziali inquinanti veicolati dalle acque entro la parte di suolo interessata dagli apparati radicali delle piante, per un periodo di tempo sufficiente a permetterne la degradazione (Brenna e Rasio, 2000). Le caratteristiche considerate nello schema di valutazione sono: la permeabilità (dello strato meno permeabile entro i 150 cm); la granulometria (famiglia tessiturale); la profondità della falda (limite superiore dell'oscillazione della frangia freatica, in relazione alla permeabilità); i valori di pH e Capacità di Scambio Cationica (CSC), interpretati come modificatori della classe. Lo schema utilizzato è riportato in tabella 3.1 (ERSAF,1997a, 1997b).

Tabella 3.1. Schema di valutazione ERSAF.

CAPACITÀ PROTETTIVA	PERMEABILITÀ	PROFONDITÀ DELLA FALDA	CLASSE GRANULOMETRICA
ELEVATA	Bassa ($<0,36 \text{ cm h}^{-1}$)	>100 con permeabilità bassa	Fine, molto fine, limosa fine, franca fine, limosa grossolana, franca, scheletrico argillosa, più tutte le classi fortemente contrastanti, comprese quelle su sabbiosa, scheletrico sabbiosa e frammentale, in cui il primo termine sia fine, molto fine o limosa fine.
MODERATA	Moderata ($0,36-3,6 \text{ cm h}^{-1}$)	50-100 con permeabilità bassa >100 con permeabilità moderata	Franca grossolana, scheletrico franca, più le rimanenti classi su sabbiosa, scheletrico sabbiosa e frammentale.
BASSA	Elevata ($>3,6 \text{ cm h}^{-1}$)	≤ 50 con permeabilità bassa ≤ 100 con permeabilità moderata	Sabbiosa, scheletrico sabbiosa e frammentale, più le classi fortemente contrastanti in cui il primo termine sia sabbiosa, scheletrico sabbiosa o frammentale.

Modificatori chimici: pH e CSC.

$\text{PH} \leq 5,5$ e $\text{CSC} < 10 \text{ cmol kg}^{-1}$ determinano il peggioramento di una classe.

Veneto

La capacità protettiva del suolo nei confronti dell'inquinamento da fonti diffuse di origine agricola è stata valutata nelle prime cartografie regionali di attitudine allo spargimento dei liquami zootecnici (DGRV n.615/1996) utilizzando lo schema sviluppato in Lombardia dall'ERSAL-ERSAF. Recentemente, l'Osservatorio Regionale Suolo dell'ARPA Veneto (Calzolari et al., 2004; Ragazzi et al., 2004) ha adottato un approccio dinamico basato sulle risposte funzionali del suolo attraverso l'uso di modellistica (MACRO, Jarvis, 1994), che verrà descritto successivamente.

Friuli Venezia Giulia

In ottemperanza a quanto previsto dal DL 152/99, l'Ufficio del Suolo dell'Ente Regionale per la Promozione e lo Sviluppo dell'Agricoltura del Friuli-Venezia Giulia (ERSA) ha realizzato una carta in scala 1:250.000 con la valutazione della capacità protettiva del suolo (ERSA, 2003). Il metodo utilizzato, analogamente a quanto visto per altre regioni, è un metodo parametrico additivo a punteggi (Michelutti et al., 2001).

Le qualità dei suoli prese in considerazione, in quanto ritenute maggiormente discriminanti in ambito regionale, sono (tabella 3.2):

- la capacità di scambio cationico (CSC), misurata sugli orizzonti e ponderata sul primo metro di suolo, tenendo conto dello spessore degli orizzonti stessi e del loro contenuto in scheletro;
- la capacità di ritenzione idrica (AWC), stimata con pedofunzione, del primo metro di suolo;
- la permeabilità, valutata sullo strato meno permeabile con almeno 30 cm di spessore entro 150 cm;
- la granulometria in profondità (famiglia granulometrica USDA).

Ad ogni qualità del suolo viene attribuito un valore che va da 0, per un valore non penalizzante, a 2, per il valore più penalizzante (ERSA, 2003).

Emilia Romagna

Il Servizio Geologico Sismico dei Suoli della Regione Emilia Romagna, ha realizzato nel corso degli anni valutazioni e cartografie della capacità protettiva del suolo adottando il tradizionale approccio parametrico, con schemi analoghi a quelli presentati per le altre regioni padane. Negli ultimi anni, a tali metodi è stato affiancato un approccio basato su modelli che verrà descritto successivamente.

Campania

In applicazione alla Direttiva "Nitrati", è stata realizzata la Carta della capacità di attenuazione dei suoli a partire dalla prima approssimazione della Carta dei

Suoli della Campania, realizzata dalla Regione Campania, settore SIRCA. La valutazione della capacità di attenuazione, e quindi la vulnerabilità ai nitrati, si basa sulla capacità dei suoli di trattenere l'acqua.

Tabella 3.2. Schema di valutazione Friuli Venezia Giulia (Michelutti et al., 2001).

CAPACITÀ PROTETTIVA	CSC cmol/kg	AWC mm	CLASSE GRANULOMETRICA SUBSTRATO	PERMEABILITÀ mm/h
ELEVATA	> 10	> 150	Fine, molto fine, limosa fine, franca fine, limosa grossolana, scheletrico argilloso, più tutte le classi fortemente contrastanti, comprese quelle su sabbiosa, scheletrico sabbiosa e frammentale in cui il primo termine sia fine, molto fine o limosa fine.	< 0,36
MODERATA	5 – 10	75 – 150	Franca grossolana, scheletrico franca, più le rimanenti classi su sabbiosa, scheletrico sabbiosa e frammentale	0,36 – 36
BASSA	< 5	< 75	Sabbiosa, scheletrico sabbiosa e frammentale, più le classi fortemente contrastanti in cui il primo termine sia sabbiosa, scheletrico sabbiosa e frammentale.	> 36

Calabria

Nell'ambito del Programma Interregionale Agricoltura-Qualità, misura 5, promosso dal Ministero per le Politiche Agricole e Forestali, è stata realizzata da parte del servizio agro-pedologia dell'ARSSA, la carta della vulnerabilità da nitrati d'origine agricola (ARSSA -Regione Calabria, 2002). Il lavoro s'inserisce nel quadro delle azioni previste dal DL 152/99 di recepimento della Direttiva "Nitrati", e coerentemente con questo tiene conto delle condizioni predisponesti il rischio, cioè dei carichi azotati; della vulnerabilità intrinseca dell'acquifero e della capacità di attenuazione dei suoli nei confronti dell'inquinante.

La capacità d'attenuazione viene stimata con uno schema analogo a quelli già visti, basato sul concetto del fattore limitante (tabella 3.3), utilizzando tre classi, ridotte poi a due accorpendo le classi meno protettive. Le proprietà del suolo considerate sono: la profondità, la permeabilità, la profondità della falda, la famiglia tessiturale, il pH e la capacità di scambio cationico. Incrociando i diversi strati informativi viene quindi prodotta la carta della vulnerabilità, che prevede due sole classi, aree vulnerabili e aree non vulnerabili, secondo lo schema di tabella 3.4.

Tabella 3.3. Schema di valutazione della capacità d'attenuazione per la Calabria (ARSSA, 2002).

Capacità Protettiva	Profondità del Suolo cm	Permeabilità	Profondità della falda	Classe Granulometrica Substrato	pH CSC meq/100g
ELEVATA	> 100	Bassa, moderatamente bassa	> 100	Fine, molto fine, limosa fine, franca fine, limosa grossolana, scheletrico argillosa, più tutte le classi fortemente contrastanti, comprese quelle su sabbiosa, scheletrico sabbiosa e frammentale in cui il primo termine sia fine, molto fine o limosa fine.	pH > 5,6 CSC > 10
MODERATA	50 – 100	Moderatamente elevata	50 - 100	Franca grossolana, scheletrico franca, più le rimanenti classi su sabbiosa, scheletrico sabbiosa e frammentale.	pH 4,5 – 5,6 CSC 5 – 10
BASSA	< 100	Elevata	< 100	Sabbiosa, scheletrico sabbiosa e frammentale, più le classi fortemente contrastanti in cui il primo termine sia sabbiosa, scheletrico sabbiosa o frammentale.	pH < 4,5 CSC < 5

Tabella 3.4. Classi finali della Carta di vulnerabilità (ARSSA, 2002).

Classi di vulnerabilità	Uso del suolo	Profondità acquifero (m)	Capacità protettiva dei suoli	Caratteristiche insaturo
Vulnerabili	Agricolo	< 50	Non protettivi (classe c.p. moderata e bassa)	Permeabile
Non vulnerabili	Forestale o seminaturale	> 50	Protettivi (classe c.p. elevata)	Non permeabile

Sicilia

Sempre in applicazione del DL 152/99, la Regione Siciliana ha pubblicato sulla Gazzetta Ufficiale della regione il decreto 17 febbraio 2003, nel cui allegato vengono riportati i criteri di realizzazione della carta della vulnerabilità all'inquinamento da nitrati di origine agricola. La valutazione prevede la classificazione delle aree agricole in tre classi, a vulnerabilità alta, a vulnerabilità media e non vulnerabili, attraverso l'incrocio di diversi strati informativi:

- la carta del rischio pedologico, derivata dalla carta dei suoli (scala 1:250.000, Fierotti et al., 1988);
- la carta dell'indice di aridità, a sua volta derivata dalla carta delle precipitazioni medie annue e dalla carta dell'evapotraspirazione;
- la carta dell'uso del suolo.

La carta del rischio pedologico prevede tre classi di rischio: trascurabile, medio ed alto, e prende in considerazione la capacità di ritenuta idrica a sua volta stimata a partire dalla tessitura e dalla profondità dei suoli: suoli con capacità di ritenuta idrica inferiore a 40 mm presentano un alto rischio pedologico; suoli con capacità di ritenuta idrica fra 40 e 80 mm, presentano un rischio medio; suoli con capacità di ritenuta idrica superiore agli 80 mm presentano un rischio trascurabile.

La carta dell'indice d'aridità, dato dal rapporto fra precipitazioni medie annue ed evapotraspirazione potenziale media annua, viene realizzata attraverso l'incrocio delle relative carte tematiche.

Dall'integrazione delle due carte del rischio pedologico e dell'indice d'aridità si ottiene la carta del "rischio potenziale del rilascio di nitrati", che prevede 5 classi di rischio: molto alto, alto, medio, basso e molto basso.

La carta dell'uso del suolo, infine, viene utilizzata per definire la cartografia finale, nella quale per i terreni agricoli vengono identificate tre classi di vulnerabilità: aree agricole ad alta vulnerabilità, nella quale rientrano i suoli con rischio potenziale alto e molto alto (a bassa capacità protettiva); aree agricole a media vulnerabilità, nelle quali rientrano i suoli con rischio potenziale medio (a media capacità protettiva); aree agricole non vulnerabili, nelle quali rientrano i suoli con rischio potenziale basso e molto basso (ad alta capacità protettiva).

Nell'Allegato B del citato Decreto della Regione Siciliana, per le aree definite vulnerabili vengono stabilite le norme relative alla gestione dei fertilizzanti e ad altre pratiche agronomiche, fra le quali l'irrigazione.

3.5. La valutazione della capacità protettiva del suolo attraverso l'uso di modellistica

In alternativa agli schemi parametrici brevemente descritti, la capacità protettiva dei suoli nei confronti delle acque può essere stimata utilizzando modelli matematici basati fisicamente sulle risposte funzionali del suolo a *input* esterni. In quest'accezione, la valutazione di rischio di contaminazione da fonti diffuse di tipo agricolo avviene attraverso la simulazione di sistemi suolo-pianta-atmosfera tipici di determinati contesti agro-ambientali.

Negli ultimi anni sono stati messi a punto numerosi modelli matematici per la descrizione e per la previsione della lisciviazione dal suolo dei più svariati tipi di inquinanti in condizioni di campagna e per la simulazione di ipotetici scenari di gestione (Wosten et al., 2001). Poiché questi modelli richiedono

spesso *input* complessi da acquisire che normalmente non sono raccolti nei rilevamenti di routine, sono state sviluppate opportune pedofunzioni per calcolarli (Ungaro e Calzolari, 2001; Ungaro et al., 2005). In Italia sono state realizzate negli ultimi anni alcune applicazioni a piccola scala di modellistica fisico-matematica.

3.5.1. L'approccio "SINA"

Nell'ambito del progetto del Sistema Informativo Nazionale Ambientale (SINA), la regione Emilia Romagna ha coordinato negli anni 1997-2000 il progetto "Cartografia Pedologica in aree ad elevato rischio di crisi ambientale". Il progetto era articolato in tre sottoprogetti, il secondo dei quali, "Modelli e pedofunzioni per la stima delle qualità del suolo influenti sulla vulnerabilità delle acque", ha visto la collaborazione di diversi Enti Regionali e Istituti di Ricerca per la realizzazione di una procedura per la valutazione della capacità protettiva del suolo nei confronti delle acque di falda (Calzolari et al., 2000).

Tale procedura prevede: la scelta di un certo numero di suoli capisaldo dell'area di studio, rappresentativi di tipologie di comportamento differenziate; la descrizione dei profili in campo secondo le tecniche standard, integrate da un'accurata descrizione delle caratteristiche legate al comportamento fisico-idrologico del suolo; il campionamento delle misure routinarie e fisiche idrologiche, della densità apparente (BD), della conducibilità idrica satura (Ks) e della curva di ritenzione idrica (pF). I dati così raccolti vengono utilizzati come *input* per il modello di bilancio idrico MACRO (Jarvis, 1994), eventualmente accoppiato al modello di simulazione dei flussi azotati SOILN (Eckersten et al., 1996; Larsson, 1999; Larsson e Jarvis, 1999). L'attribuzione a classi di capacità protettiva dei suoli è quindi basata sui flussi, idrici e azotati, in uscita dal suolo. Attraverso criteri di similitudine, e con l'ausilio di pedofunzioni per la stima dei parametri necessari al modello MACRO, è infine possibile, con un buon grado di confidenza, applicare la valutazione a suoli non rilevati appositamente, in modo da estendere geograficamente i risultati della procedura.

Il modello di bilancio idrico MACRO (Jarvis, 1994), simula i flussi in condizioni di suolo saturo e insaturo ed ha come caratteristica peculiare la suddivisione in due domini di flusso: per micropori e per macropori, ognuno diversamente caratterizzato per le differenti leggi fisiche che li regolano. I due domini di flusso sono in equilibrio dinamico tra loro e gli scambi sono calcolati in funzione del tipo, della dimensione e del grado di struttura pedologica, rilevata in campo. Per il funzionamento del modello sono necessari come *input*, per ogni orizzonte, i parametri fisico-idrologici del suolo, le curve di ritenzione idrica e la conducibilità idrica satura, i parametri delle colture in atto e i calendari di gestione. Sono inoltre necessari come variabili guida i dati di

precipitazione, temperatura ed evapotraspirazione e devono essere descritte le condizioni al contorno (presenza di falda, presenza di dreni, ecc.).

Nel corso del progetto sono state messe a punto procedure per l'acquisizione ed il trattamento dei dati necessari al modello, nonché una serie di pedofunzioni da utilizzare in caso di mancanza dei dati fisici e idrologici per alcuni orizzonti o alcuni suoli.

Una volta controllato il funzionamento su un certo numero di siti attrezzati, il modello è stato fatto girare, in accoppiata con il modello di simulazione di flussi azotati SOILN (Eckersten et al., 1996; Larsson, 1999; Larsson e Jarvis, 1999) su 51 profili di suoli caposaldo della pianura padano-veneta, in differenti scenari culturali. I risultati delle simulazioni sono stati utilizzati, attraverso analisi statistiche, per definire le classi di capacità protettiva dei suoli secondo la tabella 3.5.

Tabella 3.5. Classi di capacità protettiva dei suoli.

Capacità protettiva	Flussi relativi %	Perdite relative NO ₃ ⁻ %
Bassa (B)	>40%	>20%
Moderatamente Bassa (MB)	29-40%	11-20%
Moderatamente Alta (MA)	12-28%	5-10%
Alta (A)	<12%	<5%

Per la definizione delle classi sono stati usati i flussi idrici alla base del profilo e le perdite in nitrati "relativi", cioè normalizzati agli *input* in termini di precipitazioni ed irrigazioni e di azoto.

I risultati delle simulazioni sono stati utilizzati per derivare equazioni di regressione fra i flussi alla base del profilo e le perdite di nitrati associate. Per la monosuccessione di mais è stata calcolata la seguente relazione:

$$y = 0.1337 * x^{1.2875} \quad [r^2 = 0.8705] \quad (1)$$

nella quale la variabile dipendente è rappresentata dalle perdite di nitrati relative agli *input* azotati, e la variabile indipendente dai flussi relativi alla base del profilo, entrambe espresse in percentuale. In figura 3.1 è riportato il grafico della relazione (Calzolari et al., 2001).

L'approccio brevemente descritto è stato utilizzato da alcuni enti regionali in applicazione della Direttiva "Nitrati". In Veneto è stata prodotta dall'Agenzia Regionale per la Protezione dell'Ambiente, la carta della capacità protettiva dei suoli del bacino scolante in laguna di Venezia (ARPAV - Regione del Veneto, 2004)(figura 3.2), successivamente estesa ai suoli di pianura.

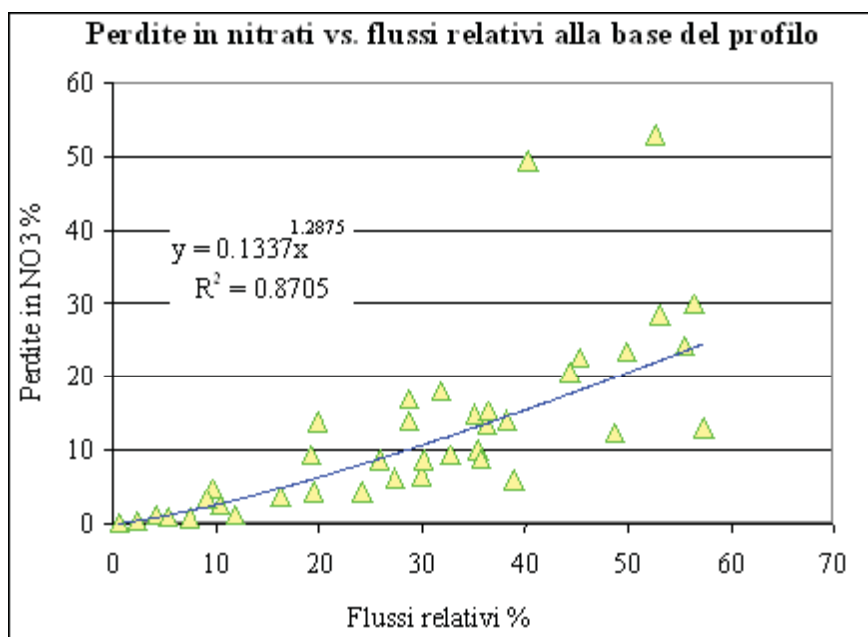


Figura 3.1. Relazione fra flussi idrici in uscita alla base del profilo e perdite in nitrati.

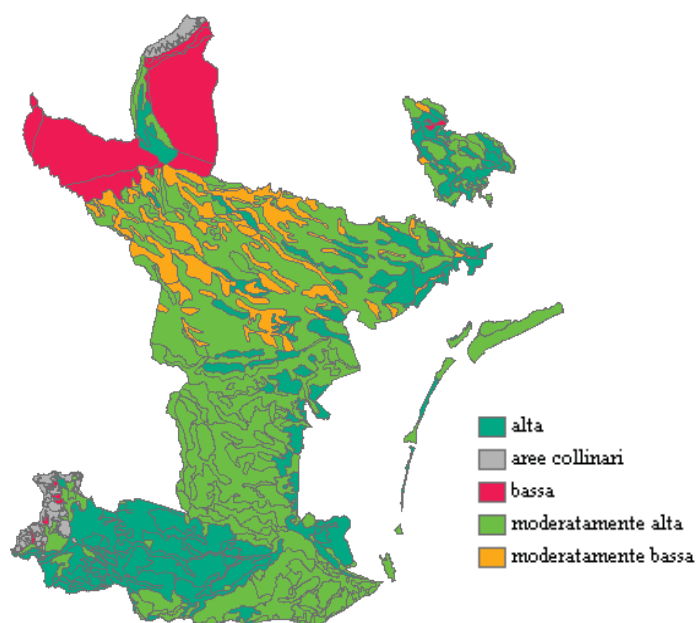


Figura 3.2. Carta della capacità protettiva dei suoli del bacino scolante in laguna di Venezia (ARPAV, 2004).

In Emilia Romagna, sempre in attuazione della legge 152/99, è stata recentemente prodotta la nuova carta regionale della vulnerabilità (Severi et al., 2002), nella quale l'aspetto relativo al suolo ed al suo ruolo è stato trattato utilizzando l'approccio definito nell'ambito del progetto SINA.

In questo lavoro, quello che viene valutato non è tanto la "capacità di attenuazione" del suolo, quanto "l'attitudine degli agro-ecosistemi ad influenzare il passaggio dei nitrati di origine agricola" nelle acque superficiali e in quelle profonde. Viene quindi introdotto il concetto che la capacità protettiva è una caratteristica degli agro-ecosistemi, più che del suolo. Il risultato è una carta con 4 classi di flussi in uscita dal sistema quale "contributo del sistema suolo-clima-coltura alla potenzialità di ricarica", nei confronti delle acque profonde. Questa carta viene infine incrociata con la carta della profondità del tetto dei depositi grossolani dal piano campagna per produrre la nuova carta regionale della vulnerabilità (Severi et al., 2002), secondo la tabella 3.6.

Tabella 3.6. Classi di vulnerabilità della regione Emilia Romagna (Severi et al., 2002).

CONTRIBUTO DEL SISTEMA SUOLO-CLIMA- COLTURA ALLA RICARICA DEGLI ACQUIFERI PROFONDI				
Profondità dei depositi grossolani dal P.C.	ALTO	MODERAT. ALTO	MODERAT. BASSO	BASSO
> 10 m	MEDIA	BASSA	BASSA	BASSA
5 - 10 m	ALTA	ALTA	MEDIA	BASSA
0 - 5 m	ELEVATA	ALTA	ALTA	MEDIA
Affioranti	ESTR. ELEVATA	ELEVATA	ALTA	ALTA

3.6. La direttiva comunitaria 91/414/EEC e il lavoro del FOCUS (FORum for the Co-ordination of pesticide fate models and their Use).

Le attività agricole sono uno dei principali responsabili del processo di contaminazione delle acque superficiali e profonde a causa del largo uso di sostanze chimiche di sintesi, dai fertilizzanti ai fitofarmaci, che, se applicate senza opportune precauzioni accompagnate da una profonda conoscenza dei processi di trasporto dei soluti nel suolo, possono dar luogo a fenomeni di tossicità ed inquinamento della risorsa idrica.

Il destino di questi composti nell'ambiente è influenzato da diversi fattori legati a:

- caratteristiche del composto;
- caratteristiche del suolo;

- condizioni climatiche;
- pratiche di gestione agricole;
- interazioni tra i suddetti fattori.

A causa della complessità del problema, negli ultimi decenni è molto aumentato il ricorso a modelli matematici quali strumenti di valutazione per la stima della suscettibilità delle acque alla contaminazione da inquinanti e xenobiotici di uso agricolo. In questo contesto si inserisce sul piano legislativo la direttiva comunitaria 91/414/EEC che impone a tutti i paesi membri di provvedere a legiferare in materia di registrazione dei fitofarmaci, prevedendo che le proposte di registrazione siano accompagnate da opportuni studi di impatto ambientale delle diverse sostanze. In particolare, la direttiva sottolinea l'importanza di utilizzare "modelli validati" per calcolare le "concentrazioni ambientali previste" (PECs, *Predicted Environmental Concentrations*) quali base per la definizione del rischio ambientale e la valutazione degli effetti sulla salute. I risultati ottenuti in termini di PECs devono essere utilizzati secondo la direttiva sia per valutare la necessità d'ulteriori verifiche sperimentali, sia per guidare le decisioni in termini di gestione e tutela delle risorse territoriali. Davanti all'assenza di criteri condivisi e di metodologie comuni, la DG VI Ambiente della Commissione ha istituito il Forum per il coordinamento dei modelli per il destino dei pesticidi ed il loro utilizzo, detto anche FOCUS (FORum for the Co-ordination of pesticide fate models and their Use, 1995; 1996; 1997; 2000; 2001). FOCUS ha quindi provveduto a definire linee guida pratiche per l'uso di modelli di simulazione nell'ambito della procedura di registrazione comunitaria e a sviluppare procedure di calibrazione e validazione comuni per l'utilizzo dei modelli nell'ambito di scenari standardizzati relativi alle diverse condizioni ambientali, climatiche, pedologiche ed idrologiche riscontrate nella UE. Due distinte fasi del lavoro di calibrazione e validazione sono state seguite: una prima per le acque profonde ed una seconda per le acque superficiali. Per quanto riguarda le acque profonde, gli scenari messi a punto dal FOCUS per la valutazione in prima approssimazione del potenziale di lisciviazione sono definiti da un set di nove combinazioni standard di dati climatici, pedologici e colturali (cinque colture comuni a tutti gli scenari e 20 colture presenti in almeno uno scenario), relative a nove siti: Châteaudun (Francia), Hamburg (Germania), Jokioinen (Finlandia), Kremsmünster (Austria), Okehampton (Regno Unito), Piacenza (Italia), Porto (Portogallo), Sevilla (Spagna), Thiva (Grecia). In base agli scenari implementati sono stati definiti i dati di *input* per quattro modelli di simulazione: MACRO 4.2, PEARL 1.1, PELMO 3.2 e PRZM 3.2.

Gli scenari individuati non rappresentano specifiche condizioni di campo, né tanto meno vogliono rappresentare la località o lo Stato nel quale sono localizzati, ma sono esempi "realistici" di *worst-case scenarios*, utili alla definizione del rischio di lisciviazione, adottando come valore di soglia limite di concentrazione $0,1 \text{ mg L}^{-1}$. Le simulazioni hanno una durata pari a 20 anni nel caso di pesticidi applicati ogni anno; la durata sale a 40 e 60 anni

rispettivamente nel caso di prodotti applicati ogni due o ogni tre anni. Ogni simulazione è preceduta da un periodo d'inizializzazione di sei anni, i cui risultati vengono ignorati al fine della valutazione del potenziale di lisciviazione. I risultati delle simulazioni vengono riportati come concentrazioni medie annue ad una profondità definita, date dal rapporto tra l'integrale del flusso di soluto (la quantità totale di sostanza attiva o dei suoi metabolici che raggiungono la profondità specificata durante il corso dell'anno) e l'integrale del flusso idrico alla stessa profondità nello stesso arco di tempo (flusso annuo di ricarica); negli anni nei quali il flusso netto di ricarica alla profondità specificata è nullo, la concentrazione del soluto e dei suoi metabolici viene posta pari a zero. In forma d'equazione, la concentrazione media annua ad una data profondità viene calcolata come segue:

$$C_i = (\sum_{i,i+j} J_s) / (\sum_{i,i+j} J_w) \quad (2)$$

dove C_i è la concentrazione media alla profondità specificata (mg L^{-1}) per il periodo di tempo che va dal giorno i al giorno j (365 o 366 giorni per gli scenari di 20 anni, 730 o 731 per gli scenari di 40 anni; 1095 o 1096 per gli scenari di 60 anni), J_s è il flusso di soluto giornaliero ($\text{mg m}^{-2} \text{ d}^{-1}$) e J_w è il flusso idrico giornaliero ($\text{L m}^{-2} \text{ d}^{-1}$). La profondità di riferimento è fissata a 1 metro per tutti i modelli.

Gli *output* delle simulazioni, ossia i venti valori medi annui, vengono ordinati dal più basso al più alto; il diciassettesimo valore (il quarto più elevato) viene utilizzato per rappresentare il valore dell'ottantesimo percentile associato alle variabili guida climatiche adottate per le specifiche condizioni di simulazione, mentre le concentrazioni relative al novantesimo percentile rappresentano la vulnerabilità associata alle condizioni pedologiche e climatiche. Per una corretta interpretazione dei risultati, oltre alla concentrazione media alla profondità di 1 metro, dovrebbero essere riportati anche una lista dei parametri necessari al calcolo del bilancio idrico e del bilancio di massa, le precipitazioni annue (ed eventuali apporti irrigui), l'evapotraspirazione, il *runoff*, la percolazione ad 1 metro e la variazione di acqua immagazzinata nel suolo. Nel caso del bilancio di massa, dovrebbero essere esplicitate le seguenti voci su base annua: quantità applicata (o prodotta, nel caso dei metabolici); perdite per erosione e *runoff*; prelievo colturale; degradazione; perdite per volatilizzazione; lisciviazione a profondità maggiore di 1 metro; immagazzinamento entro 1 metro.

I modelli adottati dal FOCUS sono caratterizzati da architetture concettuali differenti, così come differenti sono le condizioni ambientali ed idrologiche che sono in grado di gestire ed i processi che possono di simulare. PELMO e PRZM sono modelli capacitativi di tipo funzionale, mentre MACRO e PEARL sono modelli meccanicistici più complessi.

MACRO

MACRO (Jarvis, 1994) è un modello numerico per la simulazione del bilancio idrico e del trasporto di soluti nel suolo. Il modello simula i flussi in condizione di suolo insaturo e saturo, in presenza o meno di coltura, di falda (permanente od oscillante) e di sistema di drenaggio. Peculiarità del modello è la suddivisione del suolo in due domini di flusso, micropori e macropori, ciascuno caratterizzato dal proprio contenuto idrico, dalla propria intensità di flusso e concentrazione di soluti. Per descrivere i flussi nel dominio dei micropori sono utilizzate l'equazione di Richards e l'equazione di convezione-dispersione, mentre i flussi nei macropori sono di tipo laminare-gravitativo, secondo la legge di Darcy. Il massimo contenuto idrico nei due domini, corrispondente alla capacità di campo nel caso dei micropori e alla differenza tra saturazione totale e capacità di campo nel caso dei macropori, viene derivato dall'esame delle curve di ritenzione sperimentali. I due domini di flusso sono in equilibrio dinamico tra loro e gli scambi sono calcolati in funzione del tipo e del grado d'aggregazione del suolo. La forma, la dimensione ed il grado d'aggregazione rilevati e descritti nel profilo di campagna vengono utilizzati per calcolare il parametro che regola lo scambio di flussi e soluti tra i due domini di porosità. Ulteriori assunzioni del modello includono: (i) cinetica di 1° ordine per la degradazione dei pesticidi in ciascuno dei quattro pool presenti nel suolo (micropori e macropori, fasi solida/liquida; i tassi di degradazione sono determinati sulla base di valori di riferimento modificati per le condizioni di umidità e temperatura del suolo); (ii) equilibrio istantaneo tra la fase in soluzione e quella adsorbita, secondo l'isoterma di Freundlich; (iii) siti di adsorbimento ripartiti tra micropori e macropori.

PEARL

PEARL (*Pesticide Emission Assessment at Regional and Local Scales*) è un modello sviluppato in cooperazione da due centri di ricerca olandesi (RIVNM e Alterra Green World Research), basato su due modelli preesistenti PESTLA (*PESTicide Leaching and Accumulation*; versione 1: Boesten and Van der Linden, 1991; versione 3.4: Van den Berg and Boesten, 1999) e PESTRAS (*PESTicide TRansport Assessment*; Tiktak et al., 1994; Freijer et al., 1996), quest'ultimo essendo una versione modificata della prima versione di PESTLA. PEARL si basa su: (i) equazione di convezione-dispersione, inclusa la diffusione in fase gassosa con il coefficiente di Henry in funzione della temperatura; (ii) modello di adsorbimento di Freundlich a due siti (uno in equilibrio ed uno dinamico); (iii) tasso di trasformazione dipendente dal contenuto idrico, dalla temperatura e dalla profondità del suolo; (iv) prelievo passivo da parte della coltura. Il modello tratta anche la formazione ed i processi a carico dei metaboliti e descrive il trasporto laterale al sistema di drenaggio. Flussi preferenziali o in macropori non sono trattati. Il bilancio

idrico e termico del suolo non vengono simulati in quanto tali da PEARL, ma derivano da un altro modello, SWAP (*Soil WaterAtmosphere Plant*; versione 2.0: Van Dam et al., 1997). In SWAP i flussi idrici sono descritti ricorrendo all'equazione di Richards ed il modello è in grado di gestire un certo numero di condizioni al contorno in termini idrologici. L'evaporazione dal suolo e l'evapotraspirazione della coltura sono calcolate applicando opportuni coefficienti moltiplicativi, uno per il suolo e uno per la coltura, all'evapotraspirazione potenziale di riferimento. Il modello è in grado di simulare la presenza di falda alla base del profilo e le sue oscillazioni in risposta all'andamento pluviometrico

PELMO

PELMO (Klein, 1991) è un modello di simulazione monodimensionale del movimento dei pesticidi nel suolo, secondo l'approccio semplificato della colonna cromatografica; il bilancio idrico è simulato secondo un approccio di tipo capacitativo, basato sulla capacità di campo. PELMO è stato costruito sul modello PRZM 1 dell'EPA statunitense (Carsel et al., 1984), ma è stato notevolmente modificato e migliorato per soddisfare le richieste delle autorità di controllo tedesche. Nella versione 2.01 (1995) sono state inserite routine per il calcolo del *runoff* basato sul metodo dei numeri di curva e per la volatilizzazione dei principi attivi. PELMO 2.01 è stato validato nell'ambito di un progetto congiunto dell'Industrieverband Agrar (IVA), l'EPA tedesca e il Fraunhofer-Institut für Umweltchemie und Ökotoxikologie di Schmallenberg (Klein et al., 1997). Nel 1998 è stato aggiunto un altro modulo per trattare i prodotti di degradazione dei pesticidi e per includere l'ulteriore metabolizzazione fino al rilascio di CO₂ (PELMO 3.0; Jene, 1998). Recentemente è stata anche aggiunta la possibilità di simulare lisimetri e parcelle sperimentali (Fent et al., 1998). La versione implementata dal FOCUS è la 3.2, sviluppata nel 1999. Nell'ultima versione, il modello è in grado di gestire fino a otto prodotti di degradazione, oltre alla specie applicata.

PRZM

PRZM è un modello di simulazione monodimensionale per il movimento verticale dei pesticidi nel suolo secondo l'approccio semplificato della colonna cromatografica; il bilancio idrico è simulato secondo un approccio di tipo capacitativo. La prima versione ufficiale risale al 1984 (Carsel et al., 1984); una seconda versione aggiornata, PRZM2, è stata rilasciata come parte del modello RUSTIC (Dean et al., 1989a; 1989b) e successivamente come modello stand-alone. Nelle ultime versioni (PRZM 3.1 e 3.2), sono state introdotte routine per la degradazione dei pesticidi in funzione della temperatura e dell'umidità del suolo ed è stata inserita la possibilità di utilizzare l'isoterma di Freundlich per descrivere i processi d'adsorbimento; il modello tratta fino a due metaboliti

simultaneamente, oltre alla specie applicata. Anche nel caso di PRZM, analogamente a PELMO, la generazione di *runoff* è modellizzata ricorrendo ad i numeri di curva.

Bibliografia

- ARPAV - REGIONE DEL VENETO, 2004. *Carta dei Suoli del bacino scolante in laguna di Venezia*. Ponzano (TV), 399.
- ARSSA - REGIONE CALABRIA, 2002. *Carta della vulnerabilità da nitrati di origine agricola della Regione Calabria, in scala 1:250.000*. Monografia divulgativa Agenzia Regionale per lo Sviluppo e per i Servizi in Agricoltura.
- BATJES, N.H., BRIDGES, E.M., 1993. *Soil Vulnerability to Pollution in Europe*. Soil Use and Management, 9, 25-29.
- BOESTEN, J.J.T.I., VAN DER LINDEN, A.M.A., 1991. *Modelling the influence of sorption and transformation on pesticide leaching and persistence*. Journal of Environmental Quality 20, 425-435.
- BOORMAN, D.B., HOLLIS, J.M., LILLY, A., 1995. *Hydrology of soil types: a hydrologically-based classification of the soils of the United Kingdom*. Institute of Hydrology Report N.126, Institute of Hydrology, Wallingford.
- BRENNA, S., RASIO, R., 2000. *Valutazione della funzione protettiva dei suoli a supporto delle decisioni nella Regione Lombardia*. Bollettino della Società Italiana della Scienza del Suolo, 48 (1-2), 247-252.
- CALZOLARI, C., UNGARO, F., BUSONI, E., FILIPPI, N., GUERMANDI, M., TAROCCO, P., BRENNA, S., MICHELUTTI, G., PIAZZI, M., VINCI, I., 2000. *The SINA project in the Padano-Veneto basin*. Atti del Congresso Internazionale "Vulnerabilità e Sensibilità dei Suoli", Firenze 18-21 ottobre 1999, 287-307.
- CALZOLARI, C., UNGARO, F., GUERMANDI, M., LARUCCIA, N., 2001. *Suoli capisaldo della pianura padano-veneta: bilanci idrici e capacità protettiva*. Rapporto SINA 10.1, Aprile 2001.
- CALZOLARI, C., UNGARO, F., RAGAZZI, F., VINCI, I., CAPPELLIN, R., VENUTI, L., 2004. *Valutazione della capacità protettiva dei suoli nel bacino scolante in laguna di Venezia attraverso l'uso di modellistica*. Bollettino della Società Italiana di Scienza del Suolo, 53, 415-421.
- CARSEL, R.F., SMITH, C.N., MULKEY, L.A., J.D. DEAN, JOWISE, P., 1984. *User's manual for the pesticide root zone model (PRZM): Release 1*. EPA-600/3-84-109, U.S. EPA, Athens, GA.
- CIVITA, M., DE MAIO, M., 2001. *Valutazione e cartografia automatica della vulnerabilità degli acquiferi all'inquinamento con il sistema parametrico SINTACS R5*. Pitagora Ed., Bologna, 248.
- DEAN, J.D., HUYAKORN, P.S., DONIGIAN, A.S., VOOS, K.A., SCHANZ, R.W., MEEKS, Y.J., CARSEL, R.F., 1989a. *Risk of Unsaturated/Saturated Transport and Transformation of Chemical Concentrations (RUSTIC). Volume 1: Theory and Code Verification*. EPA/600/3-89/048a, U.S. EPA Environmental Research Laboratory, Athens, GA.
- DEAN, J.D., HUYAKORN, P.S., DONIGIAN, A.S., VOOS, K.A., SCHANZ, R.W., CARSEL, R.F., 1989b. *Risk of Unsaturated/Saturated Transport and Transformation of Chemical Concentrations (RUSTIC). Volume 2: User's Guide*. EPA/600/3-89/048b, U. S. EPA Environmental Research Laboratory, Athens, GA.

- ECKERSTEN, H., JANSSON, P.E., JOHNSON, H., 1996. *SOILN model (ver 9.1), User's Manual, 3rd edition*. Sveriges Lantbruksuniversitet, Uppsala, 92.
- ERSA, 2003. *Suoli e paesaggi del Friuli Venezia Giulia. 1. Pianura e colline del pordenonese*. Pozzuolo del Friuli, 512.
- ERSAF, 1997a. *Manuale per la compilazione delle schede delle unità cartografiche, ver. 3.1*. Aprile 1997
- ERSAF, 1997b. *Norme generali per il rilevamento e la compilazione della Carta Pedologica della Lombardia alla scala 1:50.000*. Progetto carta pedologica, ERSAL, Milano.
- FENT, G., JENE, B., KUBIAK, R., 1998. *Performance of the Pesticide Leaching Model PELMO 2.01 to predict the leaching of bromide and 14C-Benazolin in a sandy soil in comparison to results of a lysimeter- and field study*. Staatliche Lehr und Forschungsanstalt für Landwirtschaft, Weinbau und Gartenbau (SLFA) Neustadt, Poster Abstract 6B-030, IUPAC Congress Book of Abstracts, London.
- FIEROTTI, G., E COLLEGHI, 1988. *Carta dei suoli della Sicilia in scala 1:250.000*. Palermo.
- FOCUS, 1995. *Leaching Models and EU Registration*. European Commission Document 4952/VI/95.
- FOCUS, 1996. *Soil Persistence Models and EU Registration*. European Commission Document 7617/VI/96.
- FOCUS, 1997. *Surface Water Models and EU Registration of Plant Protection Products*. European Commission Document 6476/VI/96.
- FOCUS, 2000. *FOCUS groundwater scenarios in the EU review of active substances - The report of the work of the Groundwater Scenarios Workgroup of FOCUS (FORum for the Co-ordination of pesticide fate models and their USE), Version 1 of November 2000*. EC Document Reference Sanco/321/2000 rev.2, 202.
- FOCUS, 2001. *FOCUS Surface Water Scenarios in the EU Evaluation Process under 91/414/EEC*. Report of the FOCUS Working Group on Surface Water Scenarios, EC Document Reference SANCO/4802/2001-rev.2, 245.
- FREIJER, J.I., TIKTAK, A., HASSANIZADEH, S.M., VAN DER LINDEN, A.M.A, 1996. *PESTRAS v3.1.: a one dimensional model for assessing leaching, accumulation and volatilisation of pesticides in soil*. RIVM report 715501007, Bilthoven, the Netherlands.
- JARVIS, N., 1994. *The MACRO model (version 3.1). Technical Description and Sample Simulations*. Department of Soil Sciences, Swedish University of Agricultural Sciences, Reports and Dissertations, 19, Uppsala.
- JENE, B., 1998. *PELMO 3.00 Manual extension*. Staatliche Lehr- und Forschungsanstalt für Landwirtschaft, Weinbau und Gartenbau, D-67435 Neustadt/Wstr.
- KLEIN, M., 1991. *PELMO: Pesticide Leaching Model*. Fraunhofer-Institut für Umweltchemie und Ökotoxikologie, D57392 Schmallenberg.
- KLEIN, M., MÜLLER, M., DUST, M., GÖRLITZ, G., GOTTESBÜREN, B., HASSINK, J., KLOSKOWSKI, R., KUBIAK, R., RESSELER, H., SCHÄFER, H., STEIN, B., VEREECKEN, H., 1997. *Validation of the pesticide leaching model PELMO using lysimeter studies performed for registration*. Chemosphere 35 N.11, 2563-2587.
- LARSSON, M.H., 1999. *Quantifying Macropore Flow Effects on Nitrate and Pesticide Leaching in a Structured Clay Soil. Field experiments and modeling with the MACRO and Clay Soil*. Acta Universitatis Agriculturae Sueciae, Agraria 164, 34.
- LARSSON, M.H., JARVIS, N., 1999. *A dual porosity model to quantify macropore flow effect on nitrate leaching*. J. Environ. Qual., 28, 1298-1307.

- MICHELUTTI, G., BARBIERI, S., ZANOLLA, S., BRUGGIANESI, L., FRANTOI, M., 2001. *Il contributo della regione Friuli-Venezia Giulia al Progetto SINA "Carta pedologica in aree a rischio ambientale"*. Seminario conclusivo Progetto SINA, Bologna 10-11 aprile, 2001, http://www.regione.emilia-romagna.it/geologia/suoli/suol_docu_sina.htm.
- RAGAZZI, F., VINCI, I., GARLATO, A., GIANDON, P., MOZZI, P., 2004. *Carta dei suoli del bacino scolante in laguna di Venezia*. ARPAV - Osservatorio Regionale Suolo, Castelfranco Veneto (TV).
- REGIONE SICILIA, 2003. *Gazzetta ufficiale della Regione Siciliana*, 24/4/2003 - PARTE I N.19.
- SEVERI, P., BERRÈ, F., CARNEVALI, G., CENTINEO, M.C., DI DIO, G., FARINA, M., FRASSINETI, G., GIAPPONESI, A., GUERMANDI, M., LARUCCIA, N., SARNO, G., TRAGHETTI, T., 2002. *Nuova carta regionale della vulnerabilità: aspetti metodologici*. 4th European Congress on Regional Geoscientific Cartography and Information Systems, Bologna, Maggio 2003.
- TIKTAK, A., VAN DER LINDEN, A.M.A., SWARTJES, F.A., 1994. *PESTRAS: A one dimensional model for assessing leaching and accumulation of pesticides in soil*. RIVM report 715501003, Bilthoven, the Netherlands.
- UNGARO, F., CALZOLARI, C., 2001. *Using existing soil databases for estimating water-retention properties for soils of the Pianura Padano-Veneta region of North Italy*. Geoderma, 99, 99-112.
- UNGARO, F., CALZOLARI, C., BUSONI, E., 2005. *Development of pedotransfer functions using a group method of data handling for the soil of the Pianura Padano-Veneta region of North Italy. Water retention properties*. Geoderma, 124, 193-217.
- VAN DAM, J.C., HUYGEN, J., WESSELING, J.G., FEDDES, R.A., KABAT, P., VAN WALSUM, P.E.V., GROENENDIJK, P., VAN DIEPEN, C.A., 1997. *Theory of SWAP version 2.0. Simulation of water flow, solute transport and plant growth in the Soil-Water-Atmosphere-Plant environment*. Technical Document 45, DLO Winand Staring Centre, Wageningen, The Netherlands.
- VAN DEN BERG, F., BOESTEN, J.J.T.I., 1999. *Pesticide leaching and Accumulation model (PESTLA) version 3.4. Description and User's Guide*. Technical Document 43, DLO Winand Staring Centre, Wageningen, The Netherlands, 150.
- WOSTEN, J.H.M., PACHEPSKY, Y.A., RAWLS, W.J., 2001. *Pedotransfer functions: bridging the gap between available basic soil data and missing soil hydraulic characteristics*. Journal of Hydrology, 123-150.

Ministero delle Politiche Agricole, Alimentari e Forestali
Osservatorio Nazionale Pedologico e per la Qualità del Suolo Agricolo e Forestale

In collaborazione con:
International Union of Soil Sciences
Società Italiana della Scienza del Suolo
Commissione VI - Uso e Conservazione del Suolo

BALDACCINI, P., VACCA, A., 2006. *Attitudine dei suoli all'irrigazione*. In: Costantini, E.A.C. (Ed.), *Metodi di valutazione dei suoli e delle terre*, Cantagalli, Siena, pp. 922.

Collana dei metodi analitici per l'agricoltura diretta da Paolo Sequi, vol. 7

CRA - Consiglio per la Ricerca e la Sperimentazione in Agricoltura
Istituto Sperimentale per lo Studio e la Difesa del Suolo, Firenze

4. Attitudine dei suoli all'irrigazione

Paolo Baldaccini¹, Andrea Vacca²

4.1. Introduzione	2
4.2. Principi generali.....	3
4.3. I fattori funzionali.....	5
4.3.1. Fattori topografici	5
4.3.2. Fattori idrologici.....	6
4.3.3. Fattori fisici del suolo	7
4.3.4. Fattori chimici del suolo	11
4.4. Criteri generali per la determinazione delle classi d'attitudine dei suoli all'irrigazione	14
4.5. Esempi di applicazione in Italia	17
4.5.1. Applicazioni realizzate.....	17
4.5.2. Elaborazioni e studi di sintesi (a cura di Rosario Napoli).....	18
Bibliografia	24

4.1. Introduzione

La valutazione del territorio per l'irrigazione, pur mantenendo nelle sue linee generali i principi fondamentali della valutazione delle terre, se ne differenzia per alcune caratteristiche particolari. Nell'individuare l'idoneità all'irrigazione dovrebbero essere esaminati con particolare attenzione alcuni dati di base, come:

1. topografia (pendenza, microrilievo, ecc.);
2. suolo;
3. caratteri del substrato (ad esempio, strati impermeabili, lenti saline, ecc.);
4. quantità e qualità delle acque irrigue, livello di fluttuazione della falda;
5. condizioni generali di drenaggio;

¹ Già Università degli Studi di Sassari

² Università degli Studi di Cagliari

6. altri caratteri come infrastrutture, distanza dai mercati, condizioni socio-economiche, ecc., che, pur non essendo specifici, possono avere notevole importanza nello sviluppo e nella gestione dell'irrigazione.

Pertanto, è importante evidenziare come nella valutazione delle terre per l'irrigazione la fase fisica e quella socio-economica abbiano rapporti molto stretti. La fase fisica permette l'interpretazione dei dati ambientali, che favorisce una equilibrata comparazione dei vantaggi e degli svantaggi dell'intervento irriguo nei diversi tratti del territorio. La fase socio-economica analizza tutti quegli elementi, come ad esempio organizzazione commerciale, periodi di ammortamento dei capitali, tassi d'interesse, ecc., che talvolta possono essere più importanti delle differenze nella idoneità fisica del territorio ed influenzare così in maniera profonda l'intero processo di valutazione, ciò a causa dell'elevato impegno tecnico e finanziario richiesto da una trasformazione irrigua. L'ampiezza e la complessità di questi temi richiede ovviamente, ancor più che negli altri tipi di valutazione delle terre, l'attività di un gruppo multidisciplinare, in particolar modo se lo studio è di tipo quantitativo. È inoltre necessario tenere in considerazione la scala di riferimento e l'intensità dello studio. Anche se i principi fondamentali rimangono immutati, i criteri per stabilire l'idoneità all'irrigazione possono variare a seconda che si tratti di valutazione delle terre per l'identificazione di nuove aree, per progetti di fattibilità o per progetti di modifica di zone irrigue già esistenti.

Poiché molte caratteristiche del territorio possono variare più o meno intensamente nel tempo, la valutazione e la pianificazione debbono essere periodicamente o costantemente aggiornate. I procedimenti descritti non devono essere, perciò, considerati come schemi fissi, ma come base per possibili scelte alternative, al fine di permettere un'idonea valutazione delle risorse idriche e territoriali, indicando i criteri limite per le classi di idoneità che più si adattano alle situazioni locali.

In accordo con questo assunto, nei paragrafi seguenti verranno date indicazioni sulla valutazione dell'attitudine dei suoli all'irrigazione.

4.2. Principi generali

I principi generali enunciati in questo paragrafo sono in gran parte tratti da Sys et al. (1991). Il tipo di utilizzazione qui considerato concerne l'irrigazione di colture che vengono normalmente coltivate in asciutto negli ambienti con sufficienti precipitazioni e che, negli ambienti caratterizzati da deficit idrico stagionale, necessitano di apporti idrici. Non sono invece considerati tipi particolari d'irrigazione, quale, ad esempio, quella per il riso. Per queste tipologie si rimanda a trattati specifici (Booker Agriculture International Limited, 1979; Early et al., 1979; De Datta, 1981; Sys et al., 1991, 1993).

I principali sistemi di valutazione dell'attitudine dei suoli all'irrigazione (USBR, 1951; FAO, 1985) prendono in considerazione criteri territoriali e pedologici direttamente correlati all'uso specifico, con particolare attenzione ai rapporti intercorrenti tra il suolo e l'acqua. Tale valutazione deve ovviamente essere associata ad una valutazione specifica per il tipo di coltura considerata. La relazione tra le classi di suscettività d'uso per l'irrigazione della FAO e quelle dell'USBR è presentata in tabella 4.1.

Tabella 4.1. Relazione tra le classi FAO e le classi USBR (FAO, 1979, modificata).

FAO	Definizione della classe	USBR
S1	Molto adatta	Classe 1
S2	Moderatamente adatta	Classe 2
S3	Marginalmente adatta	Classe 3
Sc	Usi speciali	Classe 4
N1	Attualmente non adatta ma potenzialmente adatta	Classe 5
N2	Attualmente e potenzialmente non adatta	Classe 6

Quantunque una valutazione di tipo quantitativo sia preferibile, può risultare utile suggerire dei criteri per una valutazione qualitativa dell'ambiente fisico. In particolare, tali criteri potrebbero essere utilizzati in una fase pre-progettuale, di riconoscimento o anche di dettaglio, quale ulteriore aiuto alla individuazione dei territori più idonei all'irrigazione per i quali effettuare la successiva valutazione economica durante lo studio di fattibilità.

La valutazione dell'ambiente fisico può essere fatta in termini di caratteristiche e qualità territoriali. La figura 4.1 presenta tali caratteristiche e qualità, mettendone in evidenza le relazioni.

Sarà bene ricordare che i rilevamenti del suolo a scopo irriguo sono tra i più complessi studi pedologici di tipo specifico. L'elevato costo del progetto tecnico, le implicazioni sociali e le variazioni apportate nell'idrologia e nell'agricoltura dell'area interessata giustificano una dettagliata ed accurata stima dell'idoneità del suolo alla trasformazione. Tre caratteri principali distinguono i rilevamenti pedologici per l'irrigazione da quelli generici. Per prima cosa maggiore attenzione va posta nell'esame delle caratteristiche del rilievo, a causa della sua influenza sul regime idrologico e sulle conseguenti implicazioni economiche dell'intervento. In secondo luogo, lo studio del suolo dovrà evidenziare soprattutto le proprietà fisiche, come la capacità di assorbimento e di ritenzione per l'acqua e la possibilità di eliminare, in tempi relativamente brevi, quella in eccesso. Infine, l'indagine pedologica dovrà tener presente che la valutazione delle terre si basa anche su indicazioni economiche relative soprattutto alla capacità di aumento della produzione agricola sotto irrigazione e della collaterale possibilità di remunerazione dei capitali investiti. Questi caratteri sono influenzati dal tipo di sistema irriguo prescelto e dalle condizioni di aridità dell'ambiente. I sistemi per scorrimento o sommersione, ad esempio, sono più strettamente legati agli aspetti topografici rispetto ai

sistemi per asperzione o localizzati. Nelle zone aride, la conoscenza delle condizioni di salinità e di sodicità ed i relativi mezzi per controllarle sono uno degli scopi principali del rilevamento del suolo. Conoscenze dettagliate delle caratteristiche del suolo sono poi fondamentali in fase di progettazione (disegno e dimensionamento della rete di distribuzione, schema di drenaggio, misure per la conservazione del suolo, scelta delle colture, ecc.). È richiesta, infine, una più alta intensità nel rilevamento, un esame del suolo a maggior profondità (3 m e talvolta più) ed una serie di test speciali sui rapporti acqua-suolo, sia in campagna che in laboratorio (capacità di ritenzione idrica, movimenti dell'acqua nel suolo, ecc.).

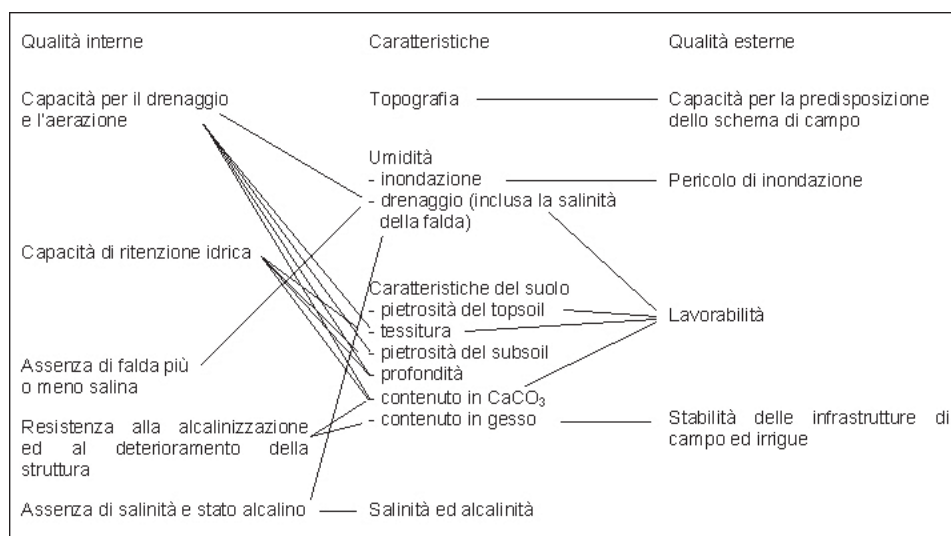


Figura 4.1. Relazioni tra caratteristiche e qualità del territorio nella valutazione per l'irrigazione (Sys et al., 1991, modificata).

4.3. I fattori funzionali

4.3.1. Fattori topografici

Pendenza

La pendenza, cioè l'inclinazione della superficie del suolo rispetto all'orizzontale, influenza la stima iniziale delle possibilità di trasformazione irrigua. Infatti, all'aumentare della pendenza corrisponde un maggior costo dell'intervento e delle operazioni colturali associate a quelle per la difesa del suolo. La pendenza è importante anche per la determinazione del sistema d'irrigazione migliore per un dato sito e per la scelta delle colture. Inoltre, la

pendenza influenza il rischio d'erosione legato all'eventuale scorrimento potenziale determinato da alcuni sistemi irrigui.

Microrilievo

Per microrilievo si intendono irregolarità e ondulazioni topografiche minori riscontrabili su superfici anche limitate e con differenze di quota tra le parti topograficamente più alte e quelle più basse che indicativamente possono variare da pochi centimetri a qualche metro. Nella valutazione dell'idoneità all'irrigazione la stima del microrilievo è importante in relazione all'eventuale necessità di operare dei livellamenti, influenzando pertanto gli aspetti economici della valutazione e le modificazioni di alcuni caratteri del suolo.

Pericolo di erosione

L'erodibilità del suolo dovrebbe essere considerata nella fase di pianificazione di ogni sistema d'irrigazione. La distribuzione irrigua deve infatti avvenire senza causare un deflusso superficiale eccessivo che potrebbe eventualmente innescare un processo erosivo. Ovviamente, questo carattere è legato alla pendenza, al tipo di suolo e al tipo d'irrigazione prescelto.

4.3.2. Fattori idrologici

Drenaggio esterno

Il drenaggio esterno è una caratteristica del suolo e si riferisce alla sua posizione relativa nel paesaggio. Esso è correlato al movimento dell'acqua in superficie, che può allontanarsi o ristagnare a seconda della situazione geomorfologica. Il controllo delle acque superficiali e profonde è fondamentale nella valutazione dell'irrigabilità ed eventuali interventi richiesti dovrebbero essere economicamente compatibili. Fenomeni di risalita della falda e di salinizzazione possono non essere individuabili per vari anni dopo l'inizio dell'irrigazione. È pertanto essenziale, in partenza, conoscere le necessità di schemi di drenaggio superficiale e, in molti casi, anche di drenaggio in profondità. Andrà inoltre valutata la necessità di drenaggio in relazione alle eventuali difficoltà causate dalla variabilità degli strati profondi e le relative conseguenze economiche degli interventi previsti o richiesti. Occorrerà perciò stimare con attenzione la drenabilità dei suoli e del territorio, le oscillazioni della falda e la variabilità delle unità geomorfologiche oltre ad individuare le aree con marcate differenze in tessitura, densità apparente, struttura, salinità, ecc.

Profondità della falda

La produttività delle colture è limitata da un insufficiente sviluppo dell'apparato radicale legato alla presenza di una falda superficiale, soprattutto se salata. Il livello di falda può risalire assai rapidamente in regime irriguo se il drenaggio naturale è lento. Nel valutare questo carattere ai fini dell'irrigabilità occorrerà tener presente la fluttuazione del livello durante i periodi piovosi, lo schema della rete di drenaggio naturale, la velocità d'infiltrazione ed il futuro disegno di progettazione irrigua. Il livello massimo al quale la falda dovrebbe risalire in regime irriguo è un fattore importante nella stima e nella valutazione, a causa del costo collegato con eventuali interventi di drenaggio. La profondità ottimale della falda è legata a vari fattori, quali la capillarità del suolo, le condizioni di evapotraspirazione, la profondità richiesta per gli apparati radicali, l'aerazione del suolo, l'intensità e frequenza delle precipitazioni, la qualità dell'acqua irrigua e la resistenza delle colture alla salinità ed alla idromorfia.

Pericolo di inondazione

Poiché molte aree irrigue si trovano in pianure alluvionali, le aree soggette a pericolo di inondazione dovrebbero essere valutate in relazione ai possibili danni ed alle relative misure di protezione necessarie per arginare il fenomeno, che andranno ad influenzare gli aspetti economici della valutazione. Importanti informazioni da raccogliere in queste aree sono: localizzazione ed estensione delle inondazioni, loro frequenza, durata ed eventuale stagionalità, tipologie di danno, evidenze locali dell'influenza del pericolo d'inondazione sulle pratiche irrigue e sulla scelta e produttività dei raccolti.

4.3.3. Fattori fisici del suolo

Affioramenti rocciosi

Gli affioramenti rocciosi riducono la superficie utile all'irrigazione e costituiscono, pertanto, una importante limitazione d'uso. La loro eventuale rimozione, proponibile in alcuni casi, inciderà negativamente sugli aspetti economici della valutazione.

Pietrosità superficiale

La pietrosità superficiale influenza la lavorabilità del suolo e, di conseguenza, viene anch'essa considerata nella valutazione. I costi di un'eventuale rimozione della pietrosità eccessiva incideranno negativamente sugli aspetti economici della valutazione.

Profondità del suolo

La profondità del suolo è lo spessore di suolo al di sopra della roccia compatta, limitante l'esplorazione radicale o la percolazione dell'acqua. A parità di altre condizioni, ad una maggiore profondità del suolo corrisponde una maggiore quantità d'acqua nel suolo disponibile per le piante. Pertanto, la profondità del suolo influenza l'intervallo di tempo, compreso tra irrigazioni successive o precipitazioni efficaci, in cui la pianta non soffre di stress idrico.

Presenza di orizzonti limitanti e loro profondità

Nel suolo possono essere presenti orizzonti limitanti l'esplorazione radicale o la percolazione dell'acqua, quali orizzonti cementati o strati a tessitura argillosa. Possono anche essere presenti orizzonti che limitano la capacità di ritenzione idrica del suolo, quali orizzonti costituiti prevalentemente da ghiaie o ciottoli. Per le stesse considerazioni fatte nel caso della profondità del suolo, la presenza di questi orizzonti e la loro profondità nel profilo influenzano la scelta d'uso. Va comunque messo in evidenza come in taluni casi la presenza di orizzonti limitanti nel *subsoil* possa determinare l'aumento della capacità di acqua utile del *topsoil* dopo un'irrigazione o una pioggia. Infatti, in questi casi l'acqua, trattenuta dall'orizzonte limitante, potrebbe potenzialmente essere utilizzata, anche solo parzialmente, dalle piante.

Tessitura del topsoil (strato arato)

La tessitura del *topsoil* è la proporzione in peso (g kg^{-1}) delle particelle singole del suolo $< 2 \text{ mm}$ in base al loro diametro (sabbia, limo e argilla). La tessitura viene valutata rispetto alla sua influenza sulla capacità di ritenzione idrica, sulla velocità d'infiltrazione e sulla conducibilità idraulica. I suoli a tessitura fine contengono e trattengono generalmente più acqua dei suoli a tessitura grossolana. I suoli a tessitura media hanno più acqua disponibile per le piante rispetto ad alcuni suoli argillosi.

Criteri diagnostici tessiturali soddisfacenti per separare le classi di suscettibilità all'irrigazione sono difficili da stabilire. Infatti, data la grande variabilità nelle classi tessiturali, solo un approccio empirico, ed un confronto con tutti gli altri caratteri del suolo, può portare a delle valide indicazioni.

Tessitura del subsoil (strato sottostante quello arato)

Per la tessitura del *subsoil* vale quanto detto al punto precedente.

Pietrosità del topsoil (strato arato)

La pietrosità del *topsoil* influenza la disponibilità idrica del suolo e la sua lavorabilità. Infatti, i suoli eccessivamente ricchi in scheletro possono presentare contenuti di acqua disponibile molto bassi ed essere difficilmente

lavorabili. Nella stima della pietrosità del *topsoil* dovrà comunque essere considerato non solo il volume occupato dalle pietre, ma anche la loro natura litologica, la loro dimensione ed il loro grado di alterazione o freschezza, data la loro influenza sull'usura dei mezzi meccanici. Nei suoli a tessitura grossolana, ad un maggiore contenuto in pietre corrisponde una maggiore macroporosità e quindi una minore capacità del suolo stesso ad attivare tensioni sufficienti per poter trattenere e immagazzinare l'acqua che, in queste condizioni, andrà prevalentemente persa per percolazione. Nei suoli a tessitura fine, il volume occupato dalle pietre non parteciperà ad attivare le forze di coesione necessarie per trattenere l'acqua, determinando quindi anche in questo caso una minore disponibilità idrica nel suolo. Questi processi sono comunque influenzati dalla natura e dal grado di alterazione delle pietre. Infatti, alcuni tipi litologici sono più "porosi" di altri (marne, tufi, ecc.) e la stessa alterazione può contribuire, a parità di natura litologica, a differenziare la capacità delle pietre a partecipare ai processi idrologici che avvengono nel suolo.

Pietrosità del subsoil (strato sottostante quello arato)

Per la pietrosità del *subsoil* vale, in generale, quanto detto al punto precedente. Inoltre, la pietrosità del *subsoil* influenza fortemente la permeabilità del suolo. Un eccessivo contenuto in pietre nella porzione di *subsoil* esplorata dagli apparati radicali può determinare un veloce allontanamento dell'acqua e quindi una riduzione dell'acqua disponibile per le piante.

Struttura

La struttura è riferita alla natura ed al grado di aggregazione delle particelle elementari del suolo che si riuniscono in unità naturali di varia forma e dimensione. Il tipo di struttura influenza la porosità e conseguentemente i movimenti dell'aria e dell'acqua, lo sviluppo radicale e le riserve di nutrienti. I suoli privi di struttura possono essere sciolti, come le sabbie a granuli singoli ove l'acqua percola rapidamente, oppure massivi, come avviene in molti terreni ricchi in argilla nei quali invece l'acqua si muove con estrema lentezza. Rapporti ottimali tra acqua e suolo si hanno, invece, quando la struttura è di tipo poliedrico subangolare o granulare. Alcuni aggregati sono assai stabili con l'inumidimento, altri si disperdono facilmente con l'acqua. Quindi, la stabilità degli aggregati è di fondamentale importanza in regime irriguo, soprattutto se si prevedono sistemi d'irrigazione tipo sommersione o aspersione. Molte pratiche colturali migliorano sia il grado che la stabilità della struttura (lavorazioni, calcitazioni, uso di foraggiere in rotazione, aggiunta di sostanza organica, ecc.). Viceversa, altri interventi come lavorazioni con mezzi pesanti, lavorazioni ripetute, irrigazioni per aspersione con eccessiva intensità e uso di acque saline possono provocare gravi danni alla struttura. Inoltre, anche le variazioni di struttura lungo il profilo devono essere adeguatamente valutate

nell'idoneità all'irrigazione. La presenza, ad esempio, di un orizzonte compatto, o con aggregazione poco stabile, a 60 cm di profondità non crea problemi in condizioni asciutte, ma può impedire o rallentare la percolazione dell'acqua sotto irrigazione.

Consistenza

Descrive le condizioni fisiche di un suolo in funzione del contenuto di umidità e si riferisce alla sua resistenza alla disgregazione e deformazione meccanica. Essa dipende largamente dalla tessitura, dal contenuto in umidità e dalla quantità di sostanza organica. La consistenza è importante nella valutazione dei suoli irrigabili in relazione alle utilizzazioni pratiche, come lavorazioni, compattazione ad opera delle macchine agricole, sistemi d'irrigazione, ecc.

Velocità di infiltrazione

Per velocità di infiltrazione si intende la velocità con cui l'acqua penetra nel suolo attraverso la superficie che lo separa dallo spazio esterno. Tale misura è fondamentale nella scelta dei sistemi irrigui e nella scelta dei turni d'irrigazione. Ad esempio, suoli con una elevata velocità di infiltrazione possono essere inadatti per l'irrigazione a sommersione o a scorrimento, mentre sarebbe in questi casi preferibile l'irrigazione per aspersione o localizzata.

Permeabilità (conducibilità idraulica)

La conducibilità idraulica di un suolo è una misura della sua capacità di trasmettere l'acqua. Tale capacità dipende dalla geometria dei pori (tessitura e struttura), oltre che dalle proprietà del fluido (viscosità e densità). La conducibilità idraulica media del suolo viene utilizzata per determinare il drenaggio del suolo stesso e per valutare la possibilità che al suo interno si formino zone sature, in corrispondenza delle quali potrebbe verificarsi una sofferenza radicale. Non esistono valori minimi di conducibilità idraulica accettabili universalmente. Tali valori dipendono dalla profondità alla quale è situato lo strato poco permeabile e dalla coltura in atto. In ogni caso, la conducibilità idraulica minima dovrebbe garantire che non si verifichi una prolungata saturazione idrica nel volume di suolo occupato dagli apparati radicali. Inoltre, a causa dei molti fattori che influenzano la conducibilità idraulica, non sempre risulta facile ottenere dei valori veramente rappresentativi di tale misura, da poter essere utilizzati con attendibilità nella valutazione dei suoli per l'irrigazione, particolarmente quando le misure devono essere fatte in suoli asciutti, completamente saturi o ricchi in scheletro grossolano. In questo senso, sarebbe desiderabile che la descrizione di campo ponesse particolare enfasi sui caratteri morfologici che influenzano o riflettono la conducibilità idraulica (tessitura, struttura e stabilità strutturale, consistenza, contenuto in scheletro, colore e screziature, presenza o assenza di carbonati insolubili,

porosità, profondità di strati impermeabili). Una buona descrizione di campo costituisce, infatti, un'attendibile base decisionale sul grado di rappresentatività delle misure di conducibilità idraulica.

Acqua disponibile (available water capacity, AWC)

Acqua disponibile è il termine tradizionalmente utilizzato per indicare la quantità d'acqua trattenuta nel suolo e disponibile per la maggior parte delle piante. Convenzionalmente, si definisce acqua disponibile di un suolo la differenza tra la sua capacità idrica di campo e l'umidità al potenziale di matrice di -1,5 MPa (punto d'appassimento). Viene solitamente espressa in g kg^{-1} del suolo secco. Essa dipende dallo spessore di suolo interessato dagli apparati radicali e da diverse caratteristiche del suolo (tessitura, struttura, densità apparente, salinità, sodicità, mineralogia, chimica del suolo, contenuto in sostanza organica). Tra queste, nei suoli minerali, la più importante è la tessitura. L'acqua disponibile è uno dei principali fattori del suolo nella gestione irrigua, in particolare per la scelta dei turni d'irrigazione e per la determinazione dei volumi di adacquamento. Infatti, solo una parziale riduzione dell'acqua disponibile dovrebbe essere consentita. Il livello di tale riduzione rientra nelle decisioni gestionali basate sul tipo di coltura, sulla fase di sviluppo della coltura, sulla quantità d'acqua disponibile nel suolo, sulla distribuzione delle piogge e sulla disponibilità di acqua irrigua.

4.3.4. Fattori chimici del suolo

Reazione del suolo (pH)

Il grado di acidità o di alcalinità di un suolo è generalmente espresso come valore di pH. La reazione è importante nei riflessi della produzione vegetale, a causa della sua influenza sulla solubilità e assorbibilità dei nutrienti. Ai fini dell'idoneità all'irrigazione, le misure di pH mettono in evidenza lo stato di acidità, alcalinità o sodicità del suolo. In molti casi possono essere correlate con la necessità di utilizzare correttivi specifici (calcare per i suoli acidi, gesso per quelli sodici) o richiedere particolari interventi sul territorio ed influenzare così gli aspetti economici della valutazione.

Sostanza organica

Il contenuto in sostanza organica di per sé non è quasi mai una indicazione utile per stabilire l'idoneità dei suoli all'irrigazione, ma la sua conoscenza permette importanti correlazioni con altri fattori fisici e chimici (aggregazione, permeabilità, AWC, CSC, ecc.). Generalmente, l'introduzione dell'irrigazione favorisce una più equilibrata distribuzione della sostanza organica all'interno del profilo. I suoli con elevato contenuto in sostanza organica (suoli torbosi,

Histosols) presentano notevoli problemi nella trasformazione irrigua a causa della loro instabilità e richiedono particolari tecniche di gestione (ad esempio, subirrigazione).

Complesso di scambio

Le proprietà di scambio cationico del suolo importanti per valutare l'idoneità all'irrigazione sono tre.

Capacità di scambio cationico (CSC)

Nel valutare l'irrigabilità dei suoli, la CSC è correlata alla produttività potenziale, in termini di capacità del suolo di trattenere e cedere i nutrienti, e fornisce un indizio sulla quantità e natura della sostanza organica e dei minerali argillosi presenti, oltre che influenzare alcune caratteristiche fisiche e strutturali. In linea di massima, valori di CSC superiori a 8-10 cmol kg⁻¹ nei primi 30 cm di suolo possono essere considerati sufficienti per ottenere soddisfacenti produzioni in regime irriguo se tutti gli altri fattori sono favorevoli. Valori più bassi in suoli molto alterati possono essere accettati in determinate situazioni (ad esempio, risaie).

Natura dei cationi di scambio

I suoli a buona o alta produttività hanno generalmente il complesso di scambio dominato da calcio e magnesio e contengono solo minori quantitativi di potassio e sodio. Nei suoli molto acidi è presente invece un'alta proporzione di idrogeno e di alluminio di scambio rispetto alle basi. I suoli ad elevata produttività presentano generalmente una saturazione in basi almeno del 50%. In suoli insaturi (o molto acidi) può essere richiesto un apporto di calcio per correggere la deficienza ed il costo di tale intervento può essere un fattore importante nella valutazione dell'idoneità all'irrigazione. Il bilancio dei cationi può, inoltre, influenzare il tipo di aggregazione e conseguentemente la capacità di infiltrazione, la permeabilità, la lavorabilità e la suscettività all'irrigazione. Un eccesso di Na o di Na e Mg di scambio influenzano pesantemente la stima e la valutazione dei suoli irrigabili.

Rapporto di assorbimento del sodio (SAR)

Rappresenta il grado di saturazione in sodio del complesso di scambio, risultante dal confronto tra le concentrazioni di Na⁺, Ca²⁺ e Mg²⁺ nella soluzione del suolo, secondo la formula:

$$SAR = [Na^+]/(0.5[Ca^{2+}] + 0.5[Mg^{2+}])^{1/2} \quad (1)$$

Tale parametro è un buon indicatore della stabilità di struttura e permette una valutazione delle variazioni dei caratteri fisici che avverranno con le applicazioni di acqua irrigua. In generale, le proprietà fisiche divengono via via

più sfavorevoli con l'aumentare del livello del sodio di scambio e questo è assai più evidente nei suoli ricchi di minerali argillosi espandibili. Dovrà inoltre essere tenuto presente e controllato il valore del SAR che si ritroverà nel suolo dopo e durante l'intervento irriguo, soprattutto in relazione alle condizioni di drenaggio ed alla qualità dell'acqua irrigua.

Mineralogia della frazione argillosa

Il tipo di minerale argilloso presente influenza molti caratteri chimici e fisici del suolo, anche se la determinazione della natura dell'argilla come tale non è un criterio fondamentale per stabilire l'idoneità dei suoli all'irrigazione, sia perché nei suoli si riscontra generalmente una mescolanza di tipi di argilla sia perché la sua influenza è legata ad altre caratteristiche. Per tale ragione, la conoscenza dell'esatta proporzione di minerali argillosi presenti è meno importante di considerazioni generali sui tipi di argilla. Saranno sufficienti indicazioni sulla predominanza o meno di minerali a reticolo 1:1 o 2:1, rilevabili sia dalle osservazioni di campo che dal confronto tra il contenuto totale d'argilla e la CSC. Tuttavia, per eventuali interventi di miglioramento delle caratteristiche fisico-chimiche del suolo, la conoscenza dei minerali argillosi ha un'importanza non trascurabile.

Carbonato di calcio

Il carbonato di calcio si riscontra in molti suoli che si originano, normalmente, da substrati calcarei e può formare orizzonti d'accumulo nelle zone aride e semiaride. Tali accumuli si presentano sia diffusi in tutto il profilo, sotto forma di concrezioni soffici o polverulente, sia concentrati in orizzonti di consistenza assai varia (Bk, Bkm, Ck, Ckm), riscontrabili a diversa profondità dalla superficie del suolo. La quantità di carbonati presenti, la loro distribuzione nel profilo, la profondità e spessore degli orizzonti di accumulo, sono importanti fattori di giudizio nella valutazione dei suoli per l'irrigazione. Infatti, le curve della capacità di ritenzione idrica di suoli molto ricchi in carbonati sono del tutto simili a quelle dei suoli sabbiosi. Questo comportamento appare essere maggiormente collegato alla formazione di differenti unità strutturali piuttosto che ad una minore capacità di ritenzione idrica superficiale. Va inoltre tenuto presente che quantità notevoli di carbonati riducono la capacità di trattenuta per l'acqua (specialmente alle alte tensioni) e ciò richiede una più onerosa gestione dell'irrigazione. Talvolta, l'incrostamento superficiale può essere un serio problema nell'irrigazione dei suoli calcarei, specialmente se poveri in sostanza organica. Le croste non solo influenzano l'infiltrazione dell'acqua e l'aerazione del suolo, ma possono creare ostacoli all'emergenza delle semine. Le caratteristiche fisiche dei suoli calcarei spesso variano quando sono irrigati, con aumento della consistenza e decremento della struttura, con relativi problemi legati alla lavorabilità ed erodibilità dei suoli. Infine, la conoscenza

della profondità e della durezza degli orizzonti con accumulo di carbonati è di grande importanza nella valutazione dell'idoneità all'irrigazione in relazione alle implicazioni di ordine tecnico ed economico che la loro presenza comporta.

Contenuto in gesso

Molti suoli delle zone aride e semiaride presentano un contenuto più o meno elevato in gesso e per questo carattere si possono fare considerazioni simili a quelle fatte per il carbonato di calcio.

Salinità

La presenza di sali solubili in eccesso, valutata attraverso la conducibilità elettrica (EC), è una delle qualità del suolo negative, che si può riscontrare talvolta nelle zone aride o semiaride. Data la loro solubilità, possono essere eliminati dal suolo con interventi irrigui se le condizioni di drenaggio lo permettono. Un eccesso di sali solubili è spesso associato ad un elevato contenuto in Na di scambio e questa situazione complica notevolmente le operazioni di dissalazione, influenzando sui fattori economici della valutazione. Il livello di salinità e sodicità non sono caratteri stabili del suolo, ma possono variare dal regime asciutto a quello irriguo. Pertanto, nella valutazione occorrerà tener presente le condizioni di drenaggio del suolo e del sottosuolo, la possibile risalita della falda (salata) sotto irrigazione, la qualità delle acque irrigue, la velocità di infiltrazione del suolo, le eventuali opere di livellamento o di sistemazione, la necessità di ammendamenti, la scelta della colture (costo della bonifica).

4.4. Criteri generali per la determinazione delle classi d'attitudine dei suoli all'irrigazione

Nella tabella 4.2 sono riportati i criteri generali per la determinazione delle classi d'attitudine dei suoli all'irrigazione. Tale tabella ha un carattere puramente indicativo. Infatti, i valori riportati per le proprietà utilizzate possono variare sensibilmente a seconda del clima, delle condizioni geomorfologiche e pedologiche locali, del tipo e grado d'intensità dell'agricoltura, delle condizioni socio-economiche, del livello di progettazione, ecc. Così, ad esempio, i valori relativi alla pendenza possono essere anche più elevati per le prime classi se si prevedono sistemi irrigui localizzati oppure se l'erosione del suolo è modesta e se esistono o sono previste opere per la difesa e la conservazione del suolo. Un altro esempio può essere lo spessore del suolo.

Tabella 4.2. Criteri generali per la determinazione delle classi d'attitudine dei suoli all'irrigazione. *Tale tabella ha un carattere puramente indicativo. (#) c = ciottoli, g = ghiaia.*

	S1	S2	S3	N1	N2
Topografia					
pendenza (%)	< 4	4-10	10-20	20-30	> 30
microrilievo	assente o lieve	debole	moderato	forte	molto forte
pericolo di erosione	assente	debole	moderato	elevato	molto elevato
Idrologia					
drenaggio esterno	buono	moderato	lento o rapido	molto lento o molto rapido	impedito o eccessivamente rapido
profondità falda (dolce)	> 2 m	2-1,20 m	1,20-0,75 m	0,75-0,50 m	< 0,50 m
profondità falda (salata)	> 3 m	3-2 m	2-1,20 m	1,20-1 m	< 1 m
pericolo d'inondazione	assente	molto raro	raro	occasionale	frequente e molto frequente
Suolo					
affioramenti rocciosi (%)	0	< 2	2-10	10-25	> 25
pietrosità superficiale (%)	< 0,1	0,1-3	3-15	15-50	> 50
profondità (m)	> 1	1-0,75	0,75-0,50	0,5-0,25	< 0,25
profondità orizzonti limitanti (m)	> 1	1-0,75	0,75-0,50	0,50-0,25	< 0,25
tessitura topsoil	da FS a FA	da FL a A perm.	da SF a A mod. perm.	da S a A poco perm.	da S a A imperm.
tessitura subsoil	da FS a FA	da SF a A perm.	da SF a A poco perm.	da S a A debolmente perm.	da S a A imperm.
pietrosità topsoil (%) [#]	< 3c; < 5g	3-5c; 5-10g	5-10c; 10-20g	10-35c; 20-40g	> 35c; > 40g
pietrosità subsoil (%)	< 15	15-35	35-55	35-55	> 55
struttura	granulare e poliedrica subangolare fine e media	poliedrica subangolare grossolana e poliedrica angolare fine e media	poliedrica angolare grossolana e prismatica fine, media e grossolana	poliedrica angolare e prismatica molto grossolana	massiva e granuli singoli
infiltrazione (cm h ⁻¹)	0,8-3,5	0,2-0,8 / 3,5-11	0,1-0,2 / 11,0-12,5	0,1-0,2 / 11,0-12,5	< 0,1 / > 12,5
permeabilità	moderata	moderatamente lenta o moderatamente rapida	lenta o rapida	molto lenta o molto rapida	impermeabile o molto rapida

	S1	S2	S3	N1	N2
AWC (g kg ⁻¹)	> 150	115-150	75-115	< 75	< 50
carbonato di calcio (%)	< 15	15-25	25-40	40-75	> 75
gesso (%)	< 5	5-15	15-30	15-30	> 30
salinità (mmhos cm ⁻¹)	< 4	4-8	8-16	16-30	> 30
sodicità SAR	< 4	4-13	13-22	22-38	> 38

Tabella 4.3. Criteri e limiti proposti per diversi sistemi d'irrigazione in California (Southard, 2001, modificata).

Proprietà restrittive	Limiti				Caratteristiche
	Irrigazione per aspersione	Irrigazione localizzata	Irrigazione a solchi	Irrigazione per sommersione	
Tessitura topsoil	Sg, S, SgF, SF	non utilizzata	Sg, S, Sf, Smf, SgF, SF	Sg, S, Sf, Smf, SgF, SF, FSg, FSf, FS, F non utilizzata	Infiltrazione rapida
	≥ 60% d'argilla		≥ 40% d'argilla		Infiltrazione lenta
Pendenza	6-15% (0-1) > 15% (1)	non utilizzata	> 2%	> 2%	Pendenza
Pietrosità (> 75 mm)	> 25%	non utilizzata	> 10%	non utilizzata	Pietre grandi
Ristagno idrico	presente	presente	presente	non utilizzata	Ristagno idrico
Profondità della falda (durante stagione di crescita)	60-90 cm (0-1) < 60 cm (1)	< 60 cm	60-90 cm (0-1) < 60 cm (1)	non utilizzata	Umidità
AWC (100 cm di profondità)	10-15 cm (0-1) < 10 cm (1)	non utilizzata	10-15 cm (0-1) < 10 cm (1)	10-15 cm (0-1) < 10 cm (1)	Aridità
Permeabilità	< 0,5 cm h ⁻¹	< 0,5 cm h ⁻¹	< 0,5 cm h ⁻¹ > 15 cm h ⁻¹	non utilizzata > 3 cm h ⁻¹	Permeabilità lenta Permeabilità veloce
Profondità della roccia	75-125 cm (0-1) < 75 cm (1)	< 50 cm	75-125 cm (0-1) < 75 cm (1)	75-125 cm (0-1) < 75 cm (1)	Profondità della roccia
Profondità di un orizzonte cementato	< 100 cm	50-100 cm (0-1) < 50 cm (1)	< 100 cm	< 100 cm	Orizzonte cementato
Fattore K (USLE)	> 0,32	non utilizzata	non utilizzata	non utilizzata	Erosione facile
Inondazione (durante stagione di crescita)	frequente o molto frequente	frequente o molto frequente	frequente o molto frequente	frequente o molto frequente	Inondazione
EC(mmhos cm ⁻¹) (100 cm di profondità)	4-8 (0-1) > 8 (1)	4-8 (0-1) > 8 (1)	4-8 (0-1) > 8 (1)	4-8 (0-1) > 8 (1)	Eccesso in sali
SAR	0,5-10 (0-1) > 10 (1)	0,5-10 (0-1) > 10 (1)	0,5-10 (0-1) > 10 (1)	0,5-10 (0-1) > 10 (1)	Eccesso in sodio
Materiale sulfidico*	Grandi Gruppi tassonomici "sulfa"	Grandi Gruppi tassonomici "sulfa"	Grandi Gruppi tassonomici "sulfa"	Grandi Gruppi tassonomici "sulfa"	Eccesso in zolfo

(*) *Sensu Soil Survey Staff (1999). (0 – 1) = limitazione moderata. (1) = limitazione severa. In presenza di un unico valore della proprietà restrittiva, la limitazione è da considerarsi severa.*

Una maggior profondità sarà sempre preferibile, ma possono verificarsi situazioni ove anche spessori limitati, ma associati ad altre caratteristiche assai positive (morfologia quasi livellata, buon drenaggio, elevata fertilità, favorevoli rapporti acqua-aria-suolo, condizioni climatiche molto favorevoli, vicinanza dei mercati), possono far inserire i suoli nelle prime classi di idoneità (ad esempio, aree del Salento e delle Murge baresi).

Con riferimento a quanto detto circa la variabilità dei criteri e dei limiti per la determinazione dell'attitudine dei suoli all'irrigazione con diversi sistemi irrigui, si riporta, a titolo di esempio, quanto proposto da Southard (2001) per la California (tabella 4.3).

4.5. Esempi di applicazione in Italia

4.5.1. Applicazioni realizzate

Le esperienze italiane di applicazione della valutazione dell'idoneità dei suoli all'irrigazione, di cui si abbia conoscenza e che siano state pubblicate, sono basate sui principi fondamentali enunciati dal Bureau of Reclamation degli Stati Uniti d'America (USBR, 1951). In particolare, tali esperienze sono state maturate in Sicilia (Fierotti et al., 1990a, 1990b, 1990c; Fierotti e Dazzi, 1990, 1993), in Sardegna (Arangino et al., 1986a, 1986b), in Puglia (Aru et al., 1979) ed in Lombardia (ERSAL, 1990). Tra queste, solo per la Sardegna è stata proposta una tabella riassuntiva che illustrasse le caratteristiche ed i valori considerati per la valutazione delle classi di idoneità (tabella 4.4). Tale tabella è stata utilizzata per la valutazione dell'idoneità all'irrigazione dei suoli presenti nelle aree irrigabili della Sardegna nell'ambito del Piano Acque della regione.

La maggior parte dei piani e progetti eseguiti per l'irrigazione nell'ambito dell'attività della Cassa per il Mezzogiorno e dei Consorzi di Bonifica dell'Italia meridionale, hanno allegato uno studio dei suoli e relativa valutazione dell'attitudine all'irrigazione. Tali piani e progetti sono solitamente reperibili presso le sedi dei Consorzi di Bonifica e degli altri Enti interessati. Deve essere però verificata, di volta in volta, la loro disponibilità per il pubblico.

Tabella 4.4. Caratteristiche e valori per la valutazione delle classi di irrigabilità in Sardegna (Arangino et al., 1986a).

	Classe 1 ^a	Classe 2 ^a	Classe 3 ^a	Classe 4 ^a
Suolo				
tessitura	F, FA, FLA, FSA, FS, A ben strutturata	da AS a A e S con media struttura	da A a S con scarsa struttura	idem alla classe 3 ^a
profondità (cm)	80	80-50	50-35	inferiore a 35
pietrosità (%)	0-0,1	0,1-3	3-15	anche 15
rocciosità (%)	nessuna	0-2 della superficie	2-10 della superficie	10-20 della superficie
permeabilità o drenaggio interno	normale	lento	molto lento o rapido	impedito o molto rapido
grado di alterazione dei minerali	poco alterati	moderatamente alterati	alterati	assai alterati
salinità	0	0	moderatamente salini	eventualmente salinità da media ad alta
carbonati (%)	3-25	25-50	50	50
Topografia				
pendenza (%)	pendii dolci e regolari sino al 10%	10-20	20-30	30-40
pericolo d'erosione	scarso o modesto	moderato	elevato	da elevato a molto elevato
Drenaggio				
suolo e topografia	le condizioni del suolo e della topografia sono tali da non richiedere interventi anticipati di drenaggio	le condizioni del suolo e della topografia sono tali da richiedere alcune operazioni di drenaggio ma realizzabili a bassi costi	le condizioni del suolo e della topografia sono tali da richiedere notevoli opere di drenaggio costose ma fattibili	idem alla classe 3 ^a
classe di drenaggio	suoli ben drenati	suoli da ben drenati a moderatamente ben drenati	suoli da scarsamente drenati ad eccessivamente drenati	idem alla classe 3 ^a

4.5.2. Elaborazioni e studi di sintesi (a cura di Rosario Napoli³)

Nell'ambito delle attività realizzate con il progetto POM (1998-2002) dall'Istituto Nazionale di Economia Agraria (INEA), dal titolo "Studio sull'uso irriguo della risorsa idrica sulle produzioni agricole irrigate e sulla loro

³ CRA-Istituto Sperimentale per lo Studio e la Difesa del Suolo, Firenze

redditività”, ed in particolare con l’Azione 1b della Misura 3 di tale progetto, è stato realizzato un Sistema Informativo per la Gestione delle Risorse Idriche in Agricoltura (SIGRIA) (Bonati et al., 2000). Una delle informazioni tematiche prodotte ha riguardato la base dati della valutazione di attitudine dei suoli all’irrigazione nei territori dei 66 Consorzi di Bonifica e di Irrigazione delle Regioni Meridionali (ex Obiettivo 1).

La valutazione ha avuto come oggetto tutta l’area attualmente gestita dai Consorzi, che ammonta a 8.130.246 ettari, con particolare riferimento alle aree irrigate sia interne che esterne alle superfici attrezzate comprensoriali dei Consorzi, aventi estensione totale di circa 1.600.000 ettari. L’Istituto Sperimentale per lo Studio e la Difesa del Suolo (ISSDS) ha curato gli aspetti riguardanti l’acquisizione dei dati pedologici provenienti dai rilevamenti e dalle cartografie pregresse in tutta l’area di studio, nonché la costruzione e l’applicazione delle matrici di valutazione.

Caratteri e qualità del suolo utili per la valutazione di irrigabilità

In accordo con la metodologia e gli scopi previsti dal Progetto, è stato preso in considerazione un set di caratteri necessari per la valutazione a fini irrigui, sia riferiti alla stazione che interni, partendo dall’esperienza realizzata dal Bureau of Reclamation degli Stati Uniti d’America (USBR, 1951), successivamente modificata e calibrata dall’ISSDS appositamente per il Progetto.

Per le caratteristiche stazionali, sono state prese in considerazione la pietrosità e la rocciosità superficiale (espresse in percentuale) e l’erosione superficiale; per quelle interne, la tessitura della frazione fine del *topsoil* e del *subsoil*, la profondità utile⁴, il drenaggio, la reazione, i carbonati totali e la salinità (di *topsoil* e *subsoil*).

Messa a punto della matching table in relazione alle tipologie di irrigazione

Tra le caratteristiche da considerare per la valutazione, è stato necessario introdurre anche la variabile “tipologia di sistema irriguo”. Infatti, la valutazione delle classi di pendenza assume un valore diverso a seconda delle tipologie d’irrigazione utilizzate. In particolare, sono state distinte ed introdotte nella *matching table* tre grandi tipologie semplificate, per scorrimento, sommersione e irrigazione laterale (solchi), per aspersione (pioggia) e per irrigazione localizzata (goccia o manichette forate), sulla base

⁴ Da intendersi come profondità massima in cm, data dalla somma degli orizzonti che possono essere interessati dalle radici. Si assume come orizzonte impenetrabile alle radici quello che presenta una radicabilità inferiore al 30%. La radicabilità è intesa come percentuale di volume di suolo esplorabile dalle radici e può essere stimata da caratteristiche del profilo e dalla distribuzione delle radici (se presenti) nel suolo. Orizzonti impenetrabili o difficilmente penetrabili possono essere: la roccia, i sedimenti consolidati, i densipan, i fragipan, i duripan e gli orizzonti petrocalcici, petrogipsici, petroferrici, placici, orizzonti con falda permanente.

del dato rilevato dall'INEA su circa il 70% del totale delle aree attrezzate consortili, riguardante la distribuzione delle principali tecniche irrigue presenti nelle aree attrezzate dei Compensori delle otto Regioni interessate (tabella 4.5).

Tabella 4.5. Distribuzione delle principali tecniche irrigue presenti nelle aree attrezzate dei Compensori delle otto Regioni Meridionali.

Regione	TECNICA IRRIGUA (ETTARI)					
	Scorimento	Sommersione	Infiltrazione laterale (solchi)	Aspersione (pioggia)	Localizzata (goccia)	Totale per Regione
Campania	66	65	5.514	7.115	362	13.122
Puglia	506	0	0	37.944	16.920	55.370
Sicilia	3.645	200	500	11.407	25.703	41.475
Sardegna	20	4.118	23	39.731	15.637	59.529
Calabria	1.993	730	0	6.902	681	10.306
Abruzzo	15.551	11	0	44.215	89	59.866
Molise	0	0	0	1.615	311	1.925
Basilicata	2.735	0	2.527	13.532	15.230	34.024
Totale	24.516	5.124	8.564	162.461	74.932	275.617

Dati ricavati da Base Dati di Uso del suolo CASI 3 – INEA (INEA, 2001a).

La tabella di valutazione finale (tabella 4.6), riporta le caratteristiche sopraccitate, esterne, interne e riferite al sistema irriguo, in relazione alle corrispondenti voci e classi del manuale ISSDS (Gardin et al., 2002) utilizzato per l'acquisizione e armonizzazione dei dati pedologici.

Tabella 4.6. Schema di valutazione dell'Attitudine dei suoli all'irrigazione nel Progetto POM 1998-2002 "Studio sull'uso irriguo della risorsa idrica sulle produzioni agricole irrigate e sulla loro redditività" (da United States Bureau of Reclamation, modificato ISSDS).

CLASSI DI IRRIGABILITÀ								
Carattere	1 - buona		2 - moderata		3 - scarsa		4 - nulla	
	valori	classi ISSDS	valori	classi ISSDS	valori	classi ISSDS	valori	classi ISSDS
Tessitura topsoil Classe USDA	FA o FLA o FL o FSA		AL o F o FSA o L o A o AS o FS	SF			S	
Tessitura subsoil Classe USDA	FA o FLA o FL o FSA		AL o F o FSA o L o A o AS o FS	SF			S	
Profondità utile alle radici (cm)	≥100	5 o 4	<100 e ≥50	3	-	-	<50	1 o 2

CLASSI DI IRRIGABILITÀ								
	1 - buona		2 - moderata		3 - scarsa		4 - nulla	
Carattere	valori	classi ISSDS	valori	classi ISSDS	valori	classi ISSDS	valori	classi ISSDS
Pietrosità %	≤0,1	0 o 1	>0,1 e ≤3	2	>3% e ≤15	3	>15	4 o 5
Croste dure (*) %	≤0,1	0 o 1	>0,1 e ≤3	2	>3% e ≤15	3	>15	4 o 5
Rocciosità %	0	0	-	-	>0 e <2	1	>2	2-5
Drenaggio	buono	3	moderato	4	talvolta eccessivo o scarso	2 o 5	eccessivo, lento o impedito	1 o 6 o 7
Reazione topsoil pH	≤9	<9	-	-	-	-	>9	9
Reazione subsoil pH	≤9	<9	-	-	-	-	>9	9
Carbonati topsoil %	1-20	3 o 4 o 5	<1 o 20- 40	1 o 2 o 6	>40	7	-	-
Carbonati subsoil %	1-20	3 o 4 o 5	<1 o 20- 40	1 o 2 o 6	>40	7	-	-
Salinità topsoil mmhos cm ⁻¹	<2	0 o 1	-	-	2-4	2	>4	>2
Salinità subsoil mmhos cm ⁻¹	<2	0 o 1	-	-	2-4	2	>4	>2
Erosione superficiale	assente	0	moderata diffusa	1	moderata incanalata	2 o 4	forte	3 o ≥5
Pendenza per irrigazione localizzata (%)	0-13	1-2	13-21	3	21-35	4	>35	5-6
Pendenza per irrigazione a pioggia (%)	≤5		5-13	-	-	-	>13	
Pendenza per irrigazione per scorrimento, sommersione e infiltrazione laterale (%)	1		3				>3	

(*) Si utilizza la stessa classe di legenda della pietrosità per la stima delle percentuali areali di copertura.

Le quattro classi di valutazione sono state riportate nella cartografia attitudinale con la seguente corrispondenza ai suoli delle unità cartografiche:

- classe buona – suoli adatti;
- classe moderata – suoli discretamente adatti;

- classe scarsa – suoli marginalmente adatti;
- classe nulla – suoli non adatti.

Valutazione delle basi informative

Gli strati informativi con i quali è stato svolto questo lavoro provengono da diverse fonti. I dati inerenti la pedologia sono basati sull'utilizzo delle fonti dati disponibili, sia di tipo nazionale, che regionale, che sperimentale (cartografie di dettaglio realizzate da Istituti ed Enti di ricerca). Per quanto riguarda invece le informazioni relative all'uso del suolo ed alle tecniche irrigue di interesse, ci si è avvalsi delle informazioni derivanti dal progetto CASI 3, gestito direttamente dall'INEA (INEA, 2001a). La classificazione dell'attitudine del territorio all'irrigazione è avvenuta attraverso la valutazione dei dati provenienti dal rilevamento pedologico, inquadrato in base ad altri fattori fisici (pendenza, quota); non sono stati considerati, invece, i fattori economici e sociali.

I suoli presenti in ogni unità cartografica, sono stati classificati secondo le quattro classi presenti nella tabella di valutazione (tabella 4.6), seguendo il criterio del carattere più limitante (la peggior condizione determina la classe di valutazione). Ad ogni classe sono state attribuite una o più sigle di sottoclasse di limitazione, riguardanti le caratteristiche principali limitanti responsabili della collocazione nella classe specifica, secondo lo schema della tabella 4.7.

Tabella 4.7. Codici di sottoclasse per le principali limitazioni.

CODICE (°)	LIMITAZIONE
PE	pendenza
D	drenaggio
PR	profondità utile
S	salinità
SK	pietrosità superficiale
CR	crosta calcarea
R	rocciosità
T	tessitura
E	erosione
C	carbonati
N-n	nessuna limitazione
ND	non determinate (°°)

(°) È possibile utilizzare delle sigle composite per indicare la presenza della limitazione negli orizzonti di superficie (topsoil) o di profondità (subsoil), per esempio cs = carbonati nel subsoil (dove è possibile tale determinazione).

(°°) Dato riportato da bibliografia senza possibilità di applicazione della matching table e di informazione minima anche per una stima di esperto.

Le cartografie dell'attitudine dei suoli all'irrigazione, per ogni tipologia di sistema irriguo, sono riportate in "Atlante dell'Irrigazione nelle Regioni Meridionali" (INEA, 2001b).

Metodologie di applicazione della valutazione alle diverse fonti dati e determinazione della confidenza della valutazione

Ai caratteri necessari per la valutazione a fini irrigui e per la capacità d'uso, è stato assegnato un grado di fiducia all'informazione immessa nella banca dati ed utilizzata per la valutazione, sulla base dei seguenti elementi:

- i dati provenivano da rilievi diversi, di diversa scala e finalità;
- anche i dati espressamente rilevati per la finalità richiesta possedevano vari livelli di accuratezza;
- i caratteri riportati nelle legende delle carte pedologiche pregresse potevano essere espressi con classi differenti (e quindi da riattribuire con probabile perdita di informazione) o potevano mancare in quella forma (in questo caso è stato necessario pertanto tradurre, derivare o reinterpretare l'informazione mancante da altri caratteri);
- alcuni caratteri potevano mancare del tutto (si è dovuto valutare se lasciare il carattere assente o prevedere un rilevamento mirato all'acquisizione di quel carattere).

Ogni carattere ha pertanto un grado di fiducia espresso qualitativamente da tre classi: Alto, Medio e Basso, la cui applicazione, congiuntamente alla valutazione, ha portato ai risultati generali riportati sinteticamente nelle tabelle 4.8 e 4.9. I criteri utilizzati per attribuire la classe di confidenza sono stati:

1. il criterio geografico: la quantità e la distribuzione delle osservazioni effettuate sul territorio sono soddisfacenti, medie o scarse in relazione alla finalità di scala e di densità di informazione richiesta dal progetto;
2. il criterio di qualità del dato puntuale: la presenza (totale parziale o assente) di misurazioni analitiche di laboratorio eseguite con metodologie idonee standard, e di descrizioni accurate con manuali aggiornati del profilo di suolo, con riconoscimento degli orizzonti pedogenetici e diagnostici.

Tabella 4.8. Classi di confidenza dell'informazione pedologica (in % su totale delle superfici consortili).

Regione	Abruzzo	Basilicata	Calabria	Campania	Molise	Puglia	Sardegna	Sicilia
Classe								
Alta	0,04	6,61	0,002	0,00	1,75	0,00	33,10	0,00
Media	0,07	0,95	92,43	10,48	4,52	81,95	5,59	0,00
Bassa	73,99	48,76	0,034	68,46	40,69	0,00	0,00	66,32
Totale	74,10	56,32	92,47	78,94	46,96	81,95	38,69	66,32
Nv (*)	25,90	43,68	7,53	21,06	53,04	18,05	61,31	33,68

(*) Aree non valutate perché escluse o per mancanza di dati sufficienti.

Tabella 4.9. Risultati sintetici della valutazione sulla attitudine all'irrigazione dei suoli nelle aree Consortili delle Regioni Meridionali. Fonte: ISSDS aggiornata al 2002

Regioni obiettivo 1	Attitudine 1		Attitudine 2		Attitudine 3	
	ha	%	ha	%	ha	%
Adatti	1.890.655	23,3	3.774.544	46,4	4.148.215	51,0
Non adatti	2.957.232	36,3	1.073.343	13,2	699.672	8,6
Non valutati	3.282.359	40,4	3.282.359	40,4	3.282.359	40,4
Totale complessivo	8.130.246	100,0	8.130.246	100,0	8.130.246	100,0

Legenda attitudini per diverse tecniche irrigue: attitudine 1= scorrimento, sommersione e infiltrazione laterale; attitudine 2= aspersione; attitudine 3= localizzata.

Bibliografia

- ARANGINO, F., ARU, A., BALDACCINI, P., VACCA, S., 1986a. *I suoli delle aree irrigabili della Sardegna*. Piano Generale delle Acque, Ente Autonomo del Flumendosa, Assessorato della Programmazione, Bilancio ed Assetto del Territorio, Regione Autonoma della Sardegna, 133.
- ARANGINO, F., ARU, A., BALDACCINI, P., VACCA, S., 1986b. *Carta dei suoli delle aree irrigabili della Sardegna*. Piano Generale delle Acque, Ente Autonomo del Flumendosa, Assessorato della Programmazione, Bilancio ed Assetto del Territorio, Regione Autonoma della Sardegna, 25 fogli 1:100.000, 1 legenda.
- ARU, A., BALDACCINI, P., FIEROTTI, G., 1979. *Studi pedologici per scopi irrigui in tre aree campione della Puglia*. Progetto speciale n. 14, Cassa per il Mezzogiorno, Roma, 119.
- BONATI, G., FAIS, A., NINO, P., RAIMONDI, G., 2000. *Il SIGRIA - Sistema Informativo per la Gestione delle Risorse Idriche in Agricoltura*. MondoGIS N. 23, Roma.
- BOOKER AGRICULTURE INTERNATIONAL LIMITED, 1979. *Sugarcane as an irrigated crop*. In Land evaluation criteria for irrigation, FAO World Soil Resources Report n. 50, Rome, 103-113.
- DE DATTA, S.K., 1981. *Principles and practices of rice production*. International Rice Research Institute, Los Baños, Philippines, 618.
- EARLY, A.C., SINGH, V.P., TABBAL, D.F., WICKHAM, T.H., 1979. *Land evaluation criteria for irrigated lowland rice*. In Land evaluation criteria for irrigation, FAO World Soil Resources Report N. 50, Rome, 114-144.
- ERSAL, 1990. *I suoli dell'Isola bergamasca (a cura di Bonalumi, G., Roncalli, W., Vitali, G., Assi, I.)*. Progetto Carta Pedologica, Milano, 296, 1 carta 1:25.000, 4 carte 1:50.000.
- FAO, 1979. *Land evaluation criteria for irrigation*. FAO World Soil Resources Report n. 50, Rome, 219.
- FAO, 1985. *Guidelines: land evaluation for irrigated agriculture*. FAO Soils Bulletin n. 55, Rome, 231.
- FIEROTTI, G., DAZZI, C., 1990. *Caratteristiche ambientali e possibilità irrigue nel perimetro consortile del Salso inferiore*. In Il Consorzio di Bonifica del Salso inferiore, 1939-1989, Ed. APE, 95-132.

- FIEROTTI, G., DAZZI, C., 1993. *Il quadro pedologico del comprensorio del Consorzio di Bonifica dell'Alto e Medio Belice ed esempi di valutazione dei suoli all'irrigazione. Ricerca pilota a valenza interregionale sulla riconversione colturale ed ammodernamento delle strutture nel comprensorio dell'Alto e Medio Belice*. In Il Consorzio di Bonifica dell'Alto e Medio Belice, Ed. ARBOR, Palermo, 109-178.
- FIEROTTI, G., SARNO, R., CIRRITO, V., DAZZI, C., RAIMONDI, S., 1990a. *Utilizzazione a scopi irrigui delle acque reflue depurate dei comuni di Caltanissetta e S. Cataldo: studio pedo-agronomico di alcune aree irrigabili in territorio di Caltanissetta*. In Il Consorzio di Bonifica del Salso inferiore, 1939-1989, Ed. APE, 163-198.
- FIEROTTI, G., DAZZI, C., LOMBARDO, V., OLIVERI, G., RAIMONDI, S., 1990b. *Studio pedo-agronomico dei suoli potenzialmente irrigabili con le acque del serbatoio "Laura"*. In Il Consorzio di Bonifica del Salso inferiore, 1939-1989, Ed. APE, 199-250.
- FIEROTTI, G., DAZZI, C., LOMBARDO, V., OLIVERI, G., RAIMONDI, S., 1990c. *Studio pedo-agronomico dei suoli potenzialmente irrigabili con le acque del serbatoio "Gibbesi"*. In Il Consorzio di Bonifica del Salso inferiore, 1939-1989, Ed. APE, 251-298.
- GARDIN, L., COSTANTINI, E.A.C., NAPOLI, R., 2002. *Guida alla descrizione dei suoli in campagna e alla definizione delle loro qualità*. <http://www.soilmaps.it/ita/downloads.html>
- INEA, 2001a. *Il Progetto CASI: Guida tecnica e presentazione dei risultati*. Collana "rapporto Irrigazione", Ed. INEA, MiPAF, Min. Infrastrutture e Trasporti e UE, Fondo Europeo di Sviluppo Regionale, Roma.
- INEA, 2001b. *Atlante dell'Irrigazione nelle Regioni Meridionali – Capitolo 5 Elementi Fisici Pedologia: Irrigabilità dei suoli regioni Obiettivo 1*. A cura di R. Napoli, Ed. INEA, MiPAF, Min. Infrastrutture e Trasporti e UE, Fondo Europeo di Sviluppo Regionale, Roma.
- SOIL SURVEY STAFF, 1999. *Soil Taxonomy. A Basic System of Soil Classification for Making and Interpreting Soil Surveys. Second edition*. Agriculture Handbook N. 436, USDA-NRCS. U.S. Gov. Print. Office, Washington, D.C.
- SOUTHARD, S.B., 2001. *Improved irrigation interpretations using a National Soils Information System*. Extended Abstracts of the 7th International Meeting on Soils with Mediterranean Type of Climate "Preserving the Mediterranean Soils in the Third Millennium", Valenzano (Ba), Italy, 23-28 September 2001, 121-122.
- SYS, C., VAN RANST, E., DEBAVEYE, J., 1991. *Land Evaluation. Part II. Methods in Land Evaluation*. Agricultural publications n. 7, General Administration for Development Cooperation, Brussels, Belgium, 247.
- SYS, C., VAN RANST, E., DEBAVEYE, J., 1993. *Land Evaluation. Part III. Crop requirements*. Agricultural publications n. 7, General Administration for Development Cooperation, Brussels, Belgium, 199.
- USBR, 1951. *Bureau of Reclamation Manual. Vol. V. Irrigated land use. Part 2. Land classification*. Bureau of Reclamation, Dept. of Interior, Denver Federal Center, Denver, Colorado, USA.

Ministero delle Politiche Agricole, Alimentari e Forestali
Osservatorio Nazionale Pedologico e per la Qualità del Suolo Agricolo e Forestale

In collaborazione con:
International Union of Soil Sciences
Società Italiana della Scienza del Suolo
Commissione VI - Uso e Conservazione del Suolo

BAZZOFFI, P., 2006. *Valutazione dell'erosione del suolo*. In: Costantini, E.A.C. (Ed.),
Metodi di valutazione dei suoli e delle terre, Cantagalli, Siena, pp. 922.

Collana dei metodi analitici per l'agricoltura diretta da Paolo Sequi, vol. 7

CRA - Consiglio per la Ricerca e la Sperimentazione in Agricoltura
Istituto Sperimentale per lo Studio e la Difesa del Suolo, Firenze

5. Valutazione dell'erosione del suolo

Paolo Bazzoffi¹

5.1. Introduzione	2
5.2. Erosione Idrometeorica	5
5.2.1. Le fasi del processo erosivo.....	5
5.2.2. Principali fattori che causano l'erosione idrometeorica e modello di stima RUSLE.....	10
5.3. Riepilogo dei modelli di stima dell'erosione idrometeorica	28
5.4. Metodi di stima dell'erosione a scala regionale.....	30
5.5 Erosione e traslocazione meccanica del suolo	31
5.6. Metodi di misura diretta dell'erosione.....	33
5.6.1. Misure parcellari e di bacino	35
5.6.2. Quantificazione dell'erosione con metodi morfometrici.....	37
5.6.3. Misura della traslocazione del suolo e dell'erosione meccanica	38
5.7. Erosione tollerabile e valutazione del rischio ambientale connesso all'erosione.....	40
5.7.1. Erosione tollerabile.....	40
5.7.2. Rischio ambientale connesso all'erosione.....	42
Bibliografia	50

5.1. Introduzione

L'erosione del suolo consiste nella perdita dello strato più superficiale del terreno a causa dell'azione di agenti naturali quali l'acqua piovana e il vento o di azioni meccaniche di origine antropica.

Dal punto di vista geologico, insieme ad altri fenomeni di superficie, l'erosione è responsabile della dinamica della crosta terrestre.

Con l'avvento dell'agricoltura, questo fenomeno naturale ha subito un'accelerazione a causa dello sconvolgimento dell'equilibrio naturale fra piante e suolo, ma è soprattutto a partire dalla seconda metà del secolo scorso che, con la meccanizzazione spinta, il livellamento delle pendici, la specializzazione delle colture e l'abbandono delle sistemazioni idraulico-

¹ CRA - Istituto Sperimentale per lo Studio e la Difesa del Suolo, Firenze

agrarie, l'erosione è divenuta in Italia un fenomeno molto preoccupante che sta impoverendo la risorsa suolo (Jones et al., 2004; Gobin e Govers, 2003; Bazzoffi, 2002b). In modo particolare, l'impiego delle macchine per il movimento di terra e gli strumenti agricoli per la lavorazione del suolo, soprattutto l'uso dell'aratro a versoio ed il forte amminutamento del suolo per la preparazione del letto di semina, hanno contribuito ad accelerare i fenomeni erosivi. A questi effetti antropici si deve aggiungere un accrescimento del rischio erosivo per l'aumento dell'aggressività delle piogge, in relazione ai cambiamenti climatici in atto (Buffoni et al., 2003).

A livello nazionale l'erosione del suolo interessa gran parte del territorio, e ciò a causa della natura dei terreni, ma soprattutto della prevalente morfologia collinare e montana del nostro Paese.

Dall'elaborazione dei dati di rischio d'erosione attuale del suolo forniti dall'European Soil Bureau (Van der Knijff et al., 1999) utilizzando la banca dati dell'uso del suolo CORINE (1992), si osserva (figura 5.1) che i suoli a rischio di erosione compreso fra 0 e 3 t ha⁻¹ anno⁻¹ rappresentano circa il 57% del territorio nazionale; quelli dove il rischio di erosione è compreso fra 3 e 10 t ha⁻¹ anno⁻¹ rappresentano circa il 12% e quelli dove il rischio di erosione supera le 10 t ha⁻¹ anno⁻¹ rappresentano circa il 30%.

Negli ultimi decenni si osserva una riduzione dell'erosione nelle zone montane, ove l'attività agricola è stata abbandonata e si è riaffermata una vegetazione arborea o erbaceo-arbustiva spontanea, oppure sono stati effettuati rimboschimenti, mentre per le zone collinari più fertili le asportazioni di suolo sono aumentate sulle superfici investite a colture specializzate, soprattutto per le coltivazioni a righe e le colture permanenti.

L'erosione del suolo può essere classificata in diversi modi, secondo l'agente che la provoca e l'intensità. Nella tabella 5.1 si riporta la classificazione proposta da Zachar (1982), con lievi integrazioni che la rendono maggiormente idonea a descrivere alcuni fenomeni non considerati dall'Autore.

L'erosione accelerata dall'attività antropica è una minaccia per la risorsa suolo, sia per i danni *in situ*, sia per quelli che può causare a distanza. I danni *in situ* derivano dalla deposizione dei sedimenti ove la pendenza dei versanti diminuisce. Riguardo invece agli effetti a distanza, non sempre gli effetti dell'erosione sono negativi. Quando i sedimenti sono prodotti in quantità limitata, essi costituiscono una risorsa per l'ambiente, entrando a far parte integrante degli ecosistemi acquatici (Arakel, 1995) e formando una notevole varietà di habitat, dall'origine dei fiumi fino all'ambiente marino (SedNet, 2004).

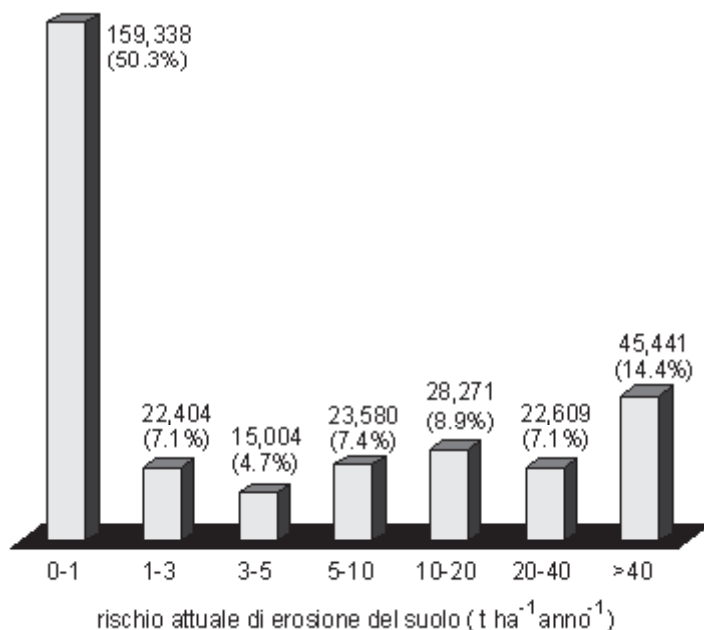


Figura 5.1. Distribuzione dei suoli in Italia secondo il rischio di erosione (elaborazione su dati Corine, 1992 - elaborazione Bazzoffi).

Eccessivi tassi d'erosione del suolo determinano produzioni elevate di sedimenti che talvolta danno origine a gravi danni ambientali. Roose (1996) elenca, fra i più importanti effetti dannosi di un'eccessiva produzione di sedimenti, il deterioramento della qualità dell'acqua determinato dalla presenza di sedimento in sospensione. Il problema risulta più grave se il sedimento trasporta azoto e fosforo derivanti dai fertilizzanti che determinano fioriture algali nelle acque marine, nei laghi e nei serbatoi artificiali. Negli invasi a fini idroelettrici i sedimenti possono causare danni per abrasione a differenti componenti delle turbine (WCD, 2000). A maggiore distanza si possono avere danni alla linea di costa, con gravi problemi di manutenzione e gestione dei fondali portuali, e danni alla pesca e al turismo, per la maggiore torbidità delle acque nelle stazioni soggette ad apporti fluviali (ARPA Emilia Romagna, 2004). I sedimenti in eccesso possono creare seri danni agli insediamenti umani, soprattutto in occasione di esondazioni (Linsley et al., 1992). Ne sono un triste esempio i notevoli danni arrecati al patrimonio artistico e culturale di Firenze durante l'alluvione dell'Arno nel 1966. Nel presente testo, la trattazione dell'erosione è fatta eminentemente a fini tecnici applicativi. Per approfondimenti scientifici si rimanda alla copiosa letteratura scientifica in materia (Morgan, 2005; Toy et al., 2002).

Tabella 5.1 Classificazione dell'erosione del suolo secondo differenti criteri Zachar (1982), riadattata da Bazzoffi.

EROSIONE DEL SUOLO			
Classificazione dell'erosione secondo i fattori che la generano	Classificazione dell'erosione causata dalla pioggia secondo le forme	Classificazione dell'erosione idrica laminare e per rigagnoli, secondo l'intensità in $t\ ha^{-1}\ anno^{-1}$	
Erosione dovuta alla pioggia	Erosione laminare	< 1	Insignificante
Erosione di sponda nei corsi d'acqua	Erosione per rigagnoli	1 – 5	Debole
Erosione lacustre	Erosione per burroni	5 – 20	Moderata
Erosione marina	Erosione sotterranea (a tunnel)	20 – 100	Severa
Erosione causata dai ghiacciai		100 – 300	Molto severa
Erosione causata dalla neve		> 300	Catastrofica
Erosione causata dal vento			
Erosione di massa (frane)			
Erosione causata dalle ruspe e dall'aratro a versoio (tillage erosion)			
Erosione da estrazione di tuberi e da attività vivaistica			

5.2. Erosione Idrometeorica

5.2.1. Le fasi del processo erosivo

L'erosione del suolo è un fenomeno complesso nel quale sono distinguibili tre fasi: la prima consiste nel distacco delle particelle di suolo causato dall'azione battente della pioggia o dall'azione delle acque di scorrimento; ad essa segue il trasporto dei materiali erosi operato dall'acqua; infine, la fase di deposizione dei sedimenti erosi (Ellison, 1947; Zachar, 1982; Zingg, 1940).

Senza considerare i movimenti di massa in campo agricolo (frane, ecc.), la cui trattazione esula da questo testo, e limitandosi a descrivere le forme di

erosione superficiale, si possono riconoscere tre tipologie erosive principali: l'erosione da impatto delle gocce di pioggia; l'erosione laminare e l'erosione incanalata (Smith e Wischmeier, 1957; Free, 1960; Mutchler, 1970; Morgan, 1978; Nearing e Bradford, 1985; Giordani e Zanchi, 1995).

Nella prima, meglio conosciuta come "*splash erosion*" (figura 5.2), le tre fasi del processo erosivo si esplicano nel seguente modo: il distacco delle particelle terrose viene causato dalle gocce che colpiscono il suolo nudo; il movimento del materiale avviene attraverso la dislocazione causata dagli schizzi derivanti dall'impatto delle gocce; la deposizione del sedimento avviene in loco, al termine dell'evento piovoso, con la formazione di uno strato superficiale fangoso e la diminuzione della rugosità della superficie del suolo (spianamento delle zolle). Con il successivo disseccamento del sedimento si forma una crosta superficiale densa, con pori vescicolari e con pori allungati in senso parallelo alla superficie del suolo che non favoriscono i movimenti dell'acqua nel suolo (Ellison e Slater, 1945; Pagliai, 1988; Pagliai et al., 2000).

Nei temporali, nei quali le gocce possono avere diametri sopra il millimetro, se le gocce dissipano la loro energia sul suolo privo di copertura, si esercitano sforzi di compressione e di taglio in grado di distruggere gli aggregati. Alla loro disaggregazione contribuisce anche il rapido inumidimento del suolo attraverso un'azione chimico-fisica complessa che causa una sorta di "esplosione degli aggregati" (*slaking*) (Le Bissonnais, 1990).

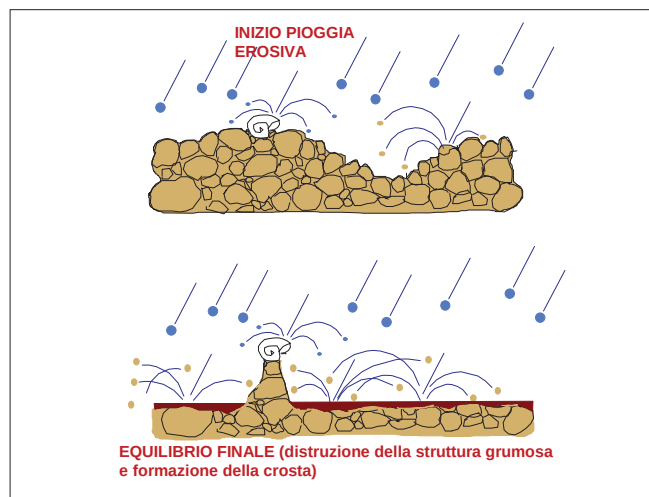


Figura 5.2 Erosione da *splash*. Distruzione della struttura grumosa e formazione della crosta superficiale (Bazzoffi).

I danni arrecati al suolo dall'erosione da impatto sono: la distruzione della struttura grumosa del terreno; la compattazione; l'intasamento della porosità, con conseguente diminuzione del numero di macropori in grado di far infiltrare l'acqua nel suolo.

La formazione della crosta superficiale determina, infine, un'accresciuta difficoltà per l'emergenza delle plantule e la diminuzione degli scambi gassosi fra suolo e atmosfera.

La seconda forma erosiva che si può osservare nelle terre coltivate, direttamente collegata alla prima, è quella determinata dal deflusso laminare, conosciuta con il termine di "*sheet erosion*" o "*inter-rill erosion*". In essa, il distacco delle particelle è causato principalmente dallo *splash*, ma comincia ad essere presente una componente dovuta al deflusso laminare, cioè allo scorrimento dell'acqua sulla superficie del suolo sotto forma di un velo liquido che non forma rigagnoli evidenti.

Rispetto alla forma d'erosione precedente, qui il trasporto è principalmente operato dallo scorrimento laminare dell'acqua fino al raggiungimento di un rigagnolo collettore del deflusso.

La deposizione del materiale eroso può avvenire prima del raggiungimento del rigagnolo oppure può verificarsi a distanza, dopo che il sedimento è stato trasportato dalle acque che defluiscono nella rete drenante superficiale.

I danni causati dall'erosione laminare sono i medesimi di quelli dovuti all'erosione da *splash*, con l'aggiunta di un altro fattore di degradazione consistente nella perdita di suolo superficiale causato dal trasporto a distanza dei sedimenti.

L'ultima e più importante forma di erosione che interessa il terreno agrario è l'erosione incanalata (figura 5.3). In essa, pur essendo presenti anche le due forme di erosione descritte in precedenza, la perdita di suolo maggiore è da imputare al distacco ed al trasporto di particelle causato dallo scorrimento dell'acqua nei rigagnoli (*rill erosion*).

Generalmente, i rigagnoli s'innescano su vie preferenziali ove il suolo è più compatto, ad esempio sulle tracce lasciate dai pneumatici (figura 5.4), convogliando il deflusso laminare che si verifica durante la pioggia.

Quando i rigagnoli assumono una dimensione tale da non poter essere eliminati attraverso le lavorazioni del suolo, si parla di erosione "per solchi o per burroni" (*gully erosion*).

Nell'erosione per rigagnoli e per burroni, oltre agli agenti di distacco e trasporto già descritti trattando dell'erosione laminare, si aggiunge l'azione della turbolenza dell'acqua durante il suo scorrimento, che determina il distacco di macro-aggregati (zolle) e il loro trasporto a distanza.

Durante lo scorrimento si verifica, quindi, lo smantellamento delle sponde del canale, con produzione di una notevole massa di sedimenti; senz'altro in quantità maggiore di quella prodotta dalle altre forme di erosione.

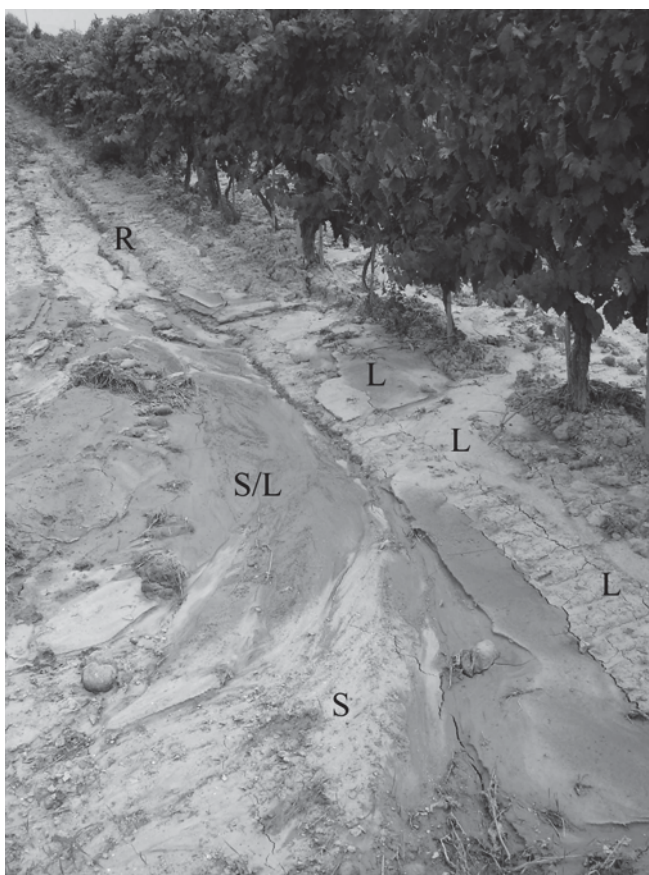


Figura 5.3. Forme di erosione: L= erosione laminare (o interrill) con formazione di crosta; R= erosione incanalata (per rigagnoli); S= zone di sedimentazione; S/L= zone a dinamica complessa (erosione e/o deposizione, secondo la velocità delle acque). (Foto Bazzoffi).

Quando i rigagnoli si formano sul terreno arato, generalmente essi non si approfondiscono oltre la suola di aratura; quando invece si formano su masse incoerenti (terreno di riporto dopo il livellamento del suolo, operato in fase di impianto di coltivazioni legnose arboree) i solchi possono evolversi rapidamente in burroni, causando una notevolissima produzione di sedimenti. Affinché i rigagnoli si possano formare sulla superficie del suolo, si devono raggiungere delle condizioni "soglia" che si verificano molto più difficilmente se sul suolo è presente un manto di vegetazione, soprattutto erbacea.

La vegetazione, oltre ad ostacolare l'asportazione di materiale solido, determina una riduzione dei deflussi liquidi e, di massima, anche la perdita di sali solubili.



Figura 5.4. Effetto della compattazione dovuto al passaggio di macchinari agricoli. L'erosione si sviluppa soprattutto sulle tracce lasciate dalle ruote. (Foto Bazzoffi).

L'erosione del suolo è un processo selettivo; infatti non tutti i materiali vengono erosi allo stesso modo. Generalmente, solo la terra fine viene rimossa e le particelle più grossolane, dalla sabbia allo scheletro (cioè gli inerti di diametro $> 2\text{mm}$), che erano contenuti nella massa terrosa asportata, si accumulano sulla superficie del suolo residuo (figura 5.5).



Figura 5.5 L'erosione causa l'arricchimento in scheletro del suolo. L'evidente rideposizione dei sedimenti testimonia un elevato tasso di erosione.

5.2.2. Principali fattori che causano l'erosione idrometeorica e modello di stima RUSLE.

Nel descrivere i fattori che determinano l'erosione del suolo non si approfondisce l'analisi delle numerose componenti che li “modulano”, in quanto ciò andrebbe molto oltre gli scopi applicativi di questo manuale. Si è preferito, invece, seguire la modalità di presentazione dei fattori dell'erosione adottata nel modello predittivo USLE di Wischmeier e Smith (1978), successivamente aggiornato da Renard et al. (1997) in RUSLE (*Revised Universal Soil Loss Equation*) per un miglior adattamento del modello anche su terreni a morfologia complessa, che permette la stima delle perdite di suolo da erosione laminare e incanalata (rigagnoli).

La tecnologia USLE/RUSLE consiste in un set di equazioni che stimano la perdita di suolo e la produzione di sedimento derivanti dai processi di erosione per rigagnoli e laminare (rill-interril erosion). Essa deriva dallo studio dei processi erosivi su un numero elevato di anni di osservazioni parcellari (più di 10000) sotto l'influenza di pioggia naturale o simulata ed è stata molto ben validata e documentata da numerosi studiosi (Soil and Water Conservation Society, 1993). I modelli USLE/RUSLE, oltre ad essere ancor oggi i più usati a

fini applicativi pratici e per studi territoriali, ben rappresentano i fattori principali che determinano l'erosione del suolo.

Nel presente manuale, la RUSLE viene proposta come modello di riferimento per la valutazione degli impatti dell'attività agricola sull'erosione del suolo. Nel procedere alla descrizione dei fattori dell'erosione, si forniscono esempi pratici di determinazione dei differenti parametri, in modo da consentire all'utilizzatore un impiego facile della metodologia.

Il modello RUSLE mantiene la struttura del modello USLE, come segue:

$$E = R * K * LS * C * P . \quad (1)$$

L'erosione laminare e per rigagnoli E ($t \text{ ha}^{-1} \text{ anno}^{-1}$) è proporzionale ad un parametro, detto erosività della pioggia e del ruscellamento R ($\text{MJ mm ora}^{-1} \text{ ha}^{-1} \text{ anno}^{-1}$).

Il fattore erodibilità del suolo K ($t \text{ ha h ha}^{-1} \text{ MJ}^{-1} \text{ mm}^{-1}$) rappresenta la perdita di suolo per unità di R , misurata su parcella standard lunga 22,13 m, con il 9% di pendenza, lavorata nel senso della pendenza e mantenuta a maggese nudo.

Il fattore LS (fattore topografico) accorpa il fattore lunghezza e pendenza. Il fattore L (adimensionale) tiene conto dell'effetto della lunghezza della pendice sull'erosione e rappresenta il rapporto fra le perdite di suolo relative ad una data lunghezza dell'appezzamento rispetto a quelle della parcella standard, avente lunghezza 22,13 m. Il fattore pendenza S (adimensionale) è il rapporto tra le perdite di suolo della parcella in esame e quelle della parcella standard avente pendenza del 9%.

C (adimensionale) è il fattore relativo alla coltura e alle tecniche colturali; esso varia fra 0 e 1 ed esprime il rapporto fra l'erosione di una data coltura e tecnica colturale con quella del maggese nudo.

P (adimensionale) rappresenta il fattore relativo alle pratiche per conservare il suolo dall'erosione (esso varia fra 0 e 1), come rapporto fra erosione derivante da una data pratica conservativa e quella ottenibile dal terreno nudo lavorato a rittochino.

Poiché il modello è una moltiplicazione di fattori, è sufficiente che uno dei valori inseriti sia prossimo a zero affinché anche il risultato finale diminuisca drasticamente.

Erosività della pioggia e del deflusso

Il principale fattore che determina l'erosione è l'aggressività della pioggia. Piogge brevi ma intense sono più erosive di piogge più abbondanti ma anche più deboli.

La capacità della pioggia di disintegrare gli aggregati del suolo e di renderli disponibili al trasporto dipende dalla velocità terminale delle gocce di pioggia, e quindi dall'energia nel momento in cui impattano sulla superficie del suolo.

L'energia cinetica della pioggia dipende dal diametro medio delle gocce, che varia in funzione dell'intensità della pioggia stessa. Da questa relazione Foster et al. (1981), trasformando in unità metriche l'equazione di Wischmeier e Smith (1965), hanno suggerito di utilizzare la seguente equazione per il calcolo dell'energia di periodi uniformi di pioggia di intensità $I \leq 76 \text{ mm/h}$:

$$Ec = 0,119 + 0,0873 \log I \quad (2)$$

ove l'energia cinetica Ec è espressa in $\text{MJ ha}^{-1} \text{ mm}^{-1}$.

Zanchi e Torri (1980) in studi condotti in Italia hanno dimostrato che anche la temperatura dell'aria gioca un ruolo importante nel determinare l'energia cinetica ed hanno proposto una modifica dell'equazione (2) nel seguente modo:

$$Ec = 1,86 + 11,03 \log I + 6,07 \log T \quad (3)$$

ove T è la temperatura in $^{\circ}\text{C}$.

L'erosività di un evento piovoso dipende anche dalla sua capacità di generare il deflusso superficiale. Vale a dire, occorre che all'interno dell'evento piovoso si verifichino scrosci di pioggia di intensità tale che l'afflusso ecceda la capacità di infiltrazione del suolo, in modo tale da generare deflusso.

Poiché la possibilità che si generi deflusso dipende non solo dalla pioggia, ma anche dalle condizioni del suolo, è naturale che siano stati sviluppati differenti indici di erosività validi in differenti ambienti.

Nella USLE/RUSLE il fattore R , che rappresenta l'erosività annuale della pioggia e del deflusso in una determinata località, viene calcolato mediante una metodologia messa a punto da Wischmeier e Smith nel 1965. Questi autori in prove sperimentali hanno osservato che l'erosività della pioggia era ben correlata con il parametro composito EI_{30} , determinato per ciascun evento piovoso dalla moltiplicazione dell'energia cinetica per la massima intensità di pioggia occorsa in 30 minuti (espressa in mm ora^{-1}).

È importante ricordare che per "eventi piovosi", secondo la definizione di Wischmeier e Smith (1978), si intendono episodi di pioggia separati da periodi di non pioggia ≥ 6 ore.

Per la determinazione dell' EI_{30} il pluviogramma viene diviso in tratti temporali ad intensità costante e per ciascun tratto si calcola il prodotto dei millimetri di pioggia caduti per l'energia cinetica unitaria. L'energia cinetica totale (Ec) dell'evento deriva dalla sommatoria dei prodotti dei millimetri di pioggia per l'energia cinetica, $\text{mm} * Ec$. Per ottenere l'erosività dell'evento espressa in $\text{MJ mm ha}^{-1} \text{ ora}$, si moltiplica tale sommatoria per la massima intensità di pioggia registrata nella mezz'ora durante l'evento.

Nella tabella 5.2 si mostra un esempio pratico di calcolo dell'erosività di un evento piovoso tratto da un pluviogramma.

Tabella 5.2. Esempio di calcolo dell'erosività di un evento piovoso.

Intervallo temporale (i)	mmi	In minuti mini	li=(mmi/mini) * 60	Eci=0,119 + 0,0873 log ₁₀ I
1-2	0,92	24,94	2,21	0,149
2-3	0,38	17,24	1,34	0,130
3-4	0,04	50,90	0,05	0,005
4-5	1,24	23,49	3,16	0,163
5-6	1,34	52,45	1,54	0,135
6-7	1,59	17,58	5,43	0,183
7-8	5,21	34,93	8,95	0,202
8-9	1,52	33,41	2,73	0,157
9-10	0,92	31,50	1,75	0,140
10-11	1,80	39,91	2,70	0,157
11-12	0,06	180,40	0,02	0
12-13	0,38	1,94	11,83	0,213
13-14	0,01	78,12	0,01	0
14-15	1,77	46,94	2,27	0,150
15-16	0,75	20,14	2,23	0,149
16-17	1,54	49,72	1,86	0,143
17-18	0,23	41,76	0,34	0,078
18-19	1,05	40,37	1,55	0,136
19-20	0,48	27,09	1,07	0,122
20-21	0,69	207,89	0,20	0,058
21-22	0,20	5,09	2,35	0,149
22-23	0,80	24,05	1,99	0,145
23-24	0,41	68,18	0,36	0,080
24-25	0,55	1,62	20,24	0,233
25-26	1,19	13,86	5,15	0,181
26-27	0,54	43,75	0,74	0,108
27-28	0,24	22,66	0,63	0,101
28-29	0,62	40,58	0,91	0,115
29-30	0,55	51,59	0,64	0,102
30-31	1,59	31,60	3,03	0,161
31-32	0,17	30,67	0,33	0,077

Pioggia totale (sommatoria mmi): $P = 28,78 \text{ mm}$; intensità massima mezz'ora $I_{30} = 8,95 \text{ mm/h}$ (nel tratto temporale 5-8); energia evento (sommatoria Eci): $E_c = 3,922 \text{ MJ ha}^{-1}$; erosività evento ($E_c * I_{30}$) $EI = 33,78 \text{ MJ mm ha}^{-1} \text{ ora}^{-1}$.

Nell'applicazione del modello previsionale USLE/RUSLE (soprattutto nelle applicazioni in ambiente GIS a scala territoriale) si incontra spesso la difficoltà di disporre di valori di erosività della pioggia. In questo caso, l'erosività viene stimata attraverso l'applicazione di formule che utilizzano i valori di pioggia mensile. Molti modelli utilizzano l'indice di Fournier (F) modificato da Arnoldus (1980):

$$F = \sum_{j=1}^{12} \frac{P_j^2}{P} \quad (4)$$

dove P è la pioggia media annua (mm) e P_j è la pioggia media in ciascuno dei mesi dell'anno (mm). Si riportano in tabella 5.3 le equazioni più comunemente usate per la stima dell'erosività utilizzando i dati di pioggia.

Tabella 5.3. Equazioni più comunemente usate per la stima dell'erosività.

Autore	Modello
Arnoldus (1980) – lineare	$R = (4,17 F - 152) * 17.02$
Arnoldus (1977) - esponenziale	$R = 0,302 F^{1,93}$
Renard e Freimund (1994) - F	$R = 0,739 F^{1,847}$
Renard e Freimund (1994) - P	$R = 0,0483 P^{1,61}$
Lo et al. (1985)	$R = 38,46 + 3,48 * P$
Ferrari et al. (2005) – lineare P	$R = 4,0412 P - 965,53$
Ferrari et al. (2005) – esponenziale P	$0,092 P^{1,4969}$
Yu e Rosewelt (1996)	$R = 3,82 F^{1,41}$

R è espresso in unità metriche ($MJ\ mm\ ha^{-1}\ ora^{-1}\ anno^{-1}$), P è la pioggia media annua (mm) e Pj è la pioggia media nel j-esimo mese dell'anno (mm).

Yu e Rosewell (1996) hanno dimostrato che le formule empiriche basate sulla pioggia annuale sono migliori rispetto a quelle che utilizzano l'indice di Fournier modificato.

Erodibilità del suolo

Un altro fattore importante è l'erodibilità del suolo, cioè la suscettibilità del suolo a farsi erodere, che varia in funzione della mineralogia, della composizione granulometrica, dello stato di aggregazione e di molti altri fattori fisici chimici e biologici interagenti anche lungo il profilo del suolo (sostanza organica, permeabilità, ecc.).

In linea di massima, si può affermare che il fattore più importante è la granulometria, cioè la composizione del suolo in sabbia limo e argilla, infatti l'erodibilità cresce all'aumentare del contenuto di sabbia fine e limo.

Nella USLE/RUSLE il fattore K rappresenta il tasso di perdita di suolo per unità di R, per un suolo specifico presente in una parcella rettangolare standard lunga 22,13 m (sulla linea di massima pendenza) e con pendenza 9%, tenuta libera da vegetazione e in condizione di letto di semina.

Per suoli con meno del 70% di limo + sabbia molto fine, Wischmeier e Smith (1978) hanno proposto di calcolare il fattore K (espresso in $t\ ha\ ora\ MJ^{-1}\ mm^{-1}\ ha^{-1}$ - unità di massa per area e per erosività unitarie) attraverso la seguente relazione:

$$K = 0,0013175 * [(2,1M^{1,14}(10^{-4}) (12-a)+3,25(b-2)+2,5(c-3))] \quad (5)$$

ove (M) è la percentuale di limo (0,1-0,002 mm) moltiplicata la quantità (100 - % di argilla); (a) è la percentuale di sostanza organica; (b) è il codice di struttura usato nella classificazione del suolo (1= granulare molto fine <1 mm; 2= granulare fine 1-2 mm; 3= granulare grossolana o media 2-10 mm; 4= massiva); (c) è la classe di permeabilità (1= rapida >130 mm/h; 2= da moderata a rapida 60-130 mm/h; 3= moderata 20-60 mm/h; 4= da moderata a lenta 5-20 mm/h;

5= lenta 1-5 mm/h; 6= molto lenta < 1mm/h). Se non si conosce il valore di permeabilità, si consiglia di usare la classe 4.

Il fattore moltiplicativo 0,0013175 deriva dalla divisione per 100 del valore 100K che viene stimato dall'equazione proposta da Wischmeier e Smith, nonché dalla successiva divisione per 7,594 al fine di convertire il valore di K in unità SI.

Il manuale applicativo RUSLE (Renard et al., 1997) indica anche la seguente espressione (ottenuta su un *dataset* di 225 suoli) per calcolare il fattore K in funzione delle caratteristiche granulometriche del materiale costituente lo strato erodibile superficiale:

$$K = 7,594 \left\{ 0,0034 + 0,040 \exp \left[-\frac{1}{2} \left(\frac{\log(Dg) + 1,659}{0,7101} \right)^2 \right] \right\} \quad (6)$$

dove: f_i = valore percentuale della frazione di particelle di suolo comprese nella i -esima classe; m_i = media aritmetica del diametro delle particelle comprese nella i -esima classe; infine dove Dg [mm] è dato dalla relazione

$$Dg = \exp(0,01 \sum f_i \ln m_i) . \quad (7)$$

Fattore topografico LS (lunghezza e pendenza del versante)

L'erosione del suolo aumenta con l'aumentare della lunghezza (L) e della pendenza (P) del versante. L'insieme di questi due fattori costituisce il fattore topografico LS, che rappresenta il rapporto fra la perdita di suolo da un versante avente una determinata lunghezza e pendenza e quella dalla parcella standard.

Il fattore LS nella tecnologia RUSLE è stato cambiato in modo significativo rispetto alla USLE in relazione alle caratteristiche del sito ed in modo particolare in relazione alle condizioni di consolidamento del suolo.

La RUSLE include alcune tavole per la determinazione del fattore LS ove il valore 1 corrisponde alla condizione di versante standard del 9% di pendenza e 22,25 m di lunghezza. Se la lunghezza è $\leq 91,4$ m, il fattore LS viene assunto pari a 0,1 per qualsiasi lunghezza del versante. Analiticamente, il fattore lunghezza (L) viene calcolato nel seguente modo:

$$L = \left(\frac{72,6 \cdot \lambda}{3,2808} \right)^m \quad (8)$$

dove λ = lunghezza topografica in metri (che corrisponde alla lunghezza inclinata proiettata sul piano orizzontale) dal crinale al punto ove inizia la deposizione del materiale o fino a dove il deflusso si concentra in un canale ben definito (Renard et al., 1997); m = esponente variabile con la pendenza

(Wischmeier e Smith, 1978) correlato al rapporto β fra l'erosione per rigagnoli (causata dal deflusso) e l'erosione tra i rigagnoli (causata prevalentemente dall'impatto delle gocce di pioggia), secondo la seguente equazione (Foster et al., 1977):

$$m = \beta / (1 + \beta) \quad (9)$$

dove i valori di β per i suoli moderatamente suscettibili alle due forme di erosione per rigagnoli e fra i rigagnoli si possono ricavare secondo McCool et al. (1989) nel seguente modo:

$$\beta = (\sin \theta / 0,0896) / [3,0(\sin \theta)^{0,8} + 0,56] \quad (10)$$

dove θ = angolo di pendenza in gradi. Il valore dell'esponente m può essere derivato dalla tabella 5.4. Valori medi (colonna centrale della tabella 5.4) sono tipici dei suoli in condizioni di letto di semina, mentre per i suoli fortemente disturbati (ad esempio, suoli sbancati) si dovranno utilizzare i valori alti della tabella. Valori bassi del rapporto erosione *rill/interrill* sono da attribuire a suoli ben consolidati (pascoli, superfici permanentemente inerbite, foreste, ecc.).

Tabella 5.4. Esponenti (m) secondo le pendenze e prevalenza di tipologia di erosione (*rill/interrill*). Fonte: McCool et al. (1989).

Pendenza (%)	Rapporto fra erosione per rigagnoli rispetto all'erosione inter-rigagnoli		
	Basso	Moderato	Alto
0,2	0,02	0,04	0,07
0,5	0,04	0,08	0,16
1,0	0,08	0,15	0,26
2,0	0,14	0,24	0,39
3,0	0,18	0,31	0,47
4,0	0,22	0,36	0,53
5,0	0,25	0,40	0,57
6,0	0,28	0,43	0,60
8,0	0,32	0,48	0,65
10,0	0,35	0,52	0,68
12,0	0,37	0,55	0,71
14,0	0,40	0,57	0,72
16,0	0,41	0,59	0,74
20,0	0,44	0,61	0,76
25,0	0,47	0,64	0,78
30,0	0,49	0,66	0,79
40,0	0,52	0,68	0,81
50,0	0,54	0,70	0,82
60,0	0,55	0,71	0,83

Il fattore pendenza (S) del versante viene calcolato analiticamente utilizzando le seguenti espressioni:

$$S = [10,8 \sin \theta] + 0,03, \text{ con } s < 9\% \text{ e } \lambda > 4,6\text{m} \quad (11)$$

$$S = [10,8 \sin \theta] + 0,03, \text{ con } s > 9\% \text{ e } \lambda > 4,6 \text{ m} \quad (12)$$

$$S = [3 (\sin \theta)^{0,8}] + 0.56, \text{ con } s \text{ qualsiasi e con } \lambda < 4,6 \text{ m} \quad (13)$$

dove θ = angolo di pendenza in gradi; (s) è la pendenza % e λ è la lunghezza del pendio in m.

Nella determinazione della lunghezza, non sempre è facile distinguere in campo il punto dove inizia il deflusso e quello dove il sedimento inizia a depositarsi; la Soil and Water Conservation Society (1993) suggerisce di attenersi alla seguente regola pratica: se in un versante a profilo concavo non sono presenti segni di deposizione, si può assumere che la deposizione inizi dove il gradiente è la metà del gradiente medio dell'intero profilo del versante.

La RUSLE non può essere applicata a versanti di lunghezza superiore a 341 m e comunque il fattore LS non può essere applicato ad un intero versante, ma deve essere calcolato per ciascun profilo a pendenza pressoché uniforme del versante da monte verso valle.

Se si deve calcolare un valore di erosione medio bacinale, si dovranno utilizzare tante combinazioni dei fattori della RUSLE, e quindi anche del fattore LS, quante sono le aree omogenee del bacino. Il valore medio di erosione sarà fornito dalla media pesata dei valori di erosione basata sulla proporzione di bacino che ogni combinazione di fattori rappresenta.

Nelle aree nelle quali il suolo è stato fortemente disturbato, come ad esempio nelle aree di recupero quali cave dimesse, terreni di miniera e terreni sottoposti a livellamento e scasso prima dell'impianto di colture arboree specializzate, si assume che l'erosione per rigagnoli giochi un ruolo preminente rispetto all'erosione laminare (*inter-rill*).

In queste aree i suoli sono molto erodibili a causa della bassa porosità e dell'elevata attitudine a formare croste superficiali; pertanto, la lunghezza del versante ha un effetto maggiore rispetto a quanto avviene nelle aree indisturbate, ove gli orizzonti superficiali del suolo sono consolidati e con porosità organizzata che favorisce l'infiltrazione.

Nelle aree disturbate, l'effetto della lunghezza è influenzato dalla diversa natura dei materiali che si trovano nelle aree di scavo rispetto alle aree di riporto. In modo particolare, gli orizzonti superficiali dei suoli troncati (orizzonte C) sono più suscettibili allo sviluppo di rigagnoli rispetto agli orizzonti superficiali di un suolo conservato che abbia la medesima tessitura.

In genere, prima che i suoli fortemente disturbati trovino un nuovo equilibrio e si sviluppino uno stato di aggregazione tale da renderli meno erodibili, occorrono lunghi periodi di tempo (4-20 anni). Pertanto, nella

valutazione del fattore LS delle aree soggette all'azione del bulldozer (vigneti, frutteti, ecc.) occorrerà distinguere il periodo di consolidamento da quello successivo nel quale il suolo è meno erodibile.

Nel calcolo dell'erosione si dovrà tener conto della complessità del profilo del versante che può essere a gradiente uniforme, avere forma concava o convessa, oppure presentare una morfologia mista. Già dagli studi di Meyer e Romkens (1976) è stato dimostrato che una pendice convessa è più erodibile di una pendice uniforme, in quanto la pendenza è maggiore in prossimità della parte basale del versante, ove il deflusso è maggiormente concentrato. Al contrario, un versante concavo è meno erodibile di un versante a pendenza uniforme, in quanto è più ripido nella zona del crinale, ove il deflusso è meno concentrato, mentre ai piedi del versante la pendenza più ridotta consente una diminuzione della velocità di scorrimento delle acque e, talvolta, anche la deposizione del materiale. Nel calcolo del fattore LS si dovrà quindi dividere il versante in tratti a pendenza uniforme.

Una metodologia più semplice per il calcolo del fattore LS che tiene conto della "convergenza del flusso" sui pendii a morfologia complessa, molto utilizzata soprattutto nelle applicazioni GIS, è quella che si basa sull'"area drenata a monte" UCA (*Upslope Contributing Area*) (Moore e Burch, 1986; Mitsova et al., 1995; 1996; Desmet e Goovers, 1996). L'UCA è l'area dalla quale l'acqua fluisce in una data cella del *grid*. Se il DEM (modello digitale del terreno) ha una risoluzione adeguata, il valore di quest'area può essere approssimato al numero di celle del *grid* che la compongono per la superficie della cella (Moore e Burk, 1986). Varie esperienze ed alcuni studi effettuati a riguardo (Zhang e Montgomery, 1994) indicano che risoluzioni comprese tra i 2 m e i 20 m sono quelle più appropriate per aree con morfologia complessa.

Le modifiche qui utilizzate per il calcolo del fattore LS sono derivate da Desmet e Goovers (1996). La forma dell'equazione per il calcolo del fattore LS in un punto $r = (x,y)$ su un pendio è (Mitsova et al., 1996):

$$LS(r) = (m+1) (A_r / a_0)^m (\sin b_r / b_0)^n \quad (14)$$

dove A_r = area drenata a monte di un punto facente parte di una data cella del Grid; b_r = pendenza (gradi); $a_0 = 22,13$ m e $b_0 = 0,0896$ sono i parametri della parcella standard della USLE; l'esponente m varia fra 0,1 e 0,6 in funzione dell'interazione tra i differenti tipi di flusso e le relative forme di erosione. In presenza di flusso diffuso, il gradiente e la curvatura verticale giocano un ruolo prevalente sull'erosione del terreno rispetto all'effetto del flusso, quindi è consigliato usare valori minimi di m ($m = 0,1$). Per il flusso laminare e incanalato (che rappresenta la condizione più frequente determinata dalla variabilità spaziale dei tipi di terreno), si utilizza il valore $m = 0,4$ (Moore e Burch, 1986). Quando il flusso è prevalentemente concentrato in rigagnoli e burroni (ad esempio, nelle zone disturbate dagli sbancamenti) è consigliabile utilizzare valori dell'esponente $m = 0,6$. Nelle zone con scarsa o assente

copertura vegetale o arate si potrà utilizzare un valore di $m = 0,4$. Nelle zone con buona copertura vegetale permanente (bosco, pascolo, prati stabili, inerbimenti pluriennali, ecc.) dove il suolo non sviluppa rigagnoli, l'esponente potrà assumere un valore $m = 0,1$.

Nelle applicazioni GIS che utilizzano il software GIS Arcview della Esri Inc. versione 3.2, i calcoli possono essere effettuati tramite la “*Hydrologic Extension*” ed il modulo *Spatial Analyst* a partire dal DEM (Engel, 1999a, 1999b; Mohamed Rinos et al., 2001; Mitsova e Brown, 2002).

Dopo aver generato il grid “*flow accumulation*”, il calcolo del fattore LS viene effettuato per ogni punto, applicando la seguente equazione in ambiente raster bidimensionale:

$$LS = (F * C/22,13)^{0,4} * (\sin S * 0,0896)^{1,3} \quad (15)$$

dove F è il tema *flow accumulation* espresso come numero di celle del *grid* che derivano dalla procedura di delineazione dei bacini; C è la dimensione della cella (si consiglia di generare un raster con risoluzione 5 metri); S è la pendenza in gradi.

Copertura del suolo e gestione delle colture

Il fattore copertura e gestione “C” rappresenta l'effetto sulla perdita di suolo della vegetazione, della copertura del suolo, della biomassa radicale, dei residui incorporati, della rugosità di superficie, dell'umidità del terreno, della gestione del suolo e delle pratiche gestionali annuali di lotta all'erosione. Il fattore C è il rapporto fra la perdita di suolo in presenza di una determinata coltura/gestione del suolo e l'erosione che si otterrebbe dalla parcella standard in condizioni di maggese nudo (letto di semina nudo). Il fattore C è di notevolissima importanza nella valutazione dell'impatto dell'agricoltura sul suolo, essendo relativo al tipo di coltivazione e di gestione. Poiché l'erosione varia con il variare dell'erosività della pioggia e della morfologia della parte aerea delle piante, nel definire il valore annuale di C dovranno essere considerati i cambiamenti nella morfologia della pianta durante l'anno e gli effetti della successione colturale, del livello di rendimento della coltura (da cui dipende anche la quantità di residui lasciati sul suolo), della lunghezza del periodo di crescita, delle pratiche agricole, della gestione dei residui e della possibile distribuzione delle piogge per una data stazione (Schwab et al., 1981). L'azione mitigatrice della copertura vegetale riguardo alla pioggia varia quindi in funzione del complesso di pratiche e condizioni che determinano il sistema agricolo.

Nella USLE, Wischmeier (1975) e Mutchler et al. (1982) hanno indicato che l'impatto della coltura e della gestione agricola sull'erosione può essere diviso in sotto-fattori per calcolare i rapporti di perdita di suolo per ogni periodo del ciclo vegetativo-culturale e l'erosione attesa della parcella standard.

Nella RUSLE i fattori per il calcolo del rapporto di perdita di suolo sono stati modificati da Laflen et al. (1985) e Weltz et al. (1987) e si riferiscono:

- 1) all'uso del suolo precedente alla coltura (PLU);
- 2) alla copertura del suolo determinata dalla parte aerea delle piante (CC);
- 3) alla copertura a contatto del suolo (SC);
- 4) alla rugosità (SR);
- 5) all'umidità del suolo (SM).

Basandosi sulle nuove descrizioni della coltura e dell'influenza delle pratiche agricole sulle perdite di suolo, Laflen et al. (1985) hanno proposto il calcolo dei rapporti di perdita di suolo nel seguente modo:

$$SLR = PLU - CC * SC * SR - SM \quad (16)$$

dove SLR è il rapporto di perdita di suolo (*soil-loss ratio*) per una data condizione. Questo valore dipende dal sottofattore PLU relativo all'uso del suolo precedente (*prior land use*), che a sua volta dipende dal consolidamento raggiunto dal suolo nel precedente periodo, dai residui e dalla massa radicale della coltura precedente incorporata nel suolo e dal decadimento nel tempo di questa biomassa in funzione della temperatura e dell'umidità.

Il fattore SLR dipende anche da: sottofattore CC, cioè dalla copertura esercitata dalla parte aerea delle piante (*canopy-cover*); sottofattore SC, vale a dire dalla copertura a contatto del suolo (*surface-cover*); sottofattore rugosità superficiale SR (*surface-roughness*); sottofattore umidità del suolo SM (*soil-moisture*).

Una volta diviso il periodo colturale in intervalli di 15 giorni (separando i mesi in due parti: dal primo al quindicesimo giorno e dal sedicesimo alla fine del mese) si calcolano i relativi valori SLR. Ciascun valore SLR verrà moltiplicato per la corrispondente percentuale di R annuale (Wischmeier e Smith, 1978) relativa alla quindicina. Per ottenere il C medio annuale relativo alla coltura, si dovrà dividere la sommatoria dei suddetti prodotti per la percentuale totale del valore annuale di EI relativo all'intero periodo di tempo considerato, come mostrato nella seguente equazione:

$$C = \frac{\sum_{i=1}^n (SLR)_i \cdot R_i}{\sum_{i=1}^n R_i} \quad (17)$$

dove SLR_i = SLR per l'i-esima quindicina; R_i = Fattore erosività (EI) per la i-esima quindicina.

L'utilizzatore della metodologia RUSLE dovrà effettuare una interpolazione per ricavare i valori R su base quindicinale, qualora disponga solo dei dati mensili di erosività della pioggia.

Sottofattore PLU: uso del suolo precedente

Il fattore SLR è di difficile calcolo nell'ambiente italiano, in quanto mancano studi specifici per la sua determinazione. In mancanza di dati, dai valori che si possono desumere in letteratura (Rosewell e Edwards, 1988) si suggerisce di adottare un valore fisso pari a 0,7.

Sottofattore CC: copertura del suolo da parte della chioma delle piante

Il sottofattore *crop canopy cover* CC può assumere valori fra 0 e 1 ed esprime l'effetto mitigante della copertura del suolo, dovuto alla chioma delle piante, nella riduzione del distacco del suolo a causa dell'azione battente delle gocce di pioggia. Esso può essere calcolato nel seguente modo:

$$CC = 1 - F_c e^{-0,33H} \quad (18)$$

dove F_c è la frazione del suolo coperta dalla chioma delle piante (ad esempio, 45% = 0,45), determinata per ogni stato di sviluppo delle piante. L'altezza della chioma H (mm) è stimata per ogni momento considerato della stagione di crescita attraverso l'interpolazione lineare da 0 (quando il LAI è 0) alla massima altezza della pianta (quando il LAI è al massimo).

Dopo il raccolto, il valore F_c delle stoppie varia con la coltura e si può assumere pari a 0,8 per i cereali a paglia, 0,5 per il mais e il sorgo e 0,1 per le altre colture. Nel periodo in cui il suolo è lavorato e prima della semina, il valore di CC è pari a 0.

Nelle tabelle 7.5 e 7.6 si riportano alcuni valori per l'applicazione della formula di stima del sottofattore CC tratti dall'Agricultural Handbook 703 (Renard et al., 1997).

Tabella 5.5. Superficie del suolo coperta dalla chioma e altezza di caduta delle gocce dalle chiome per le più importanti colture (da Agricultural Handbook 703, Renard et al., 1997).

Giorni dalla semina	Superficie del suolo coperta dalla chioma						Altezza di caduta delle gocce dalle chiome					
	%						m					
	Mais	Soia	Cotone	Sorgo	Cereali a paglia semina autunnale	Cereali a paglia semina primaverile	Mais	Soia	Cotone	Sorgo	Cereali a paglia semina autunnale	Cereali a paglia semina primaverile
15	5	5	5	5	5	10	0,030	0,030	0,030	0,030	0,030	0,030
30	10	20	15	10	20	35	0,152	0,061	0,061	0,152	0,061	0,091
45	50	40	35	50	35	60	0,305	0,152	0,152	0,305	0,061	0,244
60	80	70	55	80	35	90	0,518	0,305	0,305	0,457	0,061	0,396
75	100	100	85	100	35	100	0,762	0,396	0,427	0,610	0,061	0,457
90	100	100	100	100	35		0,914	0,488	0,549	0,671	0,061	
105	100	90	100		35		0,914	0,488	0,549	0	0,061	
120	100	50	60		35		0,914	0,488	0,549	0	0,061	
135	100	35	20		35		0,914	0,488	0,549	0	0,061	
150	90				35		0,914	0	0	0	0,061	
165	70				35		0,914	0	0	0	0,061	
180					40		0	0	0	0	0,152	
195					60		0	0	0	0	0,305	
210					90		0	0	0	0	0,396	
225					100		0	0	0	0	0,457	
240					100		0	0	0	0	0,457	

Tabella 5.6. Superficie del suolo coperta dalla chioma e altezza di caduta delle gocce dalle chiome per le più importanti colture foraggere (da: Agricultural Handbook 703, Renard et al., 1997).

Specie pratensi alla maturità	Superficie del suolo coperta dalla chioma (%)	Altezza media di caduta delle gocce dalle chiome (m)
<i>Paspalum dilatatum</i>	95	0,030
<i>Cynodon dactylon</i>	100	0,061
<i>Poa spp.</i>	100	0,030
<i>Bromus spp.</i>	100	0,030
<i>Festuca spp.</i>	100	0,030
<i>Dactylis glomerata</i>	100	0,030
<i>Phleum pratense</i>	95	0,030
<i>Medicago spp.</i>	100	0,061
<i>Trifolium repens</i>	100	0,061
<i>Trifolium pratense</i>	100	0,030

Sottofattore SC: copertura a diretto contatto del suolo

La copertura a diretto contatto del suolo da parte di residui della vegetazione precedente (sottofattore SC) determina una riduzione dell'erosione poiché diminuisce sia la superficie esposta all'azione battente della pioggia, sia la capacità di trasporto da parte del deflusso, causando anche la deposizione negli avvallamenti dei materiali erosi (Laflen, 1983). Questo sottofattore è espresso dalla seguente formula:

$$SC = e^{\left[-b \cdot S_p \cdot \left(\frac{6,1}{R_u} \right)^{0,08} \right]} \quad (19)$$

dove b è un coefficiente empirico che indica la capacità della copertura di superficie nel diminuire l'erosione e dipende molto dal tipo di processo erosivo prevalente; R_u è la rugosità superficiale. Ai fini pratici di questo manuale si consiglia di attribuire un valore $b = 0,05$ quando è prevalente l'erosione per rigagnoli come, ad esempio, nelle aree molto disturbate (livellamenti, zone soggette al rapido scioglimento delle nevi, irrigazione). Si attribuirà un valore $b = 0,035$ per le condizioni tipiche delle colture agrarie. Per le aree pascolive a scarsa vegetazione (pascoli degradati) si porrà $b = 0,039$. S_p è la percentuale della superficie del suolo coperta da residui e può essere stimata dalla seguente relazione:

$$S_p = 100 \cdot \left[1 - e^{(-\alpha \cdot B_s)} \right] \quad (20)$$

dove α è il rapporto dell'area coperta da un frammento di residuo rispetto alla massa del residuo medesimo e B_s è il peso secco del residuo. Per facilitare l'applicazione della formula si riportano in modo semplificato (tabella 5.7) i valori dei parametri α e B_s , desunti dalla tabella 5-1 dell'Agricultural Handbook 703 (Renard et al., 1997).

La rugosità superficiale prima della lavorazione ad una determinata data R_u è definita dalla seguente equazione:

$$R_u = 6,1 + [D_r \cdot (R_i - 6,1)] \quad (21)$$

dove R_i è la rugosità iniziale (mm) prodotta dalla lavorazione precedente. Pertanto, R_u è la rugosità (scabrezza del terreno) residua dopo un certo tempo dalla lavorazione. D_r è un coefficiente adimensionale di decadimento della rugosità al passare del tempo dalla lavorazione, determinato nel seguente modo:

$$D_r = e^{\left[0,5 \cdot (-0,14 \cdot P_t \cdot 0,03937) + 0,5 \cdot \left(-0,012 \cdot \frac{EI_t}{17,02} \right) \right]} \quad (22)$$

Tabella 5.7. Parametri α e B_s per il calcolo della percentuale della superficie del suolo coperta da residui.

COLTURA	α	B_s
medica	0,00550	650
bromo	0,00550	650
mais	0,00038	950
cotone	0,00022	1600
avena	0,00059	600
arachide	0,00030	1200
segale	0,00055	650
sorgo	0,00036	1000
soia	0,00059	600
girasole	0,00024	1500
tabacco	0,00036	1000
frumento	0,00059	600

Sottofattore SR: rugosità (scabrosità) superficiale del suolo

La scabrezza della superficie del suolo influenza l'erosione sia direttamente, (Cogo et al., 1984) diminuendo la velocità del deflusso e riducendo la sua capacità di trasporto, sia indirettamente, agendo sull'efficacia dei residui colturali nel proteggere il suolo. Essa viene considerata nel fattore C attraverso il sottofattore SR (*Surface Roughness*) ed è definita come la deviazione standard delle quote della superficie del suolo depurate dai cambiamenti della superficie dovuti alla pendenza o alle depressioni non casuali (tracce lasciate dal trattore, solchi effettuati dall'uomo, ecc.). Un'alta rugosità della superficie incrementa l'infiltrazione e diminuisce il grado di sigillamento del suolo dovuto all'impatto delle gocce (Sumner e Stewart, 1992). Al contrario, un suolo finemente amminutato, o addirittura polverizzato da eccessive lavorazioni, sarà soggetto a sigillare velocemente e conseguentemente ad avere bassi tassi di infiltrazione, generando deflusso superficiale.

La scabrezza dipende principalmente dall'attrezzo agricolo utilizzato per la lavorazione, ma anche dalla velocità del trattore e dalle condizioni del suolo prima della lavorazione (tipo di lavorazione effettuata in precedenza, umidità, consolidamento, sostanza organica, uso del suolo precedente, ecc.). La condizione base, cui corrisponde un valore $SR = 1$, si riferisce a un suolo sul quale sia presente una coltivazione in fase di crescita nel quale la zollosità del letto di semina è stata stemperata da piogge di intensità moderata. Alla fine del ciclo colturale, si assume che SR sia diminuito fino al valore 0,24 a causa della normale gestione agricola e dell'azione della pioggia.

Tabella 5.8. Valori dei parametri per le lavorazioni del suolo e per altre operazioni agricole (rielaborato dai dati di Renard et al., 1997).

TIPO DI ATTREZZO / OPERAZIONE	Rugosità iniziale R_i mm	Residui lasciati sulla superficie %	Profondità interramento residui cm	Superficie del suolo disturbata %
Aratura con aratro a versoio	48,26	5	20,3	100
Discatura pesante (aratura a disco)	48,26	35	15,2	100
Dischi su due file a angolatura a "V" speculare	20,32	50	10,2	100
Ripper pesante (ripuntatore)	30,48	80	7,6	20
Discatura (1 solo passaggio)	30,48	30	10,2	100
Estirpatore/coltivatore pesante con organi lavoranti a punta triangolare	30,48	70	15,2	100
Estirpatore/coltivatore pesante con organi lavoranti a scalpello	38,1	60	15,2	100
Estirpatore/coltivatore pesante con organi lavoranti a palette ricurvi	48,26	45	15,2	100
Estirpatore/coltivatore non pesante su tutta la superficie	17,78	75	7,6	100
Estirpatore/coltivatore non pesante lavorazione a righe	17,78	80	5,1	85
Estirpatore/coltivatore pesante per formazione di solchi con organi lavoranti a punta triangolare	20,32	20	10,2	100
Estirpatore/coltivatore non pesante per lavorazione ridge (conservazione dei solchi della coltura precedente)	17,78	40	5,1	90
Erpice a denti	10,16	80	5,1	100
Erpice a aghi	10,16	85	5,1	100
Semina con doppio disco aprisolco	10,16	90	5,1	85
Semina con assolcatura profonda	12,7	70	7,6	90
Semina senza lavorazione con aprisolco di semina	10,16	80	5,1	60
Semina senza lavorazione con aprisolco di semina su sodo	7,62	90	5,1	20
Fertilizzazione sotterranea anidra con iniettore a lama	15,24	80	5,1	15
Iniettore di liquame (*)	38,1	50	15,2	40
Semina su stoppia con dischi non inclinati	10,16	85	5,1	15
Seminatrice (pneumatica) a righe	10,16	90	5,1	15
Barra diserbante (**)	10,16	90	5,1	100
Fresatrice	10,16	85	5,1	100

(*) L'iniettore è preceduto da disco assolcatore e seguito da dischi per ricoprire il solco ove è stato iniettato il liquame.

(**) L'attrezzo è costituito da una barra ruotante orizzontale con movimento inverso alla direzione di marcia e che lavora a pochi cm sotto la superficie del suolo. Viene usata pre-semina e può essere accoppiata, precedendolo, ad un erpice ad aghi.

Il sottofattore SR viene calcolato secondo la seguente espressione:

$$SR = e^{[-0,026(R_u-6,1)]} \quad (23)$$

dove R_u è la rugosità superficiale prima dell'operazione agricola, già esaminata precedentemente nel testo.

Per suoli fortemente disturbati dal calpestamento animale si attribuisce un valore $SR = 0,24$.

Poiché molti strumenti di lavorazione, in particolare quelli appositamente realizzati per le lavorazioni conservative, agiscono solo su alcune parti del suolo, le parti che non sono state interessate dalla lavorazione mantengono il medesimo valore di R_u precedente la lavorazione alla data considerata. In questo caso, la rugosità media R_u subito dopo la nuova lavorazione verrà data dalla combinazione della rugosità delle zone di nuova lavorazione con la rugosità delle zone escluse dalla lavorazione. Pertanto, la rugosità netta R_n dopo la nuova lavorazione sarà data da:

$$R_n = R_a * F_d + R_u * F_u \quad (24)$$

dove F_d e F_u sono rispettivamente la percentuale della superficie disturbata e di quella indisturbata (la loro somma è uguale a 1).

Per la misura della rugosità del suolo, si veda il capitolo 6 del presente manuale.

Sottofattore SM: umidità del suolo

L'umidità del suolo influenza l'infiltrazione e conseguentemente il deflusso e l'erosione, pertanto essa viene considerata nel fattore C della RUSLE.

Poiché anche in Italia, come negli USA, l'umidità del suolo è alta quando si verificano eventi erosivi e durante il periodo di crescita della maggior parte delle piante (vale a dire: in inverno e in primavera inoltrata), per tale periodo si consiglia di assegnare il medesimo valore fisso $SM = 1$ suggerito per il territorio statunitense.

Per i cereali a paglia seminati in primavera si utilizzerà un valore $SM = 0,75$. Per le colture ad apparato radicale molto superficiale si applicherà un valore $SM = 0,5$. Per le leguminose a semina primaverile il valore sarà pari a $SM = 0,67$, ed infine per il maggese nudo si dovrà considerare un valore $SM = 0$ (Renard et al., 1997).

Valutazione approssimativa del fattore C

Spesso nelle applicazioni del modello RUSLE in ambiente GIS vengono operate notevoli semplificazioni e attribuzioni arbitrarie riguardo ai valori dei parametri. Quando occorra un valore medio annuo del fattore C, si possono utilizzare valori tratti dalla copiosa letteratura scientifica. Si sottolinea

comunque l'importanza di verificare tali valori, adattandoli al caso specifico, al fine di evitare semplificazioni ed errori grossolani.

Fattore P: pratiche di controllo dell'erosione

Il fattore P è il rapporto di perdita di suolo ottenibile in presenza di una sistemazione idraulico-agraria e la parcella standard coltivata a rittochino. Questo fattore consente di valutare gli effetti sull'erosione della coltivazione a strisce livellari (*strip-cropping*), del terrazzamento, del drenaggio profondo, dell'orientamento della lavorazione (ad esempio, lavorazione ad andamento lungo le curve di livello), ecc.

Per la lavorazione e la semina secondo le curve di livello (a girapoggio o "*contour farming*") e per le colture a fasce livellari (*strip-cropping*), il fattore P può essere calcolato utilizzando i valori tabellari di Wischmeier e Smith (1978).

Accuratezza

Yoder et al. (2001) hanno fornito un interessante quadro sintetico dell'accuratezza di stima dei fattori della RUSLE in funzione delle condizioni ambientali e di campo. Se ne riporta una sintesi nella tabella 5.9, dalla quale è possibile rendersi conto dell'affidabilità della previsione e delle condizioni limite oltre le quali sarebbe necessario esporre i risultati accompagnandoli da un commento che inviti alla prudenza nell'interpretazione.

È comunque importante sottolineare che la valutazione dell'erosione attraverso la metodologia RUSLE è riferita al rischio medio annuale su scala pluriennale e non rappresenta la quantificazione dell'erosione attuale che si sarebbe dovuta osservare in un determinato anno per il quale, a posteriori, si conosca l'erosività della pioggia.

Tabella 5.9. Quadro sintetico dell'accuratezza di stima dei fattori della RUSLE (Yoder et al., 2001).

Fattore	Range validità	Accuratezza
R		Accurata
K		Ottimale per suoli a tessitura media (franchi), moderata per suoli a tessitura fine, accettabile per suoli a tessitura grossolana, non affidabile per suoli organici. La presenza di scheletro in superficie determina un impatto rilevante su questo fattore
	0 – 15 m	Moderata
	15 - 90 m	Ottimale (la maggior parte dei dati sperimentali sono stati ricavati in questo range)
L	90 - 180 m	Accettabile
	180 – 300 m	Povera
	> 300 m	Inaccettabile
	0 - 3%	Moderata
	3 - 20%	Ottimale
S	20 - 35%	Moderata
	> 35%	Accettabile (su queste pendenze si possono verificare movimenti di massa che non sono predetti dal modello RUSLE)
	< 0.01	Povera (incertezza legata a fattori di superficie che fanno variare la copertura superficiale del suolo)
C	0,01 – 0,05	Moderata (incertezza legata a fattori di superficie che fanno variare la copertura superficiale del suolo)
	0,05 – 0,4	Ottimale (incertezza legata a fattori di superficie che fanno variare la copertura superficiale del suolo)
	0,4 - 1	Buona (incertezza legata a fattori di superficie che fanno variare la copertura superficiale del suolo)
	< 0.5	±70% (i fattori specifici del sito determinano una forte incertezza di questo fattore e una notevole variabilità dell'erosione, soprattutto per eventi piovosi intensi)
P		±35% (i fattori specifici del sito determinano una forte incertezza di questo fattore e una notevole variabilità dell'erosione, soprattutto per eventi piovosi intensi)
	0,5 – 1	

5.3. Riepilogo dei modelli di stima dell'erosione idrometeorica

Nella tabella 5.10 si riporta un quadro sinottico di alcuni modelli di stima dell'erosione e delle loro caratteristiche.

Tabella 5.10. Modelli più conosciuti di stima dell'erosione.

MODELLI	Empirici/ basati	Eventi Singoli/Continui	Campo/Bacino/ Landscape/Regionali	Richiesta di dati Bassa/Media/Alta	Complessità Bassa/Media/Alta	Integrazione GIS Bassa/Media/Alta	Difficoltà d'uso Bassa/Media/Alta
ACRU (New e Schulze, 1996)	E	C	C/B	A	A	B	A
AGNPS e AGNPS-UM (Young et al., 1989).	E	S/C	C/B	M	B	A	B
AGQA (Ciccacci et al., 1987)	F	C	B/R	B	B	A	B
ANSWERS (Beasley et al., 1980)	F	S	C/B	M	M	A	M
ARMSED (Riggins et al., 1989)	F	S	B	A	A	B	A
CASC2D (Julien e Sagharian, 1991).	F	S/C	B	M	M	A	B
CORINE (Briggs e Gordiano, 1995)	E	C	R	B	B	A	B
CREAMS (Knisel, 1980)	F	S/C	C	A	M	B	A
CSEP (Kirkby e Cox, 1995)	F	C	B/R	B	M	M	M
EGEM (Woodward, 1999)	E	S/C	B	A	M	A	M
EMSS (Watson et al., 2001)	E/F	S	B	M	A	A	M
EPIC (Sharpley e Williams, 1990)	E	C	C	M	M	B	M
EROSION3D (Werner et al., 1993)	F	S	C/B	A	A	A	M
EUROSEM (Morgan et al., 1993)	F	S	C/B	A	A	B	M
GLEAMS 2.1 (Knisel, 1993)	F	C	C	A	M	M	A
GUEST (Misra e Rose, 1996)	F	S	C	A	A	B	A
HSPF (Walton e Hunter, 1997)	F	S	B	A	A	M	A
IHACRES-WQ (Jackeman et al., 1990)	F	S	B	M/A	M/A	M	A
IQQM (Simons et al., 1996)	F	S	B	A	A	M	A
KINEROS e KINEROS2 (Woolhiser et al., 1990)	F	S	C/B	A	M	B	M
LASCAM (Viney e Sivapalan, 1999)	F	S	B	A	A	M	A
LISEM (Jetten et al., 1999)	F	S	C/B	A	A	A	A
MEDRUSH (Kirkby, 1998)	F	C	B	A	A	A	M
Morgan-Morgan-Finney (Morgan, 2001)	F	S/C	C/B/L	M/A	M/A	A	M/A
MULTSED (Simons et al., 1980)	F	S	B	A	A	B	A
MUSLE (Williams, 1975)	E	S	C/B	M	B	B	M
PERFECT (Littleboy et al., 1992)	F	S	B	A	A	M	A
PESERA (Gobin e Govers, 2001)	E/F	S/C	B	M	M	A	M
PISA (Bazzoffi, 1987; Bazzoffi e Van Rompaey, 2003)	F	C	B	B	B	A	B
PSIAC (PSIAC, 1968)	E	C	L	B	B	M	A
RUSLE (Renard et al., 1991)	E	C	C/B	M	B	M	B
SEMMED (De Jong e Riezebos, 1997).	F	S	B/L	A	M	M	A
SHE (Abbott et al., 1986a; 1986b)	F	S/C	C/B	A	A	M	M
SIMWE (Mitas e Mitasova, 1998)	F	S	C/B	M	M	A	M
SPUR2 (Hanson et al., 1992a; 1992b)	F	C	C/B	M	A	B	A
SWAT/HUMUS (Arnold et al., 1995)	F	C	B/L	M	M/A	A	M
SWRRB (Arnold et al., 1990)	F	C	B	M	M	B	B
TCRP (Takken et al., 2001)	E/F	S	C/B	M	M	A	M
TOPOG (O' Loughlin, 1986)	F	S	B	A	M	M	M
USLE (Wischmeier e Smith, 1978)	E	C	C/B	B	B	M	M
USPED (Mitasova et al., 1996),	E	C	C/B	M	M	M	B
WATEM/SEDEM (Van Oost et al., 2000; Van Rompaey et al., 2001)	E/F	S/C	C/B	M	M	M	M
WEPP (Flanagan e Nearing, 1995)	F	C	C/B	M	M	B	M

5.4. Metodi di stima dell'erosione a scala regionale

La stima dell'erosione a scala regionale viene realizzata principalmente per effettuare un confronto diacronico del rischio di erosione in relazione ai cambiamenti d'uso del suolo e ai cambiamenti climatici.

La stima dell'erosione può essere effettuata attraverso diverse metodologie che vanno dalla raccolta di informazioni direttamente in campo, all'applicazione di modelli che utilizzano la stima di fattori e combinazioni di fattori che influenzano l'erosione. Fra questi ultimi, la metodologia CORINE è molto conosciuta ed usata, in quanto di facile applicazione, essendo una semplificazione molto spinta della tecnologia USLE (CORINE, 1992; Briggs e Gordiano, 1995). Essa fornisce una valutazione qualitativa dell'erosione secondo una scala di rischio crescente da 0 a 3. Nella metodologia CORINE il fattore K (erodibilità del suolo) viene stimato dalla tessitura, dalla profondità del suolo e dalla quantità di scheletro. L'erosività R viene derivata dagli indici climatici di Fournier e di Bagnouls-Gaussien. Per il fattore topografico, viene effettuata una drastica semplificazione: è considerata la sola pendenza, mentre la lunghezza del versante viene ignorata. Il fattore C viene classificato usando il database CORINE Land Cover, attraverso le due categorie: 1) suolo protetto; 2) suolo non completamente protetto.

Questi fattori vengono combinati per stimare quattro categorie di erosione potenziale e di erosione attuale. Il rischio potenziale è calcolato escludendo il fattore vegetazione e quindi identifica il rischio massimo dovuto al clima e ad alcune delle condizioni intrinseche dei suoli. Il rischio attuale, calcolato utilizzando il fattore vegetazione, indica in quale misura il rischio potenziale può esprimersi in relazione all'uso del suolo. La metodologia di stima dell'erosione CORINE può essere rappresentata dallo schema riportato in figura 5.6.

La simbologia per le classi tessiturali è quella USDA (1999), ove C = *clay*, Si = *silt*, L = *loam* e Sa = *sand*. Le classi di rischio di erosione sono: 0 = nessun rischio; 1 = rischio basso; 2 = rischio moderato; 3 = rischio elevato.

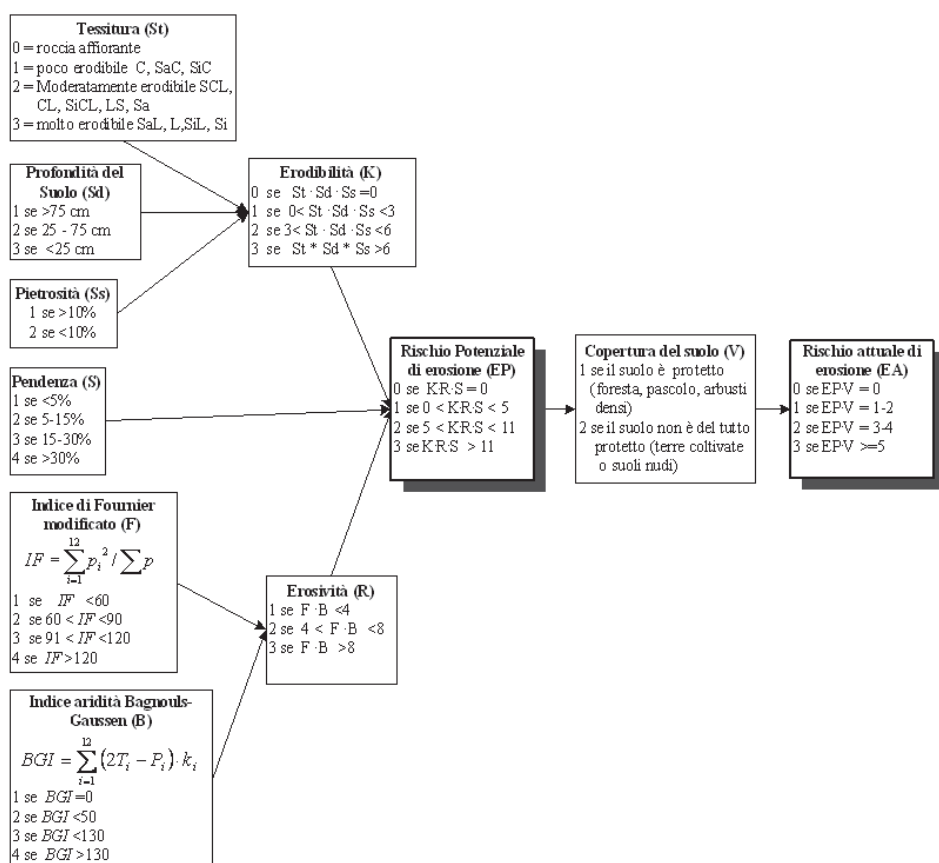


Figura 5.6. Metodologia per la stima dell'erosione CORINE.

T_i è la temperatura media dell'aria per l' i -esimo mese I ($^{\circ}\text{C}$); P_i è la pioggia totale (mm) per l' i -esimo mese; k_i è la proporzione del mese durante il quale $(2T_i - P_i) > 0$.

5.5 Erosione e traslocazione meccanica del suolo

Oltre all'erosione causata da fattori naturali, che diventano più pericolosi a causa dall'azione antropica sul suolo, esiste una forma di erosione innaturale o meccanica, ove oltre agli agenti naturali (acqua, forza di gravità) si associano o divengono preminenti le forze meccaniche impiegate dall'uomo in agricoltura attraverso macchine e strumenti agricoli.

Come già osservato, alcuni strumenti di lavorazione (ad esempio, l'aratro a versoio) determinano lo spostamento laterale del suolo (figura 5.7) con tassi di traslocazione e perdite di suolo (*tillage erosion*) che danno origine a forti mutamenti morfologici superficiali. La traslocazione laterale del suolo determina una ridistribuzione in campo del materiale assai diversa da quella causata dall'erosione idrometeorica, con perdita di suolo sulle convessità (dove

invece l'erosione idrometeorica è minima) e forti accumuli nelle concavità ove, al contrario, l'erosione idrometeorica è elevata per la concentrazione del deflusso (De Jong et al., 1983; Quine e Walling, 1993).



Figura 5.7. Traslocazione del suolo determinata dall'aratura (a sinistra) ed effetti visivi (a destra) dell'erosione da lavorazione (tillage erosion).

Anche il livellamento del suolo effettuato in preparazione all'impianto di colture specializzate, soprattutto arboree, genera notevoli tassi di traslocazione laterale del suolo. Questa pratica demolitiva genera troncamenti del profilo nelle zone di scavo, mentre nelle zone di riporto determina accumuli di notevoli masse di materiale incoerente a porosità disorganizzata (figura 5.8).

Quando si opera il livellamento del versante, il suolo si trova in una fase molto vulnerabile. Infatti, i lavori vengono generalmente svolti durante l'estate e le masse terrose smosse dai bulldozer si trovano esposte agli agenti atmosferici proprio quando si verificano i temporali estivo-autunnali più erosivi. In tali condizioni il suolo non è protetto e generalmente risulta molto povero di sostanza organica. Questa situazione si verifica comunemente in tutta Italia nella fase di impianto dei frutteti ed in quella di reimpianto.

In prove sperimentali su impianti specializzati a rittochino, su suoli franco-sabbiosi e dopo il livellamento del versante, si è osservata un'erosione del suolo di 600 t ha^{-1} , causata da soli 5 eventi piovosi (Bazzoffi et al., 1989, Bazzoffi e Chisci, 1999).

L'estendersi delle superfici interessate dai livellamenti ha reso sempre più evidenti le discontinuità morfologiche di pendio e non è difficile osservare, nella collina italiana, la presenza di piani inclinati uniformi, che contrastano con la morfologia naturale circostante e che hanno determinato una modifica profonda del paesaggio rurale.

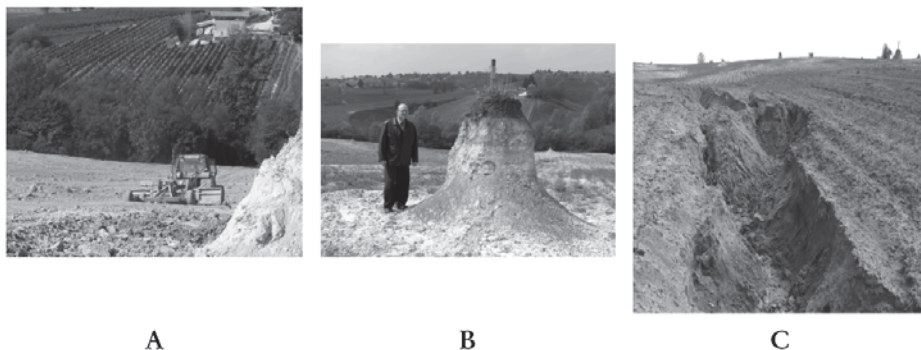


Figura 5.8. Movimento di massa meccanico (Conegliano Veneto, area del Prosecco).
 (A) ruspa in azione, (B) suolo residuale che testimonia la troncatura del profilo, (C) burrone
 formatosi nel medesimo appezzamento. (Foto Bazzoffi).

5.6. Metodi di misura diretta dell'erosione

La misura diretta è finalizzata alla determinazione dell'erosione reale (attuale) e risulta necessaria sia per le valutazioni a scala regionale, sia a fini sperimentali e quando si voglia verificare l'efficacia dei modelli previsionali.

In tabella 5.11 si riassumono i metodi più conosciuti di misura dell'erosione idrica in campo, evidenziandone la natura e la precisione ottenibile sia per il trasporto solido, sia per il deflusso, secondo la scala di applicazione e le finalità.

Nel presente manuale si descrivono solo i metodi per la quantificazione dell'erosione idrica e dell'erosione meccanica del suolo.

Tabella 5.11. Rassegna dei metodi più conosciuti di misura dell'erosione in campo.

SCALA	METODO	USO	PRECISIONE			Riferimenti bibliografici
			Volume di deflusso	Idrogramma di deflusso	Erosione	
Microparcella	Microparcelle confinate 1-2 m ² con o senza simulazione di pioggia	Studio dei parametri e dei processi	alta	alta	alta	
	Chiodi infissi nel suolo per la misura dell'abbassamento della superficie	Prima approssimazione	nessuna	nessuna	scarsa	
Pieno campo	Osservazione di markers naturali o artificiali del livello del suolo antecedente all'erosione (pietre dipinte, radici scoperte, pali infissi nel suolo)	Prima approssimazione della misura dell'erosione. Localizzazione dell'erosione e dell'erosione da lavorazione	nessuna	nessuna	scarsa	
	Canalette raccoglitrici Gerlach	Prima approssimazione della misura dell'erosione.	media	nessuna	media	
	Profilografi ad aghi e a laser	Monitoraggio preciso della rugosità del suolo, forma e sezione dei rigagnoli	nessuna	nessuna	media	
	Rilievo diacronico di sezioni profilografiche e comparazione delle modificazioni morfologiche	Monitoraggio del volume dei rigagnoli	nessuna	nessuna	media	Meyer, 1994; Hudson, 1993; USDA, 1979
	Parcelle rappresentative dei processi erosivi con campionatori del deflusso e dell'erosione (ruote Coshocron, ripartitori multi-slot)	Valutazione dell'influenza delle variazioni d'uso del suolo sull'erosione; test della validità della multiscalarità spazio temporale dei modelli previsionali	media	media	media	
Versante	Parcelle rappresentative dei processi erosivi con campionatori elettronici del deflusso e dell'erosione (Unità Fagna-Type)	Valutazione dell'influenza delle variazioni d'uso del suolo sull'erosione; test della validità della multiscalarità spazio temporale dei modelli previsionali; studio dei processi attraverso l'analisi dell'idrogramma di deflusso	alta	alta	media	
	Simulatori di pioggia su parcelle	Studio dei parametri e dei processi	alta	alta	alta	
	Rilievi di bilancio di Cs137	Valutazione indiretta dell'erosione e dell'erosione da lavorazione (tillage erosion)	nessuna	nessuna	bassa	Quine at al., 1997; Vanden Berghe e Gulinck, 1987
Burroni	Rilievo della diminuzione di livello del suolo con metodi topografici di precisione e GPS	Monitoraggio del collassamento del suolo e del cambiamento morfologico	nessuna	nessuna	media	Morgan e Nalepa, 1982
	Analisi diacronica dei modelli digitali del suolo	Analisi a scala regionale dell'influenza di livellamenti, frane ed altri movimenti di massa	nessuna	nessuna	media	Spomer e Mahurin, 1984

SCALA	METODO	USO	PRECISIONE			Riferimenti bibliografici
			Volume di deflusso	Idrogramma di deflusso	Erosione	
Bacino idrografico	Misura e campionamento dei deflussi attraverso stazioni torbiometriche alla chiusura di microbacini	Misura diretta del flusso di sedimenti e calibrazione dei modelli	media-alta		media-alta	Meyer, 1994; Hudson, 1993; USDA, 1979
	Analisi diacronica di modelli digitali del suolo ricavati da fotorestituzione di foto aeree a bassa quota	Misura dell'erosione da lavorazioni, dell'evoluzione di burroni e dei calanchi	nessuna		nessuna	Frazier et al., 1983; Bazzoffi, 2002c
	Rilievo dei sedimenti accumulatisi nei laghi artificiali in un determinato lasso di tempo	Misura diretta dell'erosione netta bacinale media annua	nessuna		nessuna	Vandaele et al., 1996; Bazzoffi, 2000

5.6.1. Misure parcellari e di bacino

Misure parcellari

Qualora si desideri eseguire misure comparative dell'erosione che consentano di evidenziare l'effetto di trattamenti diversi del suolo, occorrerà disporre di una stazione meteorologica che, come configurazione minima, disponga di un pluviografo. Normalmente queste misure comparative prevedono l'allestimento di parcelle di terreno, isolate idraulicamente, di forma rettangolare con il lato più lungo nella direzione di massima pendenza del versante. Il numero di parcelle deve essere sufficiente da consentire l'applicazione dei trattamenti secondo un disegno sperimentale che consenta la successiva elaborazione statistica dei risultati.

A titolo di esempio, si riporta in figura 5.9 un allestimento parcellare per la misura e il campionamento dell'erosione e dei deflussi equipaggiato con unità idrologiche Fagna-type (Bazzoffi, 1993) (figure 5.10 e 5.11), utilizzate con successo da diversi enti di ricerca italiani. L'apparecchiatura idrologica deve il suo nome alla località Fagna (Scarperia, Firenze) ove è localizzato uno dei centri di ricerca in campo dell'Istituto Sperimentale per lo Studio e la Difesa del Suolo del CRA e dove tale attrezzatura è stata messa a punto per la prima volta.

Nelle parcelle monitorizzate con unità Fagna-type, il deflusso superficiale viene convogliato in un cassone di sedimentazione, dove i materiali più grossolani si depositano. Il deflusso, depurato dal trasporto solido grossolano (che quindi contiene solo materiali fini in sospensione) viene convogliato in una pentola basculante. La pentola, che in condizione di riposo si trova in posizione verticale, nel riempirsi raggiunge uno stato di equilibrio instabile che la porta a rovesciarsi in avanti. Il tempo corrispondente ad ogni scarico viene registrato da un *data-logger*, consentendo così l'analisi dell'idrogramma di deflusso. Durante ciascuno scarico, un campione del deflusso entra in un piccolo foro e da qui viene convogliato in una tanica. Poiché a ciascuna

basculata corrisponde un campionamento, alla fine dell'evento si ottiene un campione integrato del deflusso totale. Il materiale che rimane nel cassone, a monte della pentola basculante, viene agitato e campionato determinando la quantità totale di sedimento intrappolato.



Figura 5.9. Impianto parcellare a Vicarello (Volterra).



Figura 5.10. Unità di misura elettronica FAGNA-TYPE parcellare.



Figura 5.11. Unità idrologica ISCO per la misura del deflusso e dell'erosione bacinale.

Misure bacinali

Il metodo più diffuso per la misura e il campionamento del deflusso e dell'erosione a scala di versante e di bacino consiste nell'installazione di un canale attrezzato nel punto più a valle del bacino da monitorare.

Attraverso strumentazioni elettroniche comandate da un *data-logger*, viene misurata l'altezza dell'acqua nel canale e, secondo differenti criteri, vengono effettuati campionamenti automatici delle acque di deflusso. Generalmente questi metodi consentono unicamente la misura del trasporto solido in sospensione. Per quanto riguarda invece i solidi trasportati sul fondo del canale o di dimensioni tali da non poter essere campionati, si dovrà procedere a stime della loro quantità al fine di determinare il trasporto solido totale.

5.6.2. Quantificazione dell'erosione con metodi morfometrici

Talvolta l'evento erosivo non è misurabile attraverso le stazioni parcellari di misura e campionamento dei deflussi. Questa condizione si verifica quando l'intensità del deflusso e la quantità trasporto solido sono tali da superare le condizioni strumentali di collaudo delle macchine idrologiche preposte alla misura e al campionamento. In questi casi si può ricorrere alla misura diretta dei volumi di suolo asportati tramite metodi morfometrici.

Per eventi che determinino lo sviluppo di rigagnoli, l'erosione può essere stimata per mezzo del rilievo del volume di scavo nei rigagnoli, di profilimetri ad aghi (Bazzoffi e Chisci, 1995) o di profilografi a laser, unitamente al rilievo della massa volumica del suolo.

Sull'area in cui si vuole misurare l'erosione, per ciascun rigagnolo (o su un campione rappresentativo di rigagnoli) si fissano sezioni di misura a distanza regolare, da valle verso monte. Su ciascuna sezione si determina l'area di scavo (figura 5.12).

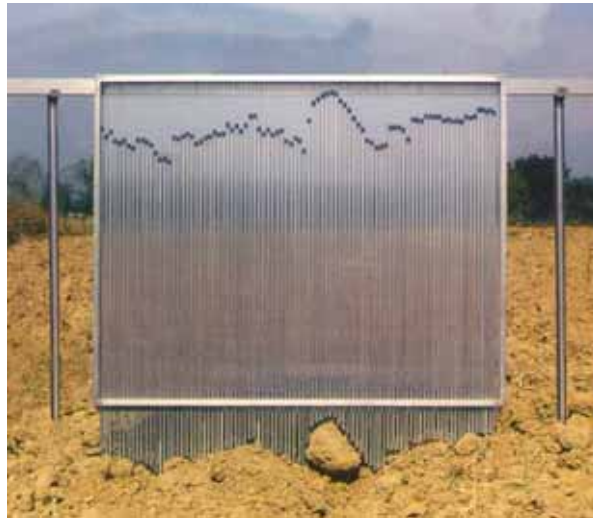


Figura 5.12. Profilografo ad aghi per la determinazione della sezione dei rigagnoli. (Foto Bazzoffi).

La misura media dell'area delle sezioni di scavo viene moltiplicata per la misura media della lunghezza delle incisioni (rilevate con foto aeree o con rilievo celerimetrico). Si tratta di un metodo grossolano che non consente la misura dell'erosione laminare. Per una trattazione più dettagliata dei rilievi si rimanda a Bazzoffi et al. (1989).

5.6.3. Misura della traslocazione del suolo e dell'erosione meccanica

La traslocazione del suolo e l'erosione meccanica sono misurabili con diversi metodi (tabella 5.11). Si descrive più approfonditamente la metodologia basata sull'analisi morfometrica diacronica dei modelli digitali delle quote del terreno, in quanto risulta più facilmente proponibile negli studi territoriali per la diffusa disponibilità di materiale aerofotogrammetrico necessario a eseguire l'analisi (figure 5.13, 5.14 e 5.15).



Figura 5.13. Rilievo dell'erosione meccanica a Pietrafitta (San Gimignano) prima del livellamento.



Figura 5.14. Rilievo dell'erosione meccanica a Pietrafitta (San Gimignano) dopo il livellamento.

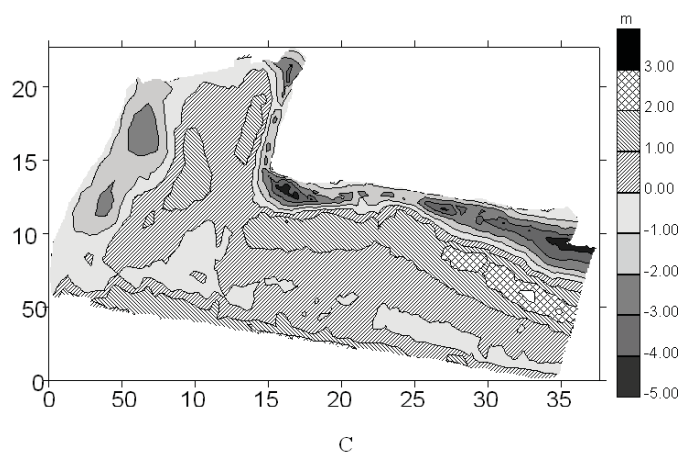


Figura 5.15. Rilievo dell'erosione meccanica a Pietrafitta (San Gimignano): analisi diacronica (sottrazione di DTM); i valori negativi e quelli positivi indicano rispettivamente gli spessori di scavo e di riporto.

Lo studio delle modificazioni della morfologia superficiale del terreno attraverso l'aerofotogrammetria è stato intrapreso da molti autori, applicandolo alla quantificazione dell'erosione del suolo (Frazier e McCool, 1981; Whiting et al., 1987) e allo studio dell'evoluzione dei rigagnoli superficiali e delle incisioni profonde (burrioni o *gully*), sia a scala di campo, sia di bacino idrografico (Thomas et al., 1986); poche sono invece le applicazioni della metodologia allo studio dell'erosione da lavorazione, comunemente conosciuta come *tillage erosion* (Vandale et al., 1996) e alla quantificazione delle masse di suolo asportate o accumulate nei lavori di livellamento per l'impianto di colture specializzate. Bazzoffi (2000; 2002a; 2002b; 2002c), prendendo spunto dalla letteratura scientifica in materia, propone una metodologia che si basa sulla comparazione di modelli digitali del terreno (DTM) del medesimo territorio ricavati o da fotorestituzione di foto aeree a bassa quota o da rilievi celerimetrici di precisione. La metodologia, rispetto alle metodologie adottate da altri autori, presenta le seguenti novità: 1) la iper determinazione dei punti topografici per il piazzamento e l'appoggio dei modelli stereoscopici; 2) l'uso di parametri d'acquisizione dei punti (vettore min/max e angolo), che normalmente sono usati per rilievi alla scala 1:1.000 e inferiori; 3) l'esecuzione di tre repliche di fotorestituzione per ciascun anno. La metodologia è stata testata in modo rigoroso attraverso differenti test statistici (Bazzoffi, 2000).

Utilizzando fotogrammi in scala 1:2.000, ottenibili con camera aerofotogrammetrica di 300 mm di focale ad un'altezza media di volo di 500 m dalla superficie del suolo, la precisione del rilievo fotogrammetrico è di circa ± 5 cm. Pertanto, il metodo consente di apprezzare con sufficiente attendibilità movimenti di massa superiori a tale valore. Più in generale, a titolo orientativo, si riportano le risultanze del lavoro di Fryer et al. (1994), i quali hanno calcolato che la precisione ottenibile sul valore delle quote per ogni fotorestituzione di foto aeree è dell'ordine di $2-3 \cdot 10^{-4}$ dell'altezza di volo.

5.7. Erosione tollerabile e valutazione del rischio ambientale connesso all'erosione

5.7.1. Erosione tollerabile

Agli inizi degli anni sessanta, Stamey e Smith (1964) hanno introdotto il concetto di "erosione tollerabile" (T) definita come la quantità di suolo superficiale che può essere asportata senza decremento della produttività delle colture agrarie. Successivamente, Sparovek e de Jong van Lier (1997) e Salviano et al. (1998) hanno espresso l'erosione tollerabile in termini di una funzione temporale che descrive il cambiamento di profondità del suolo. Questa funzione, chiamata "tempo di vita", è il tempo impiegato a raggiungere la

profondità minima del suolo necessaria a sostenere la produzione agricola, al di sotto della quale si ha un decremento di produzione.

In questo concetto di “tollerabilità”, l’erosione è funzione della velocità di alterazione della roccia (Stallard, 1995), dove i processi di trasporto rimuovono il suolo più velocemente di quanto la velocità della pedogenesi consenta di generare il suolo.

In riferimento alle ricerche condotte dall’USDA, attualmente vengono considerati accettabili tassi di erosione compresi fra 2 e 11 t ha⁻¹ anno⁻¹, in relazione alla profondità del suolo, alla fallanza nelle semine, alla diminuzione di sostanza organica del suolo e alla perdita di nutrienti.

L’EEA (1998) ha introdotto un criterio d’erosione tollerabile più rigoroso, affermando che quando il tasso di formazione di suolo è molto basso, qualsiasi perdita di suolo superiore a 1 t ha⁻¹ anno⁻¹ causa danni irreversibili in un tempo di 5-100 anni. In senso più generale, si può comunque affermare che il concetto di erosione tollerabile basato sul mantenimento della produttività è valido solo da un punto di vista economico (Grimm et al., 2001).

In tutto il mondo, le politiche agroambientali puntano sempre più a produrre benefici in termini di *performance* delle funzioni ambientali legate all’agricoltura; cercando di ridurre le esternalità negative e di aumentare quelle positive. Da questi nuovi presupposti deriva che la tollerabilità dell’erosione deve riguardare non solo gli aspetti *in situ*, ma anche gli aspetti inerenti ai costi e benefici sociali e ambientali che si producono a distanza, quali, ad esempio l’impatto dei sedimenti nel reticolo idrografico, sulla fauna selvatica, sugli insediamenti umani, sulle infrastrutture, ecc.

Se si prende in considerazione un principio “naturalistico” di precauzione, vale a dire, se ci si pone l’obiettivo della conservazione totale della risorsa suolo, si concluderebbe, per assurdo, che l’agricoltura dovrebbe essere abbandonata nelle zone collinari e montane, poiché esisterà sempre un rischio di accelerazione dell’erosione causata soprattutto delle lavorazioni del suolo. È quindi necessario trovare un compromesso fra la necessità di ridurre l’erosione al minimo e quella di consentire il mantenimento dell’attività agricola. Il punto di equilibrio non può essere raggiunto se non si conosce a fondo, a livello locale, la risorsa suolo minacciata dall’erosione.

Generalmente, l’asportazione di suolo causata dai movimenti di terra operati con i bulldozer (livellamenti) in preparazione all’impianto di colture specializzate è da considerarsi sempre sopra i limiti tollerabili se non vengono adottati provvedimenti idonei a limitarne i danni. Basti considerare che, per un valore di densità apparente del suolo pari a 1,4 t m⁻³, a 10 cm di suolo rimosso dalla ruspa (nelle zone ove il profilo del suolo viene troncato) corrispondono circa 1.400 t ha⁻¹ di perdita di suolo. Già questo valore è chiaramente sopra i limiti di tollerabilità, sia per gli effetti *in situ*, sia per gli effetti a distanza. Spesso il troncamento del profilo del suolo causato dalla ruspa raggiunge valori di alcuni metri (1 m corrisponde, se la densità apparente è 1,6 t m⁻³, a 16.000 t ha⁻¹)

e sulle aree soggette a sbancamento quasi sempre si osserva una perdita di quantità e qualità dei prodotti agricoli.

Nelle zone ove si reputa necessario effettuare il livellamento del suolo, per evitare di superare i limiti di erosione tollerabile si dovrà porre particolare cura, dopo il modellamento del versante, nel riposizionare sulla superficie il materiale terroso proveniente dagli orizzonti superficiali ed appositamente accumulato in un luogo a parte nelle prime operazioni di rusatura. Si dovranno anche applicare ulteriori pratiche conservative, per evitare che si sviluppino forme erosive incanalate (rigagnoli e burroni), soprattutto nei primi anni dopo l'impianto specializzato.

5.7.2. Rischio ambientale connesso all'erosione

Analogamente al modo nel quale viene quantificato il rischio idrogeologico dal Dipartimento della Protezione Civile (Di Rosa, 2000), anche il Rischio Ambientale Connesso all'Erosione (RAE) può essere espresso in funzione dei tre fattori: pericolosità, vulnerabilità e valore esposto. Questo modo di affrontare il problema della tollerabilità dell'erosione, per i suoi effetti *in situ* e a distanza, viene esposto per la prima volta nel presente lavoro ed evidentemente potrà essere modificato in futuro in relazione all'approfondimento delle conoscenze e ai contributi forniti da altri autori.

La relazione che definisce il rischio idrogeologico è la seguente:

$$\text{Rischio} = \text{Pericolosità} \times \text{Vulnerabilità} \times \text{Valore}.$$

Attraverso questa dipendenza, il "rischio ambientale connesso all'erosione" assume un significato diverso dal "rischio di erosione", inteso come minaccia ambientale unicamente nei riguardi della risorsa suolo.

Nel calcolo del Rischio Ambientale connesso all'Erosione (RAE), la pericolosità esprime la probabilità che in una zona si verifichi un evento di erosione di una determinata intensità, entro un determinato periodo di tempo (tempo di ritorno). La pericolosità è dunque funzione della frequenza con la quale si osserva un determinato tipo di evento di erosione.

La vulnerabilità, invece, indica l'attitudine delle componenti *in situ* (suolo) e a distanza (insediamenti umani, paesaggio, infrastrutture, ecc.) a sopportare gli effetti dannosi in funzione dell'intensità dell'erosione. La vulnerabilità s'identifica quindi con l'erosione tollerabile in quanto esprime l'attitudine del suolo a tollerare l'erosione in relazione agli effetti negativi *in situ* e a distanza.

Il valore esposto, o esposizione, indica il valore dell'elemento che deve sopportare gli effetti dell'erosione. Esso può essere valutato attraverso l'analisi economica ed economico-ambientale considerando i danni arrecati dalla produzione di sedimenti alle risorse naturali, agli ecosistemi, agli insediamenti umani e alle infrastrutture (figura 5.16), ai danni paesaggistici derivanti dalla

visibilità delle forme d'erosione, indotte o accelerate dall'uomo, che generalmente risultano fortemente antiestetiche.

Non sempre le esternalità negative sono facilmente valutabili; in questi casi è possibile esprimere l'impatto in termini di qualità, durata o irreversibilità degli effetti dell'erosione su specifiche funzioni ambientali.



Figura 5.16. Esempio d'esternalità negativa causata dall'erosione: sedimenti nell'invaso artificiale di Londa (Firenze).

Il RAE è quindi il prodotto della probabilità di accadimento di un evento di erosione per le dimensioni del danno atteso.

Ai fini della rappresentazione geografica del RAE in ambiente GIS, si può utilizzare una indicizzazione secondo i valori riportati nelle tabelle 5.12, 5.14 e 5.15. Poiché i valori sono indicizzati, la formula del calcolo del RAE diventa una somma, anziché una moltiplicazione. Pertanto, il valore calcolato assume il significato di punteggio di merito o indice, piuttosto che di valore quantitativo:

$$\text{RAE} = (\text{Indice di Pericolosità} + \text{Indice di Vulnerabilità} + \text{Indice di esternalità}) / 3 .$$

Nella formula, il valore di ciascuno dei tre indici è la media degli indici contenuti nelle tre categorie: pericolosità, vulnerabilità e esternalità, ricavabili dalle tabelle 5.12, 5.14 e 5.15. Per ciascuna tabella si dovrà scegliere (per ogni tipologia di "intensità", senza escluderne alcuna) un solo valore fra quelli proposti. Pertanto, il Rischio Ambientale connesso all'Erosione cresce con l'aumentare del valore dell'indice in un intervallo da 0 a 1. Nelle rappresentazioni geografiche è sempre possibile mostrare separatamente le

componenti del RAE, al fine di consentire la programmazione oculata degli interventi di protezione ambientale.

Nella valutazione del rischio ambientale si è ritenuto importante richiamare il principio ecologico enunciato da J. von Liebig (1840), noto come "legge del minimo". Introducendo nella definizione del Rischio Ambientale connesso all'Erosione anche il principio del "fattore limitante", mutuato dalla legge di J. von Liebig, si attribuirà sempre il valore massimo di rischio quando almeno una delle caratteristiche di pericolosità, vulnerabilità e valore sia considerata "fattore limitante" (contrassegnata con l'asterisco in tabella); vale a dire quando la caratteristica, se presente, rende non tollerabile qualsiasi tasso di erosione, anche se minimo. Nella tabella 5.12 e 5.13 si riportano gli indici di pericolosità dell'erosione, nella tabella 5.14 gli indici di vulnerabilità all'erosione e nella tabella 5.15 gli Indici di valore dei danni da erosione (esternalità negative).

Di seguito alle tabelle 5.12, 5.13, 5.14 e 5.15, si riportano due esempi di calcolo del RAE.

Nel caso non fossero disponibili osservazioni effettuate direttamente in campo dell'erosione per burroni e dell'erosione a tunnel, per rigagnoli e laminare, si attribuirà un valore complessivo di pericolosità in funzione della classificazione dell'erosione secondo Zachar (1982) e della stima del rischio d'erosione ottenuta con l'applicazione di un modello previsionale (possibilmente con verifiche a campione da fotointerpretazione o direttamente in campo) come nella tabella 5.13.

Per la valutazione dell'entità dei danni causabili dai sedimenti a terreni situati a valle, a insediamenti umani, a infrastrutture ed attività produttive e dei danni paesaggistici, si tiene conto della riduzione del danno dovuta alla rideposizione del materiale eroso all'interno del bacino idrografico (seconda parte della tabella 5.15), in funzione della distanza dalla sorgente di sedimento. I valori in tabella 5.15 derivano dai coefficienti 1 e 0,5 attribuiti rispettivamente ai "danni di notevole entità" e ai "danni di media entità", moltiplicati per il SDR (*Sediment Delivery Ratio*), calcolato secondo la formula di Yagow et al. (1998).

Tabella 5.12. Indici di pericolosità dell'erosione.

INTENSITÀ	FREQUENZA	PERICOLOSITÀ
Burroni (solchi di erosione non eliminabili con le ordinarie lavorazioni del suolo)		
Burroni presenti su terreno non rimodellato	Sempre presenti	1 *
Uno o più burroni presenti su suolo troncato da ruspatura (zone di scavo) o/e su suolo sepolto dalla ruspa (su materiale di riporto)	Sempre presenti	1 *
Burroni attualmente assenti ma presenti in passato su morfologia rimodellata dalla ruspa	Evento singolo	0,8
Burroni attualmente assenti ma presenti in passato su morfologia non rimodellata dalla ruspa	Evento singolo	0,5
Burroni su morfologia naturale o rimodellata	Sempre assenti	0
Erosione a tunnel (rigagnoli sotterranei)		
Almeno un rigagnolo a tunnel ogni 1-2 filari o ogni 5 m trasversalmente alla pendenza	Osservabile in almeno un anno ogni 5 anni	1
Almeno un rigagnolo a tunnel ogni 2-5 filari o ogni 12 m trasversalmente alla pendenza	Osservabile in almeno un anno ogni 5 anni	0,5
Scarsamente presente	Osservabile in almeno un anno ogni 5 - 10 anni	0
Presenza rigagnoli (incisioni superficiali)		
Fitta presenza di rigagnoli, compresi quelli che si sviluppano sulle tracce delle ruote/cingoli delle macchine agricole	Osservabili in almeno un anno ogni 5 anni	1
Rigagnoli osservabili anche se in presenza di inerbimento o prato o coltivazioni foraggiere, compresi quelli che si sviluppano sulle tracce delle ruote/cingoli delle macchine agricole	Osservabili in almeno un anno ogni 5 anni	1
Rigagnoli radi	Osservabili in almeno un anno ogni 5 - 10 anni	0,5
Rigagnoli	Sempre assenti	0
Erosione laminare (presenza di forme erosive a piedistallo)		
Evidenze d'erosione a piedistallo	Osservabile in almeno un anno ogni 5 anni	0,5
Evidenze d'erosione a piedistallo su suolo compattato (ad esempio, pascolo)	Osservabile in almeno un anno ogni 5 anni	0,4
Tracce d'erosione laminare	Osservabile in almeno un anno ogni 5-10 anni	0,25
Erosione laminare	Sempre assente	0

Tabella 5.13. Indici di pericolosità dell'erosione tramite stima del rischio d'erosione.

Stima erosione da modello (t ha ⁻¹ anno ⁻¹)	Classificazione	Pericolosità
>300	Catastrofica	1*
100 – 300	Molto severa	
20 – 100	Severa	1
5 – 20	Moderata	0,8
1 – 5	Debole	0,4
< 1	Insignificante	0

Tabella 5.14. Indici di vulnerabilità all'erosione.

INTENSITÀ	ATTITUDINE A SOPPORTARE GLI EFFETTI DELL'EROSIONE	VULNERABILITÀ
Parte superiore del suolo (orizzonti A + B)		
Spessore	< 30 cm	1 *
Spessore	30 - 50 cm	0,8
Spessore	50 - 100 cm	0,5
Spessore	100 - 200 cm	0,3
Spessore	> 200 cm	0
Spessore esplorabile dalle radici		
Molto sottile	profondità di radicamento ≤ 30 cm - potenzialità produttiva 20 (FAO)	1 *
Sottile	profondità di radicamento 30-60 cm - potenzialità produttiva 50 (FAO)	0,8
Abbastanza profondo	profondità di radicamento 60-90 cm - potenzialità produttiva 80 (FAO)	0,5
Profondo	profondità di radicamento 90-120 cm - potenzialità produttiva 100 (FAO)	0
Danni permanenti da lavorazione (erosione da lavorazione e sbancamenti)		
Orizzonti B e/o C esposti	suoli severamente troncati	1 *
Suolo sepolto	con materiale di riporto avente caratteristiche peggiorative	0,6
Suolo sepolto	con materiale di riporto avente caratteristiche non peggiorative	0,3
Nessuno scavo o riporto	suolo conservato	0
Substrato pedogenetico e/o roccia madre		
Litoide	pedogenesi lentissima	1 *
Sedimenti non consolidati e rocce fortemente alterate	pedogenesi lenta	0,8
Sedimenti non consolidati di notevole spessore e lavorabili	pedogenesi veloce	0
Localizzazione del suolo in aree non protette o in aree protette e aree di origine di prodotti tipici (SIC, ZPS, SIN, SIR, DOP, IGP, STG, DOC, DOCG, IGT, ecc.)		
Aree protette	pendenza del terreno > 20 %	1 *
Aree protette	pendenza del terreno 10 - 20 %	0,7
Aree protette	pendenza del terreno 5 - 10 %	0,5
Aree protette	pendenza del terreno 0 - 5 %	0
Aree non protette	pendenza del terreno > 20 %	1
Aree non protette	pendenza del terreno 10 - 20 %	0,6
Aree non protette	pendenza del terreno 5 - 10 %	0,3
Aree non protette	pendenza del terreno 0 - 5 %	0

*Se l'erosione è stata stimata da modello le categorie applicabili sono: Aree protette = 1 * e Aree non protette = 0.*

Tabella 5.15. Indici di valore dei danni da erosione (esternalità negative).

INTENSITÀ		VALORE
Fallanze vegetative e/o decadimento severo della fertilità su un'area > 50% della superficie considerata		1*
Fallanze vegetative e/o decadimento della fertilità su un'area compresa fra 30 - 50% della superficie considerata		0,8
Fallanze vegetative e/o decadimento della fertilità su un'area compresa fra 1 - 30% della superficie considerata		0,5
Nessuna fallanza vegetativa e/o decadimento della fertilità e/o affioramento di orizzonti con caratteristiche indesiderate		0
Entità dei danni causabili dai sedimenti provenienti dal sito in esame a terreni situati a valle, a insediamenti umani, a infrastrutture ed attività produttive (ad esempio, turbine idroelettriche, porti, laghi artificiali e naturali, aree protette, centri abitati, ecc.), danni paesaggistici		
Danni di notevole entità	Distanza del sito dal più vicino torrente ≤ 30 m	1 *
Danni di notevole entità	Distanza del sito dal più vicino torrente fra 30 m e 100 m	0,8
Danni di notevole entità	Distanza del sito dal più vicino torrente fra 100 m e 200 m	0,6
Danni di notevole entità	Distanza del sito dal più vicino torrente fra 200 m e 300 m	0,4
Danni di notevole entità	Distanza del sito dal più vicino torrente fra 300 m e 400 m	0,3
Danni di notevole entità	Distanza del sito dal più vicino torrente fra 400 m e 500 m	0,2
Danni di notevole entità	Distanza del sito dal più vicino torrente > 500 m	0
Danni di media entità	Distanza del sito dal più vicino torrente ≤ 30 m	0,5
Danni di media entità	Distanza del sito dal più vicino torrente fra 30 m e 100 m	0,4
Danni di media entità	Distanza del sito dal più vicino torrente fra 100 m e 200 m	0,3
Danni di media entità	Distanza del sito dal più vicino torrente fra 200 m e 300 m	0,15
Danni di media entità	Distanza del sito dal più vicino torrente >300 m	0,1
Nessun danno	-	0

Per il calcolo del Rapporto di Rilascio di Sedimenti (*Delivery Ratio*, DR) in ambiente GIS, è possibile utilizzare la formula:

$$DR = e^{(-0.4233 * N * Sf)} \quad (25)$$

dove

$$S_f = e^{(-16.1 * (r / L + 0.057))} + 0,6 \quad (26)$$

e dove N = distanza (m) dal più vicino torrente o canale del reticolo idrografico (reticolo IGM in scala 1:25000); L= N / 100; r = dislivello in metri fra il sito e torrente o canale del reticolo idrografico. S_f è una funzione della pendenza definita

da Heatwole et al. (1987). Il valore di DR non potrà essere inferiore a 0,184; se il valore calcolato di DR fosse inferiore a 0,184, si attribuirà questo valore minimo.

Esempio di calcolo del rischio ambientale connesso all'erosione (RAE)

1° caso di studio

Terreno a vigneto specializzato, localizzato in zona non compresa in area protetta o di origine di prodotti tipici. Distanza da un laghetto artificiale 50 m.

Pericolosità:

N.B. Per ciascuna delle categorie di intensità (indicate in grassetto in Tabella 5.12) si sceglie una sola risposta.

- Burroni attualmente assenti ma presenti in passato su terreno ruspat = 1
- Erosione a tunnel assente = 0
- Presenza rigagnoli radi su suolo inerbito (osservabili in almeno un anno ogni 5 anni) = 0,5
- Erosione laminare (tracce osservabili in almeno un anno ogni 5 anni) = 0,25

$$\text{Valore medio Pericolosità: } (1 + 0 + 0,5 + 0,25) / 4 = 0,44$$

Vulnerabilità:

N.B. Per ciascuna delle categorie di intensità (indicate in grassetto in Tabella 5.14) si sceglie una sola risposta.

- Spessore orizzonti A+B 45 cm = 0,80
- Spessore del suolo esplorabile dalle radici fra 60 e 90 cm = 0,5
- Substrato pedogenetico: litoide = 1*
- Pendenza > 20% in area di origine prodotto tipico = 1*

$$\text{Valore medio Vulnerabilità: } (0,8 + 0,5 + 1^* + 1^*) / 4 = 0,82^*$$

Valori (esternalità negative):

N.B. Per ciascuna delle categorie di intensità (indicate in grassetto in Tabella 5.15) si sceglie una sola risposta.

- Riduzione quali-quantitativa della produttività media (35% del vigneto, sulle zone rusgate) = 0,8
- Distanza del sito dal torrente più vicino 25 m. Notevoli danni da interrimento causabili dai sedimenti a un lago artificiale a valle = 0,8
(oppure calcolo DR con GIS = 0,8)

$$\text{Valore medio esternalità negative: } (0,8 + 0,8) / 2 = 0,8$$

$$\text{RAE} = (0,44 + 0,82 + 0,80) / 3 = 0,69^{**}$$

(il numero di asterischi indica il numero di fattori limitanti)

2° caso di studio

Terreno a pescheto specializzato localizzato in zona non protetta o di origine di prodotti tipici.

Pericolosità:

N.B. Per ciascuna delle categorie di intensità (indicate in grassetto in Tabella 5.12) si sceglie una sola risposta.

- Stima dell'erosione da modello $15 \text{ t ha}^{-1} \text{ anno}^{-1}$

Valore medio Pericolosità: = 0,80

Vulnerabilità:

N.B. Per ciascuna delle categorie di intensità (indicate in grassetto in Tabella 5.14) si sceglie una sola risposta.

- Spessore orizzonti A+B circa 120 cm = 0,30
- Spessore del suolo esplorabile dalle radici >120 cm = 0 (radici che si approfondiscono nel substrato)
- Substrato pedogenetico sedimento non consolidato (pedogenesi lenta) = 0,8
- L'appezzamento non è situato in area protetta o di origine di prodotti tipici = 0

Valore medio Vulnerabilità: $(0,3 + 0 + 0) / 3 = 0,1$

Valori (esternalità negative):

N.B. Per ciascuna delle categorie di intensità (indicate in grassetto in Tabella 5.15) si sceglie una sola risposta.

- Nessuna riduzione quali-quantitativa della produttività = 0
- Distanza del sito dal torrente più vicino 350 m. Nessun danno causabile dai sedimenti a distanza = 0

Valore medio esternalità negative: $(0 + 0) / 2 = 0$

$$\text{RAE} = (0,8 + 0,3 + 0) / 3 = 0,36$$

Nel primo caso di studio, poiché due fattori risultano essere limitanti, il valore dell'indice di rischio ambientale connesso all'erosione viene portato a 3. Tale valore può essere espresso con il numero derivante dal calcolo, seguito da un numero di asterischi pari al numero di fattori limitanti, ad esempio 0,69**.

Questa rappresentazione dell'indice consente di differenziare le situazioni nelle quali, adottando opportuni interventi agronomici, è forse possibile declassificare il fattore d'impatto "limitante" a fattore d'impatto non limitante.

Questa metodologia d'indicizzazione dell'impatto ambientale dell'erosione può essere implementata in funzione delle esigenze specifiche delle aree alle quali viene applicata, per mezzo dell'aggiunta di nuovi fattori nelle varie tabelle.

Bibliografia

- ABBOTT, M.B., BATHURST, J.C., CUNGE, J.A., O'CONNEL, P.E., RASMUSSEN, J., 1986a. *An introduction to the European Hydrological System - Systeme Hydrologique "SHE", 1: History and philosophy of a physically-based distributed modelling system*. Journal of Hydrology, 87, 45-59.
- ABBOTT, M.B., BATHURST, J.C., CUNGE, J.A., O'CONNEL, P.E., RASMUSSEN, J., 1986b. *An introduction to the European Hydrological System - Systeme Hydrologique "SHE", 2: Structure of a physically-based distributed modelling system*. Journal of Hydrology, 87, 61-77.
- ARAKEL, A.V., 1995. *Towards developing sediment quality assessment guidelines for aquatic systems: an Australian perspective*. Australian Journal of Earth Sciences, 42, 335-369.
- ARNOLD, J.G., WILLIAMS, J.R., NICKS, A.D., SAMMONS, N.B., 1990. *SWRRB: A basin scale simulation model for soil and water resources management*. Texas A&M Univ. Press, College Station, TX.
- ARNOLD, J.G., WILLIAMS, J.R., SRINIVASAN, R., KING, K.W., GRIGGS, R.H., 1995. *SWAT - Soil and Water Assessment Tool: Draft Users Manual*. USDA-ARS, Temple, TX.
- ARNOLDUS, H., 1977. *Methodology used to determine the maximum potential average annual soil loss due to sheet and rill erosion in Morocco*. FAO Soils Bull., 34, 39-51.
- ARNOLDUS, H., 1980. *An approximation of the rainfall factor in the Universal Soil Loss Equation*. In: De Boodt, M., Gabriels, D., (Ed.), *Assessment of Erosion*, John Wiley & Sons, Chichester, 127-132.
- ARPA EMILIA ROMAGNA, 2004. *Eutrofizzazione delle acque costiere dell'Emilia Romagna, rapporto 2003*. ARPA Agenzia Regionale Prevenzione e Ambiente dell'Emilia-Romagna, Ed. Regione Emilia Romagna - Assessorato Agricoltura, Ambiente e Sviluppo Sostenibile, 48.
- BAZZOFFI, P., 1987. *Previsione dell'interrimento nei serbatoi artificiali italiani- modello P.I.S.A.* Idrotecnica, L'acqua nell'Agricoltura, nell'Igiene, nell'Industria, n.1/1987, 5-17.
- BAZZOFFI, P., 1993. *Fagna-type Hydrological unit for runoff measurement and sampling on experimental plots*. Soil Technology, vol. 6, 251-259.
- BAZZOFFI, P., 2000. *Interrimento dei laghi collinari: modelli di previsione e metodologia di misura diretta*. Atti dell'Accademia dei Georgofili, anno 1999, vol. XLVI, 125-152.
- BAZZOFFI, P., 2002a. *Impact of human activities on soil loss. Direct and indirect evaluation*. Advances in GeoEcology, 35, 427-440.
- BAZZOFFI, P., 2002b. *Integrated Photogrammetric-celerimetric analysis to detect soil translocation due to land levelling*. Proc. 12th International Soil Conservation Organization Conference, Sustainable Utilization of Global Soil and Water Resources, Tsinghua Univ. Press. Lianxiang, W., Dey, W., Xiaoning, T., Jing, N., (Ed.), vol.IV, 302-307.
- BAZZOFFI, P., 2002c. *Impact of human activities on soil loss. Direct and indirect evaluation*. Advances in GeoEcology 35, 427-440.

- BAZZOFFI, P., CHISCI, G., 1995. *Fruttiviteicoltura di collina, limitazione dell'erosione e dell'inquinamento. Rischi idrologici ed erosivi*. In: Agricoltura, Mensile Assessorato Agricoltura Regione Emilia Romagna, Ott.1995, 34-36.
- BAZZOFFI, P., CHISCI, G., 1999. *Tecniche di conservazione del suolo in vigneti e pescheti della collina cesenate*. Rivista di Agronomia, (3), 177-184.
- BAZZOFFI, P., CHISCI, G., MISSERE, D., 1989. *Influenza delle opere di livellamento e scasso sull'erosione del suolo nella collina cesenate*. Rivista di Agronomia, anno XXIII, n.3, 213-221.
- BAZZOFFI, P., VAN ROMPAEY, A., 2003. *PISA model to assess off-farm sediment flow indicator at watershed scale in Italy. Agricultural impacts on soil erosion and soil biodiversity: developing indicators for policy analysis* Proc. OECD expert meeting, Rome, 25-28 March 2003, 263-272.
- BEASLEY, D.B., HUGGINS, L.F., MONKE, E.J., 1980. *ANSWERS: A model for watershed planning*. Transactions of the ASAE 23(4), 938-944.
- BRIGGS, D.J., GORDIANO, A., 1995. *CORINE Soil Erosion report*. European Commission, 124.
- BUFFONI, L., BRUNETTI, M., MANGIANTI, F., MAUGERI, M., MONTI, F., NANNI, T., 2003. *Ricostruzione Del Clima Italiano Negli Ultimi 130 Anni E Scenari Per Il Xxi Secolo*. In: Atti workshop "CLIMAGRI - Cambiamenti Climatici e Agricoltura", Cagliari, 16-17 Gennaio 2003, 7-14.
- CICCACCI, V., FREDI, P., LUPIA CALMIERI, E., PUGLIESE, F. 1987. *Indirect evaluation of erosion entity in drainage basins through geomorphic, climatic and hydrological parameters*. Int. Geomorph, 1986.
- COGO, N.D., MOIDENHAUER, W.C., FOSTER, G.R., 1984. *Soil loss reduction from conservation tillage practices*. Soil Sci. Soc. Am. J., 48, 368-373.
- CORINE, 1992. *Soil erosion risk and important land resources in the southern regions of the European Community*. EUR 13233, Commission of the European Communities, Luxembourg.
- DE JONG, E., BEGG, C.B.M., KACHANOSKI, R.G., 1983. *Estimates of soil erosion and deposition for some Saskatchewan soils*. Can. J. Soil Sci., 63, 607-617.
- DE JONG, S.M., RIEZEBOS, H.T., 1997. *SEMMEDE: A distributed approach to soil erosion modelling*. In: Proceedings Remote Sensing 1996, Integrated Applications for Risk Assessment and Disaster Prevention for the Mediterranean, 20-23 May 1996, A.A. Balkema Publishers, Spiteri, A., (Ed.), Rotterdam, 1997.
- DESMET, P.J.J., GOVERS, G., 1996. *A GIS procedure for automatically calculating the USLE LS factor on topographically complex landscape units*. J. Soil and Water Cons., 51(5), 427-433.
- DI ROSA, G., 2000. *Rischio idrogeologico e difesa del territorio*. Flaccovio, Palermo, 160.
- EEA, 1998. *Europe's Environment: The Second Assessment*. Office for Official Publications of the European Communities, Luxembourg, <http://themes.eea.eu.int/>.
- ELLISON, W.D., 1947. *Soil erosion studies*. Agr. Eng., 28, Part I, 145-146; Part II, 197-201; Part III, 245-248; Part IV, 297-300; Part V, 349-351, 353.
- ELLISON, W.D., SLATER, C.S., 1945. *Factors that affect surface sealing and infiltration of exposed soil surface*. Agric. Eng., 26, 156-157.
- ENGEL, B., 1999a. *Estimating soil erosion using RUSLE - using Arcview*. Purdue University. <http://pasture.ecn.purdue.edu/~engelb/agen526/gisrusle/gisrusle.html>.
- ENGEL, B., 1999b. *Watershed delineation using the Arcview Hydrologic Extension*. Purdue University. <http://pasture.ecn.purdue.edu/~engelb/abe526/wshddelin2/wshdhydro.html>.

- FERRARI, R., PASQUI, M., BOTTAI, L., ESPOSITO, S., DI GIUSEPPE, E., 2005. *Assessment of soil erosion estimate based on a high temporal resolution rainfall dataset*. Proc. 7th European Conference on Applications of Meteorology (ECAM), 12-16 September 2005, Utrecht, The Netherlands (in stampa).
- FLANAGAN, D.C., NEARING, M.A., 1995. *Water Erosion Prediction Project USDA. Hillslope Profile and Watershed Model Documentation*. NSERL Report n.10, USDA-ARS National Soil Erosion Research Laboratory, West Lafayette, Indiana.
- FOSTER, G.R., MCCOOL, D.K., RENARD, K.G., MOLDENHAUER, W.C., 1981. *Conversion of the Universal Soil Loss Equation to SI Metric Units*. J. Soil and Water Cons. 36(6), 355-359.
- FOSTER, G.R., MEYER, L.D., ONSTAD, C.A., 1977. *A runoff erosivity factor and variable slope length exponents for soil loss estimates*. Trans. ASAE, 20, 683-687.
- FRAZIER, B.E., MCCOOL, D.K., 1981. *Aerial photography to detect rill erosion*. Transactions of the ASAE, 1168-1171.
- FRAZIER, B.E., MCCOOL, D.K., ENGLE, C.F., 1983. *Soil erosion in the Palouse: An aerial perspective*. J. Soil Water Conserv., 38, 70-74.
- FREE, G.R., 1960. *Erosion characteristics of rainfall*. Agr. Eng., 41(1), 447-449.
- FRYER, J.G., CHANDLER, J.H., COOPER, M.A.R., 1994. *Short Communication: On the accuracy of heighting from aerial photographs and maps: implications to process modellers*. Earth Surface Processes and Landforms, 19, 577-583.
- GIORDANI, C., ZANCHI, C., 1995. *Elementi di conservazione del suolo*. Patron Ed., 260.
- GOBIN, A., GOVERS, G., 2001. *PESERA (Pan-European Soil Erosion Risk Assessment)*. EC Contract n. QLK5-CT-1999-01323, First Interim Report, 69.
- GOBIN, A., GOVERS, G., 2003. *Pan-European Soil Erosion Risk Assessment*. Third Annual Report, EU Fifth Framework Programme, Project QLK5-CT-1999-01323.
- GRIMM, M., JONES, R.J.A., MONTANARELLA, L., 2001. *Soil Erosion Risk in Europe*. European Soil Bureau, Institute for Environment & Sustainability, JRC Ispra, Office for Official Publications of the European Communities, Luxembourg (Ed.).
- HANSON, J.D., BAKER, B.B., BOURBON, R.M., 1992a. *SPUR II Model Description and User Guide: GPSR Technical Report n.1*. USDA-ARS, Great Plains Systems Research Unit, Ft. Collins, Colorado.
- HANSON, J.D., BAKER, B.B., BOURDON, R.M., 1992b. *SPUR II Documentation and User's Guide*. U.S. Department of Agriculture, ARS, Great Plains Systems Research Technical Report n.1, Fort Collins, Colorado, USA.
- HEATWOLE, C.D., SHANHOLTZ, V.O., YAGOW, E.R., COLLINS, E.R., 1987. *Targeting animal waste pollution with Virginia GIS*. Paper n.87-4049, American Society of Agricultural Engineers, St. Joseph, Mich., 15.
- HUDSON, N.W., 1993. *Field measurements of erosion and run off*. Soils bulletin 68, FAO Rome, 39.
- JAKEMAN, A., LITTLEWOOD, I., WHITEHEAD, P., 1990. *Computation of the instantaneous unit hydrograph and identifiable component flows with application to two small upland catchments*. Journal of Hydrology 117, 275-300.
- JETTEN, V., DE ROO, A.P.J., FAVIS-MORTLOCK, D.T., 1999. *Evaluation of field-scale and catchment-scale soil erosion models*. Catena 37 (3/4), 521-541.

- JONES, R.J.A., BISSONNAIS, Y.L., BAZZOFFI, P., DÍAZ, J.S., DÜWEL, O., LOJ, G., ØYGARDEN, L., PRASUHN, V., RYDELL, B., STRAUSS, P., ÜVEGES, J.B., VANDEKERCKHOVE, L., YORDANOV, Y., 2004. *Taskgroup 2: Nature and Extent of Soil Erosion in Europe*. In: Reports of the Technical Working Groups Established under the Thematic Strategy for Soil Protection, EUR 21319 EN/6, 872, Van Camp, L., Bujarrabal, B., Gentile, A.R., Jones, R.J.A., Montanarella, L., Olazabal, C., Selvaradjou, S.K., (Ed.), Office for Official Publications of the European Communities, Luxembourg, 145.
- JULIEN, P.Y., SAGHAFIAN, B., 1991. *A Two-Dimensional Watershed Rainfall-Runoff Model: CASC2D User's Manual*. Colorado State University. Report CER90-91PYJ-BS-12, March 1991, 66.
- KIRKBY, M.J., 1998. *Modelling across scales: the MEDALUS family of models*. In: Boardman, J., Favis-Mortlock, D.T., (Ed.), *Modelling Soil Erosion by Water*, Springer-Verlag NATO ASI Series I-55, Berlin, 161-174.
- KIRKBY, M.J., COX, N.J., 1995. *A climatic index for soil erosion potential (CSEP) including seasonal and vegetation factors*. Catena, 25 (1-4), 333-352.
- KNISEL, W.G., 1980. *CREAMS: A Field-Scale Model for Chemicals, Runoff and Erosion from Agricultural Management Systems*. USDA, Conservation Research Report n.26, 640 70.
- KNISEL, W.G., 1993. *GLEAMS, Version 2.10*. University of Georgia Coastal Plain Experiment Station, Biological and Agricultural Engineering, UGA-CPES-BAED, Publication n.5, 182.
- LAFLÉN, J.M., 1983. *Tillage and residue effect on erosion from cropland*. In: DeCoursey, D.A., (Ed.), *Natural Resources Modeling Symposium*, 438-441, U.S. Dep. Agric., Agric. Res. Serv., Pingree Park, Colorado.
- LAFLÉN, J.M., FOSTER, G.R., ONSTAD, C.A., 1985. *Simulation of individual storm soil loss for modeling the impact of soil erosion on crop productivity*. In: El-Swaify, S.A., Moldenhauer, W.C., Lo, A., (Ed.), *Soil Erosion and Conservation*, pp. 285-295. Soil Conserv. Soc. Am., Ankeny, Iowa.
- LE BISSONNAIS, Y., 1990. *Experimental study and modeling of soil surface crusting processes*. Catena Suppl.;17, 13-28.
- LINSLEY, R.K., FRANZINI, J.B., FREYBERG, D.L., TCHOBANOGLIOUS, G., 1992. *Water resources engineering*. 4th ed., McGraw-Hill, New York.
- LITTLEBOY, M., SILBURN, D.M., FREEBAIRN, D.M., WOODRUFF, D.R., HAMMER, G.L., LESLIE, J.K., 1992. *Impact of soil erosion on production in cropping systems. I. Development and validation of a simulation model*. Australian Journal of Soil Research 30, 757-74.
- LO, A., EL-SWAIFY, S.A., DANGLER, E.W., SHINSHIRO, L., 1985. *Effectiveness of EI30 as an erosivity index in Hawaii*. In: El-Swaify, S.A., Moldenhauer, W.C., Lo, A., (Ed.), *Soil erosion and conservation*, Soil Conservation Society of America, Ankeny, 384-392.
- MCCOOL, D.K., FOSTER, G.R., MUTCHLER, C.K., MEYER, L.D., 1989. *Revised slope length factor for the Universal Soil Loss Equation*. Trans. ASAE 32, 1571-1576.
- MEYER, L.D., 1994. *Rainfall simulators for soil erosion research*. In: Lal, R., (Ed.): *Soil erosion research methods* (second edition), The Soil and Water Conservation Society and St. Lucie Press, 83-103.
- MEYER, L.D., ROMKENS, M.J.M., 1976. *Erosion and Sediment Control on Reshaped Land*. Proceedings of Third Interagency Sedimentation Conference, Water Resources Council, PB-245-100, Washington, DC. 2-65 - 2-76.
- MISRA, R.K., ROSE, W.C., 1996. *Application and sensitivity analysis of process-based erosion model GUEST*. European J. Soil Sci. 47, 593-604.

- MITAS, L., MITASOVA, H., 1998. *Distributed erosion modelling for effective erosion prevention*. Water Resources Research 34(3), 505-516.
- MITASOVA, H., BROWN, W.M., 2002. *Using Soil Erosion Modeling for Improved Conservation Planning: A GIS-based Tutorial*. Geographic Modelling Systems Lab, University of Illinois at Urbana-Champaign, <http://mpa.itc.it/grassbook/>.
- MITASOVA, H., HOFIERKA, J., ZLOCHA, M., IVERSON, R.L., 1996. *Modeling topographic potential for erosion and deposition using GIS*. Int. Journal of Geographical Information Science, 10(5), 629-641.
- MITASOVA, H., MITAS, L., BROWN, B.M., GERDES, D.P., KOSINOVSKY, I., 1995. *Modeling spatially and temporally distributed phenomena: New methods and tools for GRASS GIS*. International Journal of GIS, 9, 443-446.
- MOHAMED RINOS, M.H., AGGARWAL, S.P., DE SILVA, R.P., 2001. *Application of Remote Sensing and GIS on Soil Erosion Assessment at Bata river basin, India*. <http://www.gisdevelopment.net/application/geology/geomorphology/geogmf001.html>.
- MOORE, I.D., BURCH, G.J., 1986. *Physical basis of the length-slope factor in the universal soil loss equation*. Soil Sci. Soc. Am. J., 50, 1294-1298.
- MORGAN, K.M., NALEPA, R., 1982. *Application of aerial photographic and computer analysis to the USLE for area wide erosion studies*. Journal of Soil and Water Conservation, 6, 347-350.
- MORGAN, R.P.C., 1978. *Field studies of rainsplash erosion*. Earth Surface Processes and Landforms, 3, 295-299.
- MORGAN, R.P.C., 2001. *A simple approach to soil loss prediction: a revised Morgan-Morgan-Finney model*. Catena, 44, 305-322.
- MORGAN, R.P.C., 2005. *Soil Erosion and Conservation*. Blackwells, Oxford, 314.
- MORGAN, R.P.C., QUINTON, J.N., RICKSON, R.J., 1993. *EUROSEM: a user guide*. Silsoe College, Silsoe, Bedford, UK, 84.
- MUTCHLER, C.K., 1970. *Splash of a waterdrop at terminal velocity*. Science 169, 1311-1312.
- MUTCHLER, C.K., MURPHREE, C.E., MCGREGOR, K.C., 1982. *Subfactor method for computing C-factors for continuous cotton*. Trans. ASAE 25, 327-332.
- NEARING, M.A., BRADFORD, J.M., 1985. *Single waterdrop splash detachment and mechanical properties of soils*. Soil. Sci. Soc. Am. J., 49, 547-552.
- NEW, M.G., SCHULZE, R.E., 1996. *Hydrologic sensitivity to climate change in the Langrivier catchment, Stellenbosch, South Africa and some implications for geomorphic processes*. Zeitschrift fur Geomorphologie, Supplementband 107, 11-34.
- O'LOUGHLIN, E.M., 1986. *Prediction of surface saturation zones in natural catchments by topographic analysis*. Water Resources Research 22 (5), 794-804.
- PAGLIAI, M., 1988. *Soil porosity aspects*. International Agrophysics, 4, 215-232.
- PAGLIAI, M., PELLEGRINI, S., VIGNOZZI, N., ROUSSEVA, S., GRASSELLI, O., 2000. *The quantification of the effect of subsoil compaction on soil porosity and related physical properties under conventional to reduced management practices*. Advances in GeoEcology 32, 305-313.
- PSIAC, 1968. *Report of the Water Management Subcommittee, Factors Affecting Sediment Yield and Measures for the Reduction of Erosion and Sedimentation*. Pacific Southwest Interagency Committee, 26.

- QUINE, T.A., GOVERS, S., WALLING, D.E., ZHANG, X., DESME, P.J.J, ZHANG, Y., VANDAELE, K., 1997. *Erosion processes and landform evolution on agricultural land - New perspectives from Caesium-137 measurements and topographic-based erosion modelling*. Earth Surface Processes and Landforms, vol.22, 799-816.
- QUINE, T.A., WALLING, D.E. 1993. *Use of Caesium-137 measurements to investigate relationships between erosion rates and topography*. In: Thomas, D.S.G., Allison, R.J., (Ed.), Landscape sensitivity, Wiley, Chichester, 31-48.
- RENARD, K.G., FOSTER, G.R., WEESIES, G.A., MCCOOL, D.K., YODER, D.C., 1997. *Predicting Soil Erosion by Water: A Guide to Conservation Planning with the Revised Soil Loss Equation (RUSLE)*. U.S. Dept. of Agriculture, Agric. Handbook n.703, 404.
- RENARD, K.G., FOSTER, G.R., WEESIES, G.A., PORTER, J.P., 1991. *RUSLE: revised universal soil loss equation*. J. Soil Water Conservation, 46, 30-33.
- RENARD, K.G., FREIMUND, J.R., 1994. *Using monthly precipitation data to estimate the R factor in the revised USLE*. Journal of Hydrology, 157, 287-306.
- RIGGINS, R.E., WARD, T.J., HODGE, W., 1989. *ARMSED, a Runoff and Sediment Yield Model for Army Training Land Watershed Management, Volume I: Parameter Estimation Guide and Volume II: Program Documentation*. U.S. Army Construction Engineering Laboratory, ADP Report N-89/12, 68.
- ROOSE, E., 1996. Land husbandry - Components and strategy. Fao, Soils Bulletin n.70.
- ROSEWELL, C.J., EDWARDS, K., 1988. *SOILOSS A Program to Assist in the Selection of Management Practices to Reduce Erosion, Soil Conservation Service*. Technical Handbook n.11, Soil Conservation Service of New South Wales, Sydney.
- SALVIANO, A.A.C., VIEIRA, S.R., SPAROVEK, G., 1998. *Erosion intensity and Crotalaria juncea yield on a Southeast Brazilian ultisol*. Adv. GeoEcol. 31, 369-374.
- SCHWAB, G.O., FREVERT, R.K., BARNES, K.K., 1981. *Soil and Water Conservation Engineering*. 3rd ed., John Wiley, New York.
- SEDNET (EUROPEAN SEDIMENT RESEARCH NETWORK) 2004. *Contaminated Sediments in European River Basins*. European Sediment Research Network, EC contract No.: EVK1-CT-2001-20002, Key action: 1.4.1 Abatement of water pollution from contaminated land, landfills and sediments, Sednet Booklet final version, Salomons, W., Brils, J., (Ed.), 47.
- SHARPLEY, A.N., WILLIAMS, J.R., 1990. *EPIC - Erosion/Productivity Impact Calculator: Model Documentation*. USDA-ARS Technical Bulletin n.1768, 235.
- SIMONS, D.B., LI, R.M., FULLERTON, W.T., 1980. *User's Manual - Multiple Watershed Model for Water and Sediment Routing from Mined Areas*. Simons, Li and Associates, Ft. Collins, Colorado, 106.
- SIMONS, M., PODGER, G., COOKE, R., 1996. *IQQM a hydrologic modelling tool for water resource and salinity management*. Environmental Software II (1-3).
- SMITH, D.D., WISCHMEIER, W.H., 1957. *Factors affecting sheet and rill erosion*. Trans. AGU, 38(6), 889-896.
- SOIL AND WATER CONSERVATION SOCIETY, 1993. *RUSLE User's Guide - Revised Universal Soil Loss Equation*. Soil & Water Conservation Soc., Ankeby, Iowa, USA.
- SPAROVEK, G., DE JONG VAN LIER, Q., 1997. *Definition of tolerable soil erosion values*. Rev. bras. Cienc. Solo 21, 467-471.

- SPOMER, R.G., MAHURIN, R.L., 1984. *Time-Lapse remote sensing for rapid measurement of changing landforms*. Journal of Soil and Water Conservation, 6, 397-401.
- STALLARD, R.F., 1995. *Tectonic, Environmental, and Human Aspects of Weathering and Erosion: A Global Review using a Steady-State Perspective*. Annual Review of Earth and Planetary Sciences, 23, 11-39.
- STAMEY, W.L., SMITH, R.M., 1964. *A conservation definition of erosion tolerance*. Soil Sci., 97, 183-186.
- SUMNER, M.E., STEWART, B.A., 1992. *Soil crusting: Chemical and physical processes*. Lewis Publishers, Boca Raton, Florida, Sumner e Stewart (Ed.).
- TAKKEN, I., JETTEN, V., GOVERS, G., NACHTERGAELE, N., STEEGEN, A., 2001. *The effect of tillage-induced roughness on runoff and erosion patterns*. Geomorphology, 37, 1-14.
- THOMAS, A.W., WELCH, R., JORDAN, T.R., 1986. *Quantifying concentrated flow erosion on cropland with aerial photogrammetry*. Journal of Soil and Water Conservation, 4, 249-252.
- TOY, J.T., FOSTER, G.R., RENARD, K.G., 2002. *Soil erosion: processes, prediction, measurement, and control*. Jhon Wiley & Sons, New York, 338.
- USDA (UNITED STATES DEPARTMENT OF AGRICULTURE), 1979. *Field Manual for Research in Agricultural Hydrology*. 1979, Handbook n.224, United States Department of Agriculture, (Ed.) Science and Education Administration, 547.
- USDA (UNITED STATES DEPARTMENT OF AGRICULTURE), 1999. *Soil taxonomy. A basic system of soil classification for making and interpreting soil surveys*. USDA Handbook, Washington DC.
- VAN DER KNIJFF, J.M., JONES, R.J.A., MONTANARELLA, L., 1999. *Soil erosion risk assessment in Italy*. European Soil Bureau, EUR 19022 EN.
- VAN OOST, K., GOVERS, G., DESMET, P.J.J., 2000. *Evaluating the effects of changes in landscape structure on soil erosion by water and tillage*. Landscape Ecology 15 (6), 579-591.
- VAN ROMPAEY, A., VERSTRAETEN, G., VAN OOST, K., GOVERS, G., POESEN, J., 2001. *Modelling mean annual sediment yield using a distributed approach*. Earth Surface Processes and Landforms 26 (11), 1221-1236.
- VANDEN BERGHE, I., GULINCK, H., 1987. *Fallout ¹³⁷CS as a tracer for soil mobility in the landscape framework of the Belgian Loamy region*. Pedologie 37 (1), 5-20.
- VANDALE, K., VANOMMESLAEGHE, J., MUYLAERT, R., GOVERS, G., 1996. *Monitoring soil redistribution patterns using sequential aerial photographs*. Earth Surface processes and landforms. Vol.21, 353-364.
- VINEY, N.R., SIVAPALAN, M., 1999. *A conceptual model of sediment transport: application to the Avon River Basin in Western Australia*. Hydrological Processes 13, 727-743.
- VON LIEBIG, J., 1840. *Chemistry in its Application to Agriculture and Physiology*. London: Taylor and Walton.
- WALTON, R.S., HUNTER, H.M., 1997. *Water Quality Modelling With HSPF in a Tropical Catchment*. 469-74 in 24th Hydrology and Water Resources Symposium, Auckland, November, Canberra: Institution of Engineers Australia.
- WATSON, F.G.R., RAHMAN, J., SEATON, S., 2001. *Deploying environmental software using theTarsier modelling framework*. In: Proceedings of the Third Australian Stream Management Conference, Brisbane, August 2001, vol.2, 631-637.

- WCD (WORLD COMMISSION ON DAMS), 2000. *Dams and development. A new framework for decision-making*. The report of the world commission on dams, Earthscan Publications Ltd., (Ed.), 404.
- WELTZ, M.A., RENARD, K.G., SIMANTON, J.R., 1987. *Revised universal soil loss equation for western rangelands*. In: US/Mexico Symposium on Strategies for Classification and Management of Native Vegetation for Food Production in Arid Zones, U.S. Forest Serv. Gen. Tech. Rep. RM-150, 104-111.
- WERNER, M.V., MICHAEL, A., SCHMIDT, J., 1993. *Erosion-3D - A soil erosion model for small watersheds*. In: Larionov, G.A., Nearings, M.A., (Ed.), International workshop on soil erosion, Purdue University, Moscow, 1993, 67-77.
- WHITING, M.L., DE GLORIA, S.D., BENSON, A.S., WALL, S.L., 1987. *Estimating conservation tillage residue using aerial photography*. Journal of Soil and Water Conservation, 2, 130-132.
- WILLIAMS, J.R., 1975. *Sediment-yield prediction with Universal Equation using runoff energy factor*. Proceedings of the Sediment-Yield Workshop on Present and Prospective Technology for Predicting Sediment Yields and Sources, USDA Sedimentation Laboratory, Oxford, MS, November 1972, USDA-ARS Report ARS-S-40, 245-252.
- WISCHMEIER, W.H., 1975. *Estimating the soil loss equations cover and management factor for undisturbed lands*. In: Present and Prospective Technology for Predicting Sediment Yields and Sources, 118-125. U.S. Dep. Agric., Agric. Res. Serv., ARS-S-40.
- WISCHMEIER, W.H., SMITH, D.D., 1965. *Predicting rainfall erosion losses from cropland East of Rocky mountains*. USDA Agr. Res. Serv. Agr. Handbook 282.
- WISCHMEIER, W.H., SMITH, D.D., 1978. *Predicting rainfall erosion losses. Guide to conservation planning*. USDA Handbook n.537, Washington, D.C.
- WOODWARD, D.E., 1999. *Method to predict cropland ephemeral gully erosion*. Catena, 37, 393-399.
- WOOLHISER, D.A., SMITH, R.E., GOODRICH, D.C., 1990. *KINEROS, A Kinematic Runoff and Erosion Model: Documentation and User Manual*. U.S. Department of Agriculture, Agricultural Research Service, ARS-77, 130.
- YAGOW, E.R., SCHANHOLTZ, V.O., JULIAN, B.A., FLAGG, J.M., 1998. *A Water Quality Module for CAMPS*. American Society of Agricultural Engineers Meeting Presentation Paper n.88-2653.
- YODER, D.C., FOSTER, G.R., WEESIES, G.A., RENARD, K.G., MCCOOL, D.K., LOWN, J.B., 2001. *Evaluation of RUSLE soil erosion model*. Southern Cooperative Series Bulletin, 26 Feb. 2003. <http://www3.bae.ncsu.edu/Regional-Bulletins/Modeling-Bulletin/rusle-yoder-001016.html>
- YOUNG, R.A., ONSTAD, C.A., BOSH, D.D., ANDERSON, W.P., 1989. *AGNPS: A nonpoint-source pollution model for evaluating agricultural watersheds*. Journal of Soil and Water Conservation, March-April 1989, 168-173.
- YU, B., ROSEWELL, C.J., 1996. *A robust estimator of the R-factor for the universal soil loss equation*. Transactions of the ASAE, 39(2), 559-561.
- ZACHAR, D., 1982. *Soil Erosion*. Developments in Soil Science, 10, Elsevier Scientific Publishing Company, Amsterdam, 547.
- ZINGG, A.W., 1940. *Degree and length of land slope as it affects soil loss in runoff*. Agric. Eng. 21, 59-64.
- ZANCHI, C., TORRI, D., 1980. *Evaluation of rainfall energy in central Italy*. In: De Boodt, M., Gabriels, D., (Ed.), Assessment of Erosion, Wiley, Toronto, 133-142.
- ZHANG, W., MONTGOMERY, D.R., 1994. *Digital elevation model grid size, landscape representation and hydrologic simulation*. Water Resources Research, 30, 1019-1028.

Ministero delle Politiche Agricole, Alimentari e Forestali
Osservatorio Nazionale Pedologico e per la Qualità del Suolo Agricolo e Forestale

In collaborazione con:
International Union of Soil Sciences
Società Italiana della Scienza del Suolo
Commissione VI - Uso e Conservazione del Suolo

BAZZOFFI, P., BORSELLI, L., PELLEGRINI, S., TORRI, D., 2006. *Indici di rugosità superficiale del suolo a fini modellistici*. In: Costantini, E.A.C. (Ed.), *Metodi di valutazione dei suoli e delle terre*, Cantagalli, Siena, pp. 922.

Collana dei metodi analitici per l'agricoltura diretta da Paolo Sequi, vol. 7

CRA - Consiglio per la Ricerca e la Sperimentazione in Agricoltura
Istituto Sperimentale per lo Studio e la Difesa del Suolo, Firenze

6. Indici di rugosità superficiale del suolo a fini modellistici

Paolo Bazzoffi¹, Lorenzo Borselli², Sergio Pellegrini¹, Dino Torri²

6.1 Fondamenti	2
6.2 Metodologia di rilievo in campo	8
6.3 Riconoscimento visuale della rugosità del suolo.....	10
Bibliografia	31

6.1 Fondamenti

La rugosità della superficie del suolo è il risultato d'azioni indotte dall'uomo e di processi naturali, come lavorazioni agricole, compattazioni, erosione del suolo e rideposizione, degradazione strutturale della superficie per effetto dell'impatto delle gocce di pioggia e dei fenomeni di *slacking* (disgregazione dovuta al rapido inumidimento del suolo attraverso un'azione chimico-fisica complessa che causa una sorta di "esplosione" degli aggregati) e sigillamento (cambiamento della struttura del suolo con forte diminuzione dell'infiltrazione dovuta al riempimento degli spazi vuoti, "sigillamento dei pori"; Borselli, 1998).

Facendo riferimento a quanto riportato in altre parti del Manuale, risulta importante valutare la rugosità (o scabrezza) della superficie del suolo nell'applicazione della modellistica previsionale dell'erosione. La rugosità influenza, infatti, la risposta idrologica e l'erosione, attraverso le relazioni esistenti con la resistenza idraulica allo scorrimento dell'acqua in superficie (Gilley e Finkner, 1991), l'immagazzinamento (*storage*) nelle depressioni superficiali (Onstad, 1984; Linden et al., 1988), come pure agendo sull'efficacia del distacco di particelle di suolo operato dall'impatto delle gocce di pioggia sulla superficie.

¹ CRA - Istituto Sperimentale per lo Studio e la Difesa del Suolo, Firenze

² CNR-IRPI - Istituto di Ricerca per la Protezione Idrogeologica, Firenze

Un'alta rugosità della superficie incrementa l'infiltrazione e diminuisce il grado di sigillamento del suolo dovuto all'impatto delle gocce (Sumner e Stewart, 1992). Al contrario, un suolo finemente amminutato, o addirittura polverizzato da eccessive lavorazioni, sarà soggetto a sigillare velocemente e, conseguentemente, ad avere bassi tassi di infiltrazione, generando deflusso superficiale. La scabrezza dipende principalmente dall'attrezzo agricolo utilizzato per la lavorazione, dalla velocità del trattore e dalle condizioni del suolo prima della lavorazione (tipo di lavorazione effettuata in precedenza, umidità, consolidamento, sostanza organica, uso del suolo precedente, ecc.).

I diversi fenomeni ed eventi che agiscono sulla superficie del suolo danno origine a diversi tipi di rugosità. Romkens e Wang (1986) indicano almeno quattro tipi di rugosità superficiale, ognuno caratterizzato da un differente ordine di grandezza:

1. variazioni del microrilievo dovute a singoli granuli sulla superficie o ad aggregati;
2. variazioni della superficie dovute alle zolle;
3. differenze di elevazioni dovute ai solchi delle lavorazioni o canalizzazioni diverse;
4. variazioni di maggior ordine o variazioni di quota a livello di un campo o di un bacino.

I primi due tipi di rugosità sono uniformemente distribuiti in tutte le direzioni e sono comunemente indicati nella letteratura scientifica come *random roughness* (rugosità casuale). Il terzo tipo è comunemente indicato come *oriented roughness* (rugosità orientata), dato che prevalentemente si estende secondo una direzione preferenziale (Allmaras et al., 1966) anche su un intero campo.

La rugosità del suolo è oggi comunemente misurata in campo o in laboratorio facendo uso di profilometri a contatto (Kuipers, 1957; Burwell et al., 1963), dime e profilometri comunemente utilizzati in meccanica delle rocce per la rugosità dei giunti e fessure in roccia (Haigh, 1981) o mediante sensori laser (Huang et al., 1988; 1992; Bertuzzi et al., 1990a). Tutti questi strumenti consentono di riprodurre un profilo microtopografico della superficie campionata, costituita da una matrice di coordinate che rappresentano le elevazioni relative di quota campionate a un intervallo costante, e le rispettive posizioni di misura rispetto ad un'origine. Nel caso le misure vengano effettuate sopra una griglia con maglia regolare, si ha una rappresentazione approssimata della superficie in tre dimensioni (3D), oppure si ricorre a una rappresentazione bidimensionale (2D) (Borselli, 1998) (figura 6.1). La rappresentazione più utilizzata è normalmente quella bidimensionale, data la maggiore speditezza e la facilità di rappresentazione. Tale modalità di rappresentazione è normalmente sufficiente a fornire adeguate informazioni sul grado di rugosità della superficie quando il tratto campionato è

sufficientemente esteso rispetto all'area della superficie esaminata (Borselli, 1988).

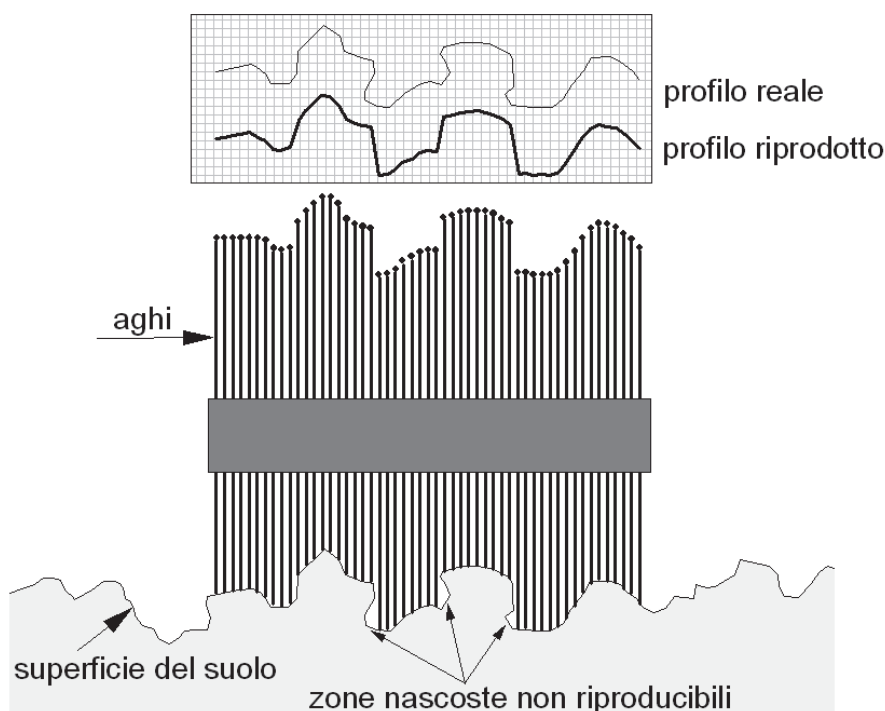


Figura 6.1. Principio di funzionamento del profilometro a contatto. Gli aghi incernierati con un passo costante in un supporto orizzontale vengono spostati verticalmente fino a toccare il terreno. Ne risulta una approssimazione abbastanza fedele del profilo microtopografico locale del suolo (da Borselli, 1998).

I vari indici di rugosità maggiormente utilizzati nelle scienze del suolo sono stati proposti da diversi autori: Linden e Van Doren (1986), Zobeck e Onstad (1987), Lersch (1988), Bertuzzi et al. (1990b). Quelli più noti e utilizzati sono: la *random roughness* (RR) (Kuipers, 1957; Allmaras et al., 1966; Currence e Lovely, 1970); l'indice AF (Romkens e Wang, 1986; 1987); gli indici LS, LD, Q (Linden e Van Doren, 1986); l'indice di tortuosità T (Bertuzzi et al., 1990b); la dimensione frattale D del profilo (Andrle e Abrahams, 1989; Perfect e Kay, 1995; Gallart e Pardini, 1996). RR (*random roughness*), il più noto indice di rugosità, nella formulazione definitiva di Currence e Lovely (1970) è espresso come la deviazione standard delle altezze relative del profilo o della superficie campionate secondo un passo o maglia regolare:

$$RR = \sqrt{\sum_{i=1}^n (y_i - \mu_y) / n} \quad (1)$$

dove: n è il numero delle altezze relative campionate; μ , la media aritmetica delle altezze campionate; Y_i il valore di ogni singola altezza relativa nel profilo.

L'indice RR (dimensionalmente una lunghezza, L) è estremamente facile da calcolare; tuttavia, è necessario procedere ad una preliminare eliminazione di *trend* lineari o non lineari eventualmente presenti sull'intero profilo e determinati, ad esempio, dalla pendenza locale. In questo caso, l'indice RR viene calcolato sui residui rispetto al trend rimosso. L'operazione di rimozione del *trend*, operata normalmente mediante una regressione lineare o polinomiale, è estremamente importante per filtrare la rugosità casuale in profili raccolti lungo una componente di pendenza principale o per calcolare la rugosità sovrapposta su rugosità di ordine superiore (figura 6.2). L'indice RR è il più utilizzato tra quelli esistenti, grazie alla facilità di calcolo e all'esistenza di una serie di relazioni empiriche che lo legano ad alcune proprietà fisiche della superficie, quali lo *storage* idrico superficiale (Onstad, 1984; Kamphorst et al., 2005) e la resistenza idraulica (Gilley e Finkner, 1991). In figura 6.3 è riportato un esempio della modalità di calcolo di tortuosità T.

Nome: Rugosità/scabrezza casuale (*Random Roughness*)

Acronimo: RR

Dimensioni: L (cm)

Descrizione: Deviazione Standard delle altezze campionate in modo equidistante lungo una sezione (transetto) superficiale del suolo.

Riferimento bibliografico: Currence e Lovely (1970). Per maggiori dettagli sulla modalità di calcolo vedi: Borselli L., *Multiple Roughness Indexes Computation* (MRIC), USER Manual rel.1.5.

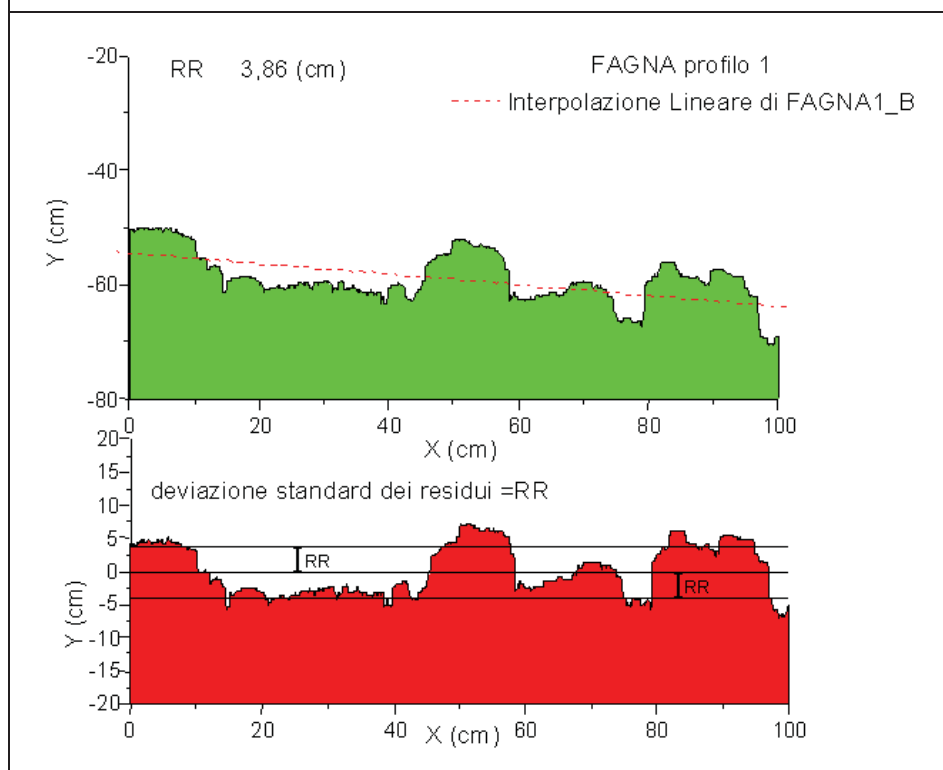


Figura 6.2. Indice RR. Esempificazione della modalità di calcolo di RR e dell'eliminazione del trend dei profili di rugosità, importante per eliminare (o calcolare) l'effetto pendenza. Il trend dei profili di rugosità viene normalmente rimosso prima di fare il calcolo degli indici di rugosità.

Nome: Tortuosità

Acronimo: T

Dimensioni: Adimensionale

Descrizione: Rapporto fra la lunghezza totale (L_{eff}) dello sviluppo di una sezione (transetto) superficiale del suolo e la sua proiezione (L_h) perpendicolare sul piano. $T = L_{eff}/L_h$

Riferimento bibliografico: Boiffin, (1984). Per maggiori dettagli sulla modalità di calcolo vedi: Borselli L., *Multiple Roughness Indexes Computation* (MRIC), USER Manual rel.1.5.

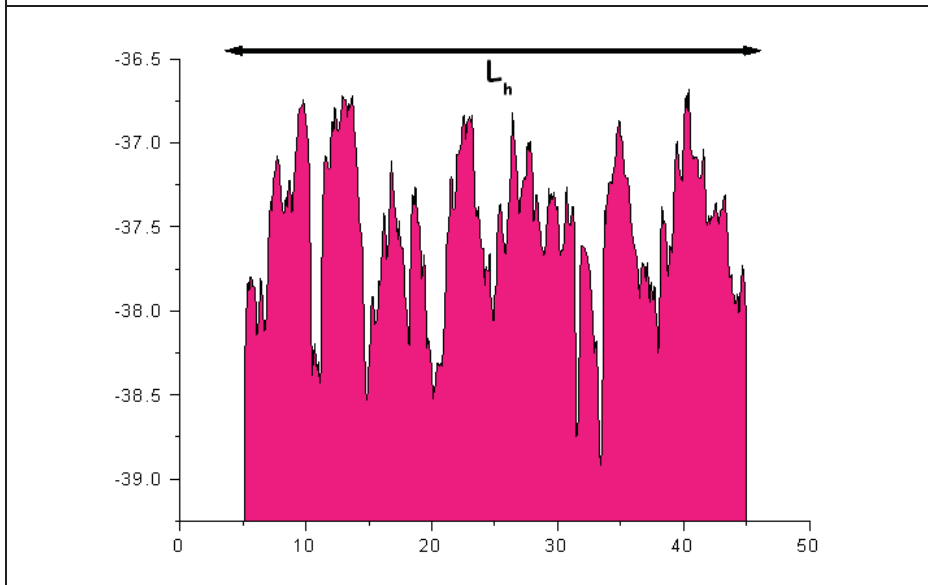


Figura 6.3. Esempio della modalità di calcolo dell'indice di tortuosità T.

6.2 Metodologia di rilievo in campo

Si tralascia la descrizione della metodologia che utilizza il profilometro laser, poiché la messa a punto varia in funzione del tipo di strumento e d'impiego.

Occorre tener presente che, con tutte le metodologie che utilizzano il laser o i profilografi ad aghi, la tortuosità (T) viene calcolata solo sul profilo visibile dall'alto (perpendicolarmente alla superficie). Pertanto viene ignorato lo sviluppo della superficie che risulta nascosta.

Occorrente:

Profilometro ad aghi, macchina fotografica.

Esecuzione del rilievo in campo con profilometro ad aghi

- Appoggiare il profilometro verticalmente sul suolo e successivamente far scendere gli aghi con delicatezza, così da consentire a tutti gli aghi di toccare la superficie senza che si conficchino nel suolo.
- Una volta acquisito il profilo della superficie del suolo, si dovrà fotografare il profilometro perpendicolarmente alla sua superficie, in modo da poter successivamente digitalizzare la posizione degli aghi.
- Per mezzo di una tavoletta digitalizzatrice, o mediante digitalizzazione a video, si acquisiscono le altezze dei singoli aghi e le relative distanze dall'origine (figura 6.4).

Il fattore di scala della fotografia, è facilmente determinabile attraverso riferimenti fissi sul telaio del profilometro (ad esempio, la distanza fra gli spigoli del telaio o la lunghezza della diagonale). In figura 6.5 è riportato un profilometro laser.

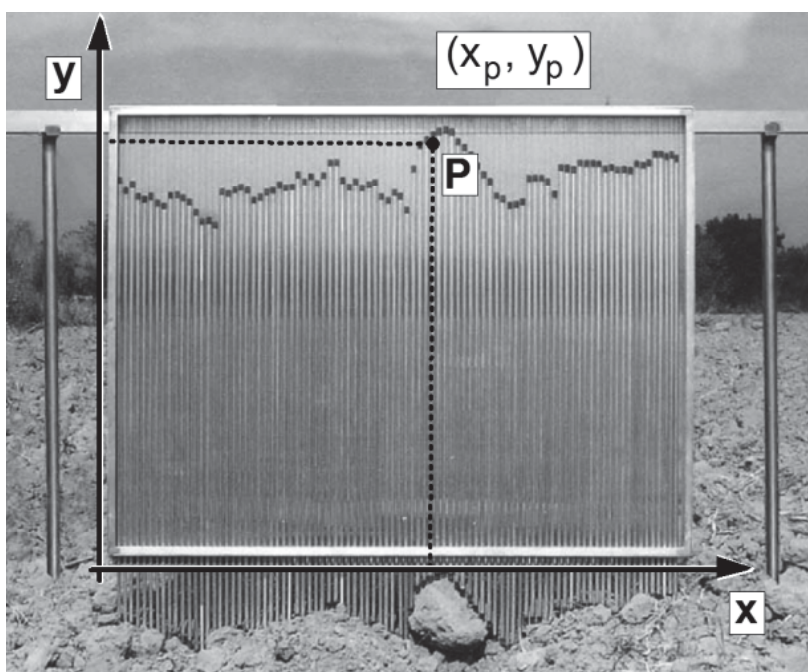


Figura 6.4. Profilometro ad aghi.

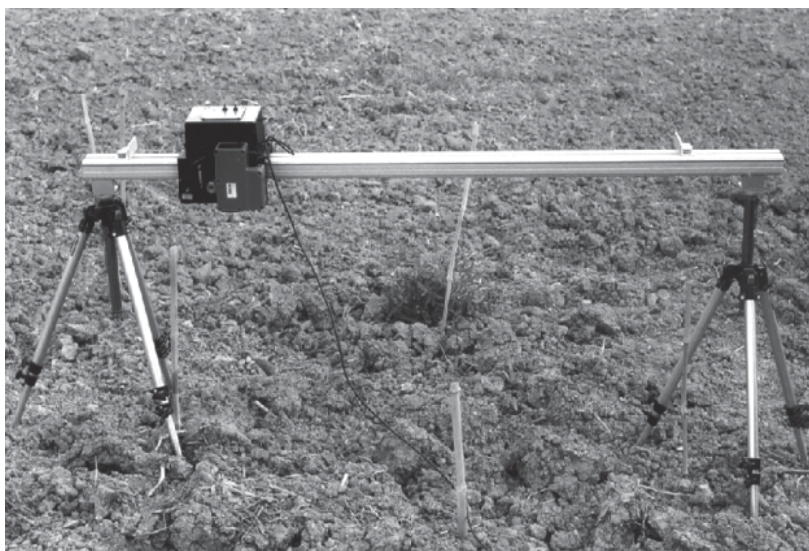


Figura 6.5. Profilometro laser.

6.3 Riconoscimento visuale della rugosità del suolo

Nell'applicazione pratica dei modelli previsionali dell'erosione idrica, occorre poter disporre di un riferimento visuale che consenta l'apprezzamento della rugosità senza dover ricorrere a misure che, per quanto semplici, richiedono un'attrezzatura e una tecnologia di misura non sempre facilmente disponibili. Si riporta, quindi, anche la metodologia di misura diretta, con la stima di RR e T . È disponibile presso gli autori il software per lo sviluppo dei calcoli. In figura 6.6 sono riportati gli oggetti per l'apprezzamento visuale della rugosità; in figura 6.7, la cornice d'inquadratura dell'area fotografata.

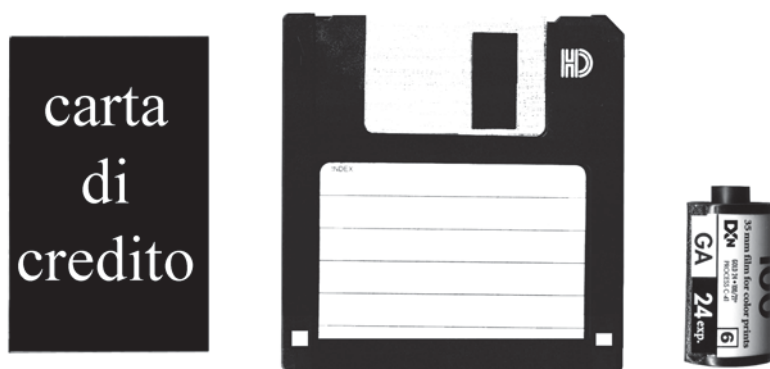


Figura 6.6. Oggetti di riferimento per l'apprezzamento visuale delle figure di rugosità.

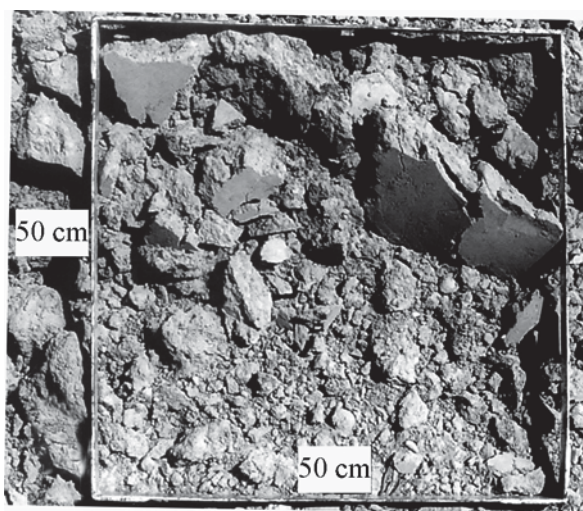
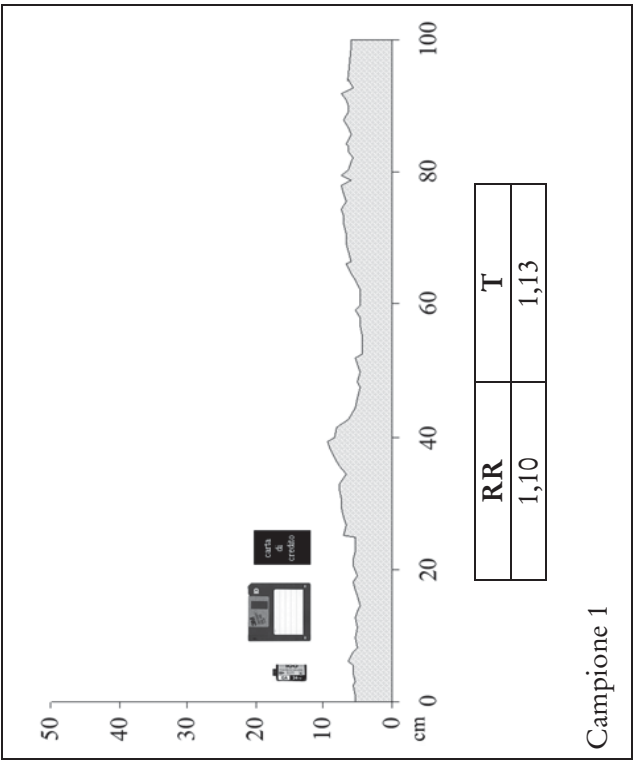
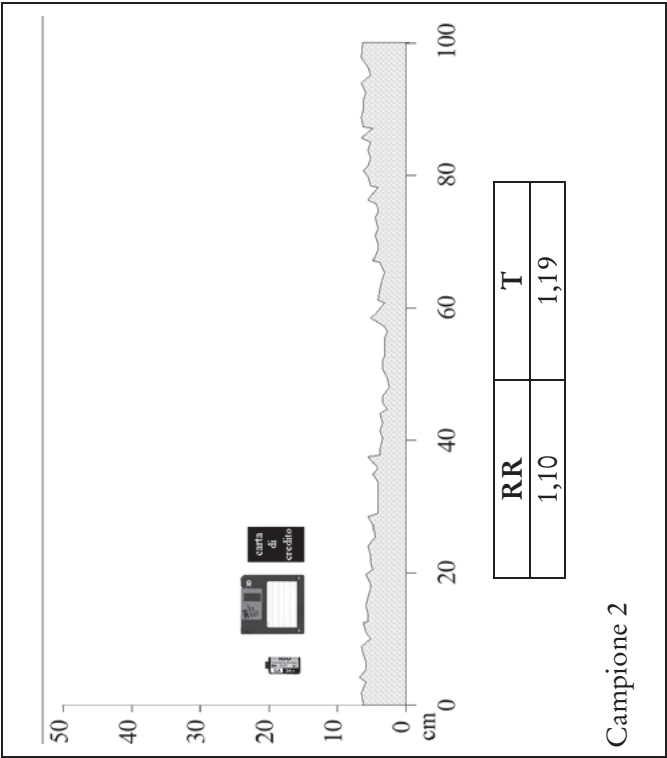
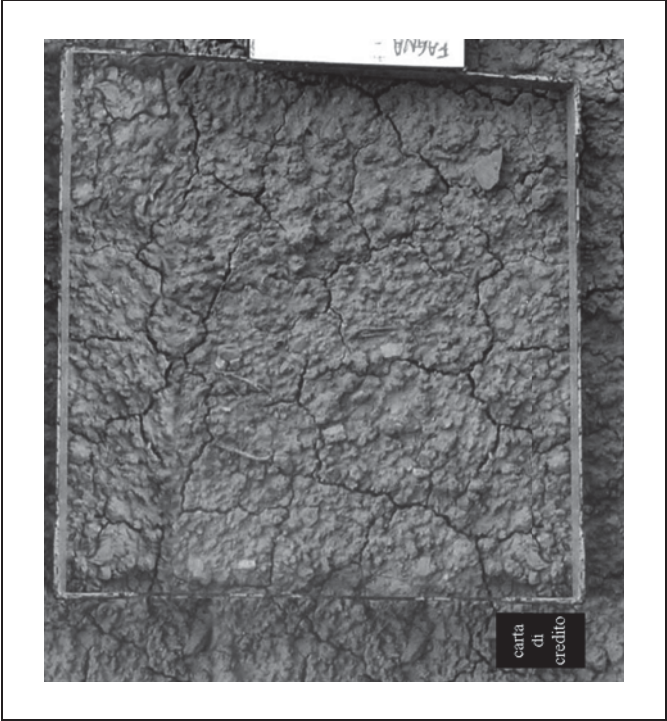
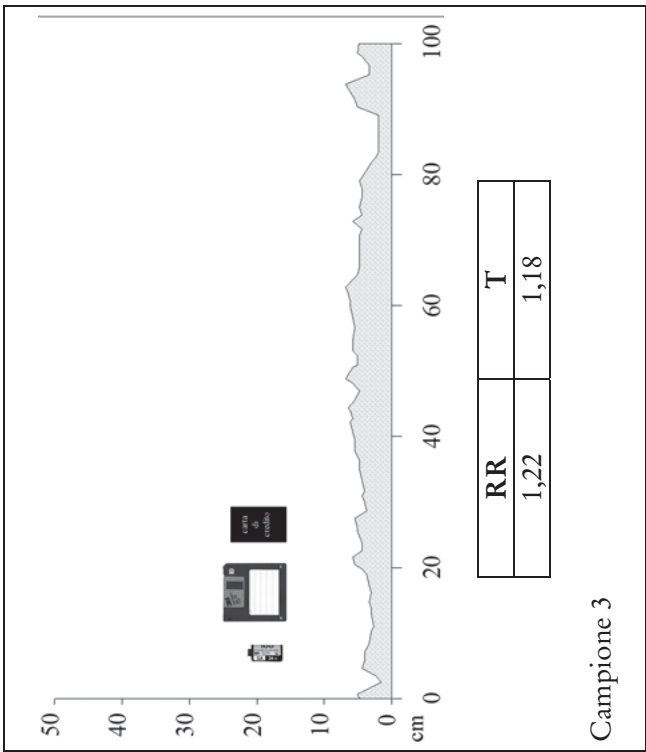
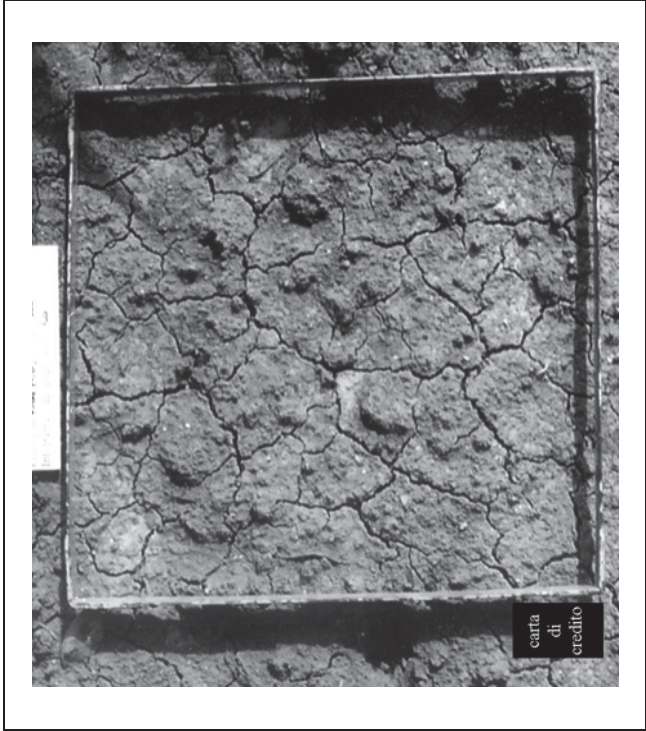


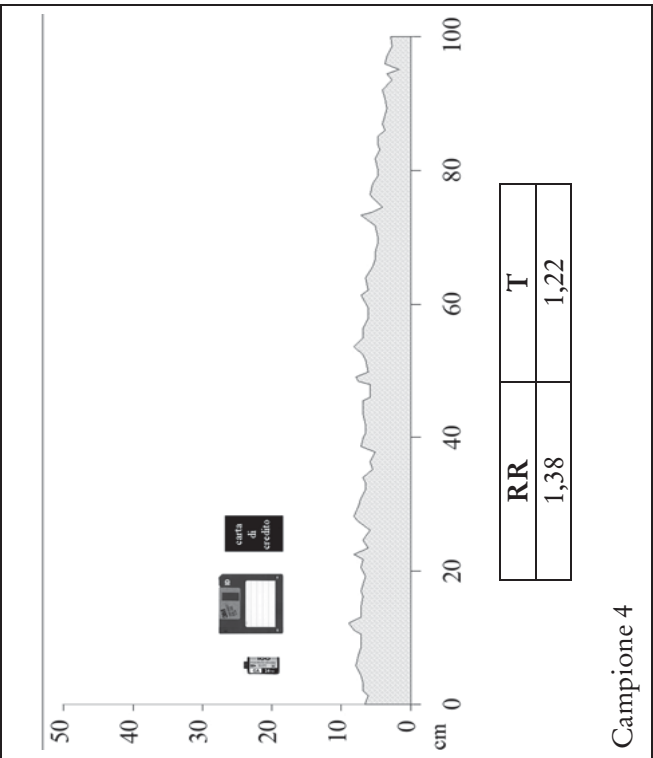
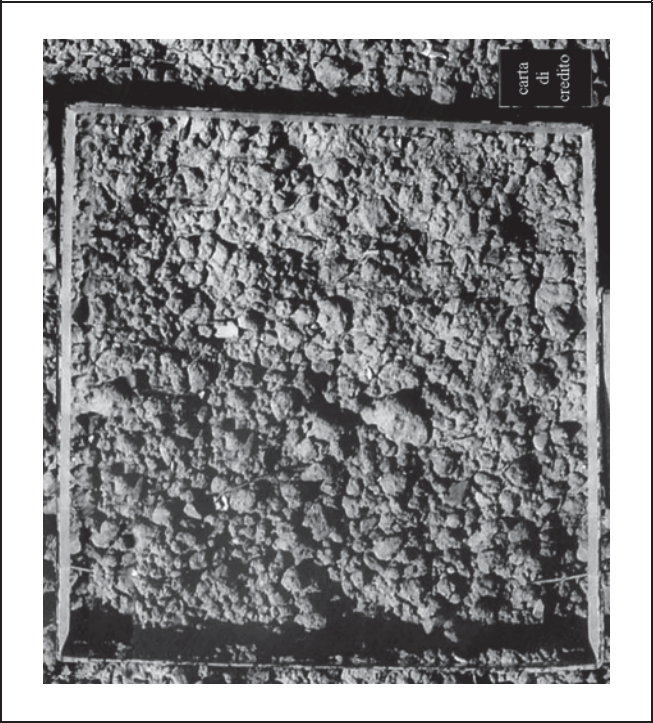
Figura 6.7. Cornice d'inquadratura dell'area fotografata.



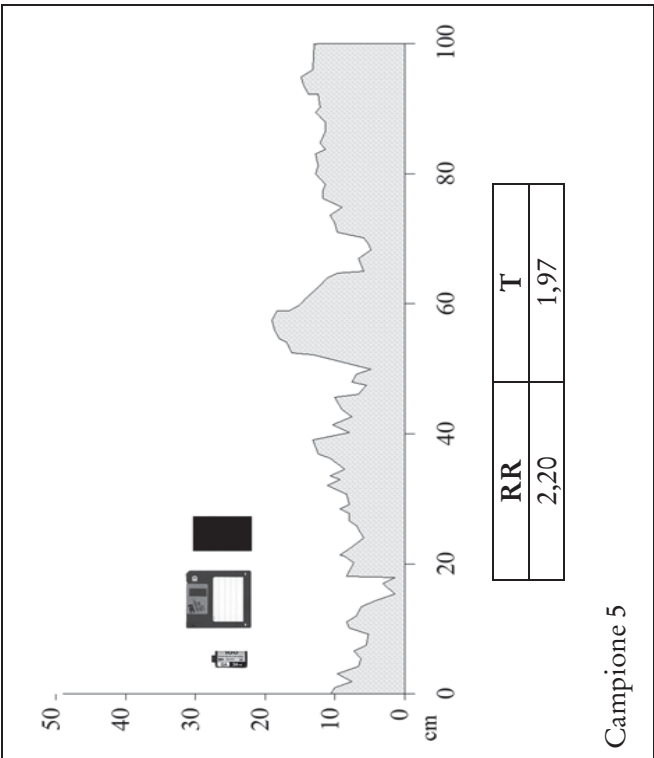
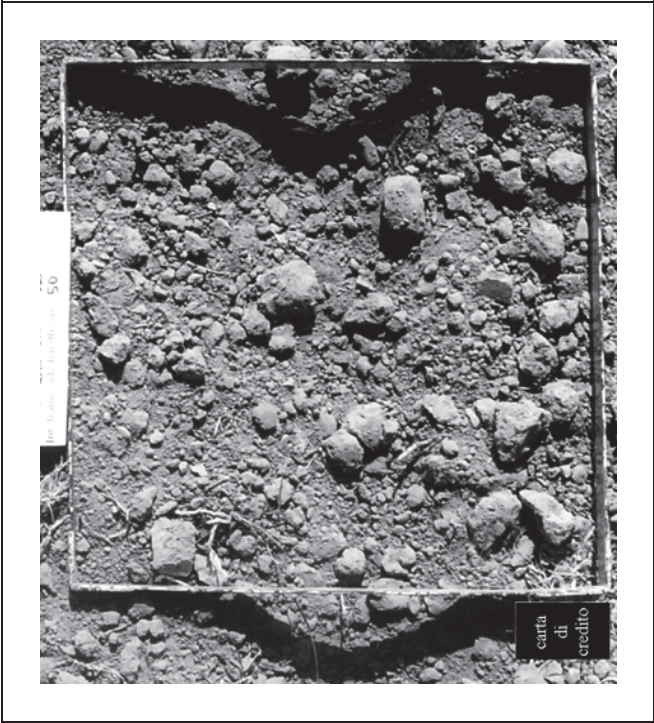


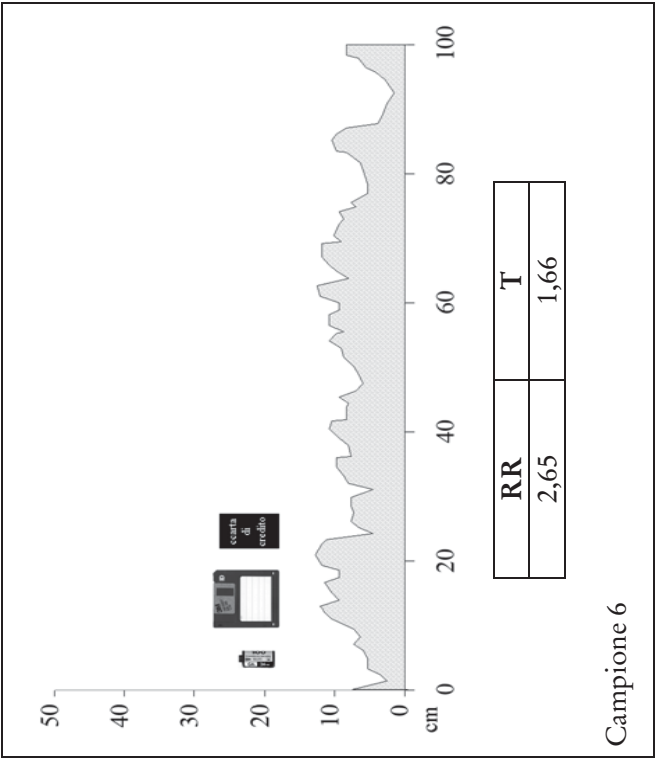
Campione 2



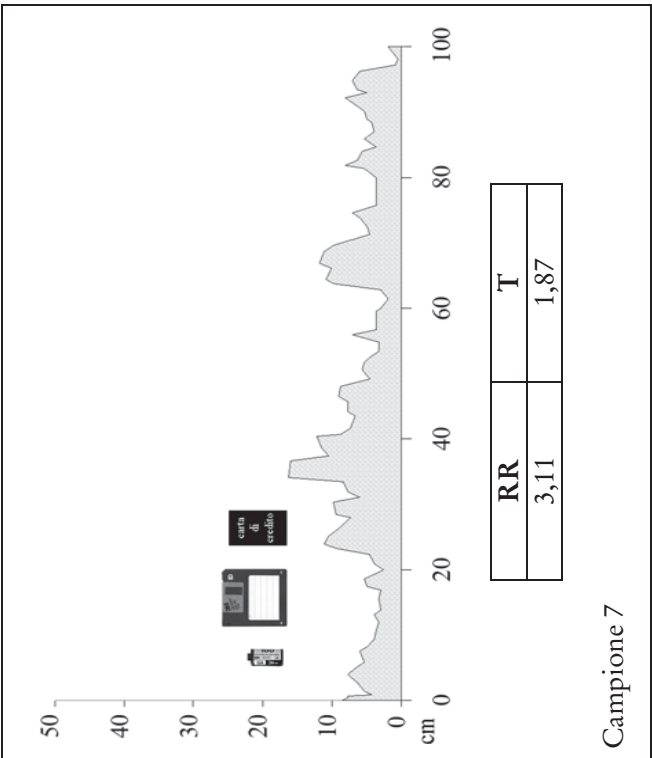


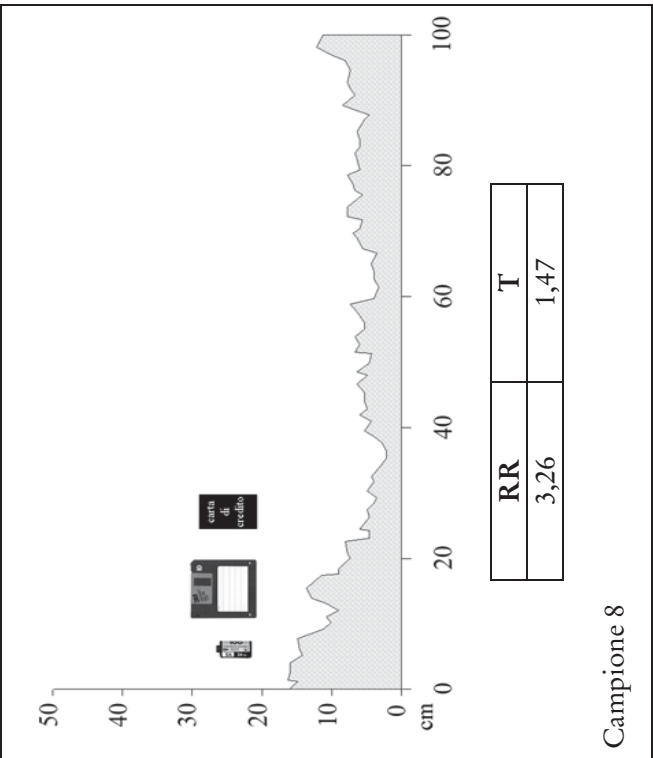
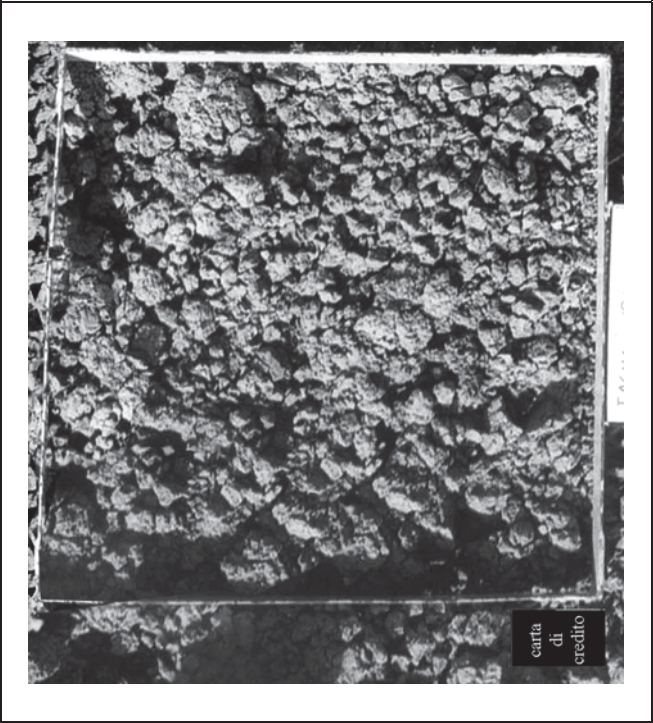
Campione 4



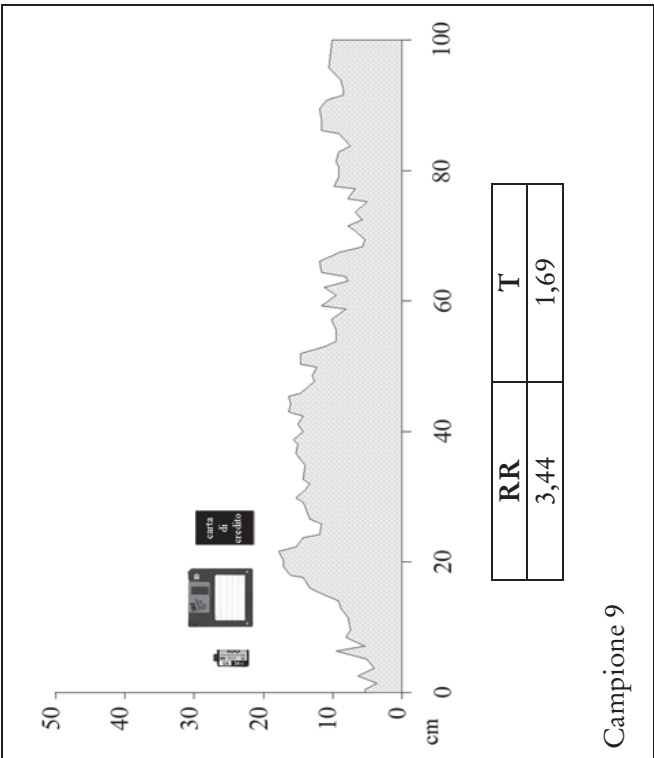


Campione 6

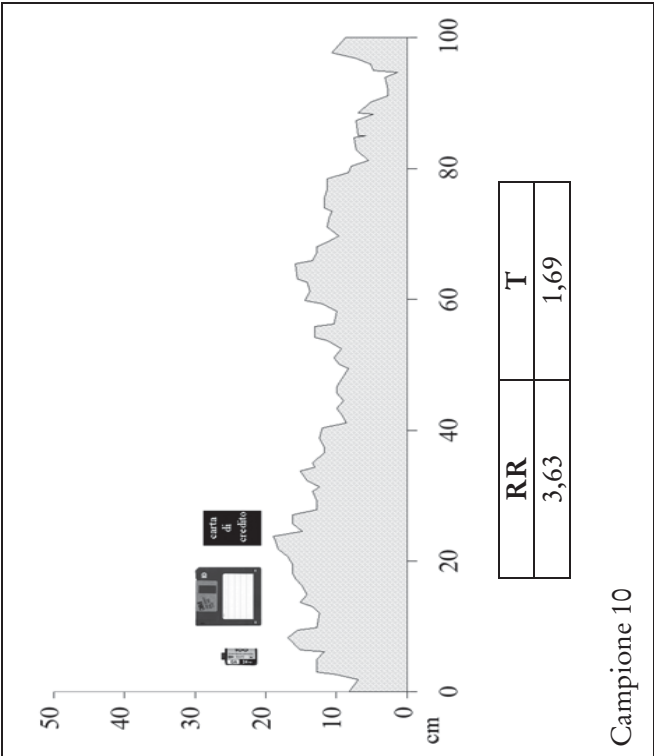
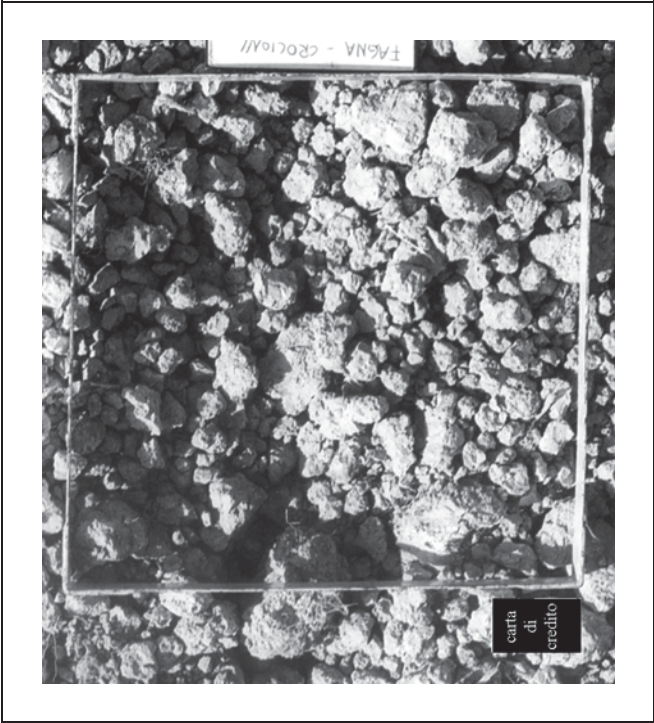


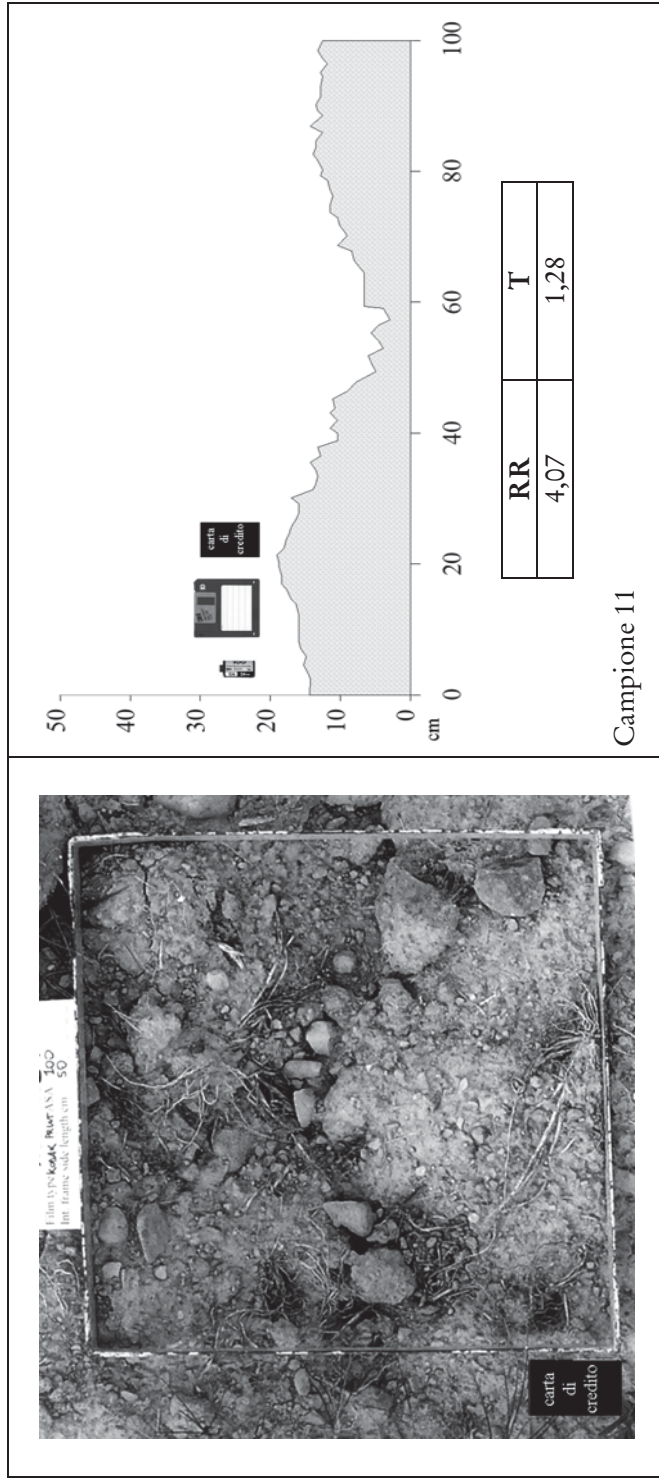


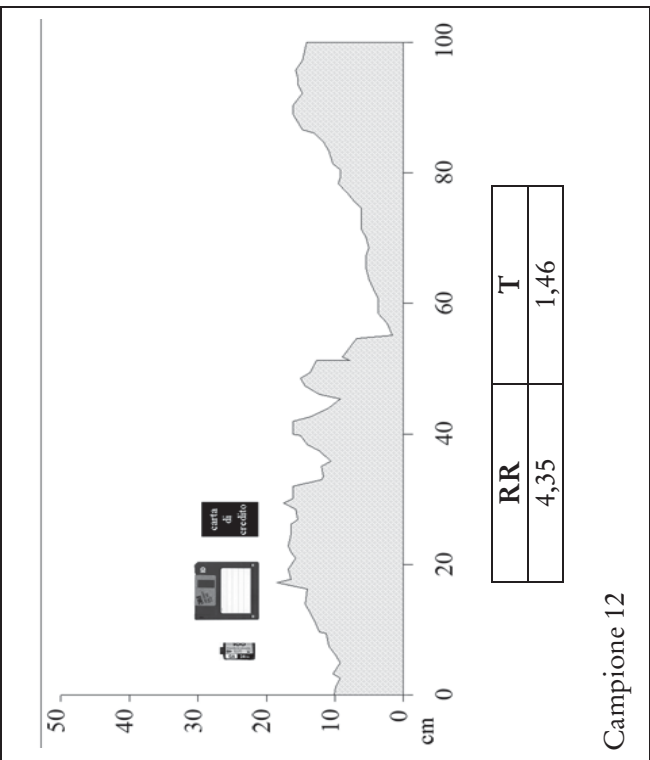
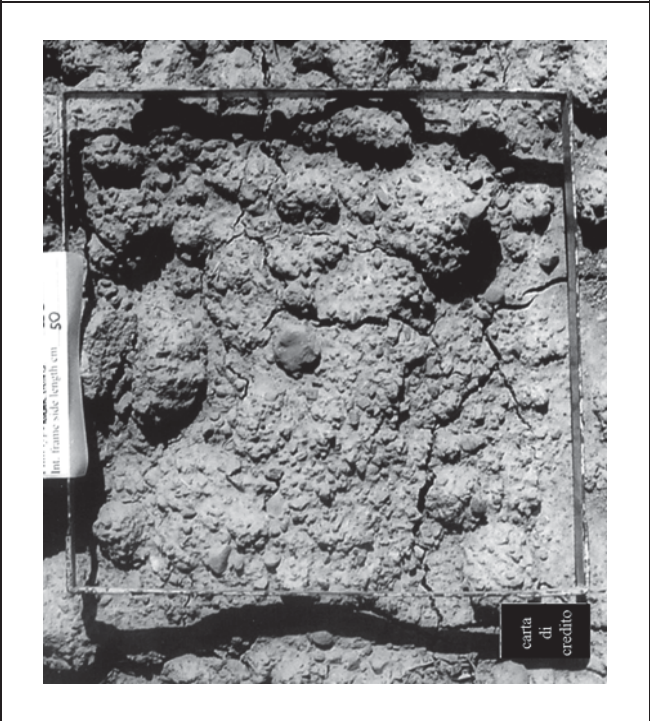
Campione 8

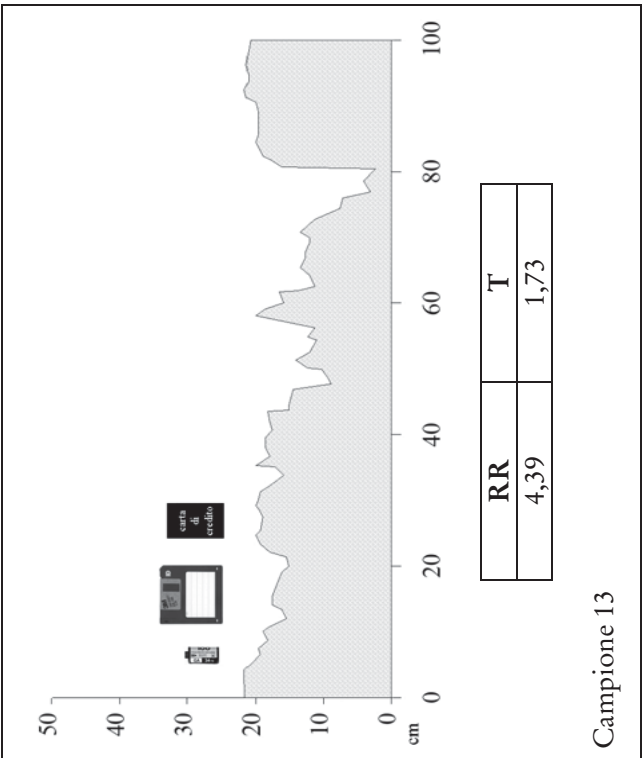
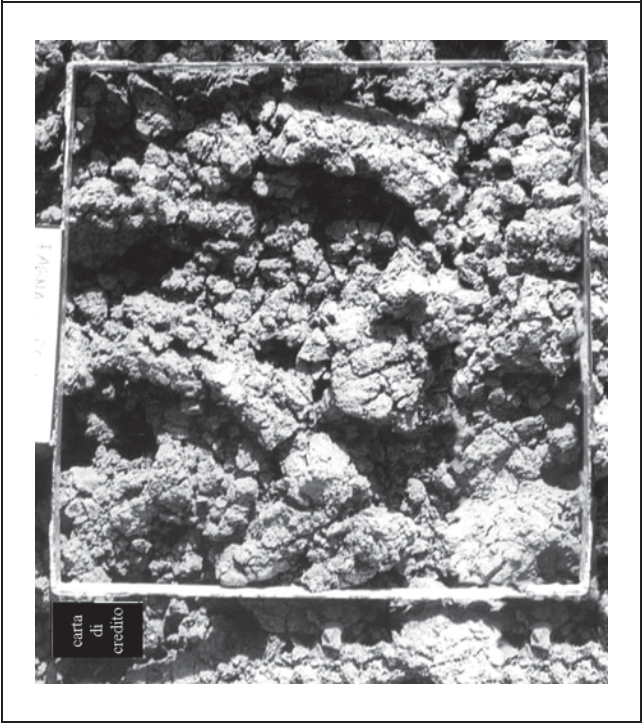


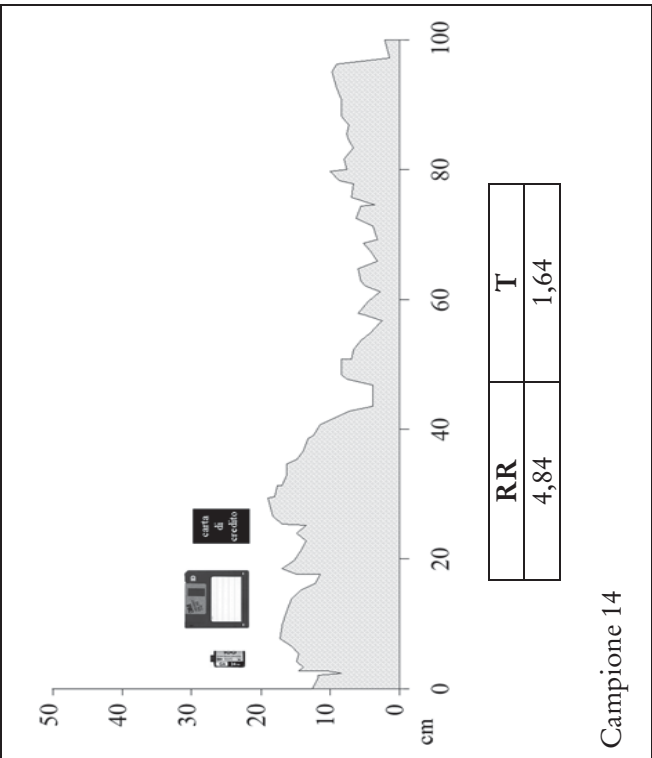
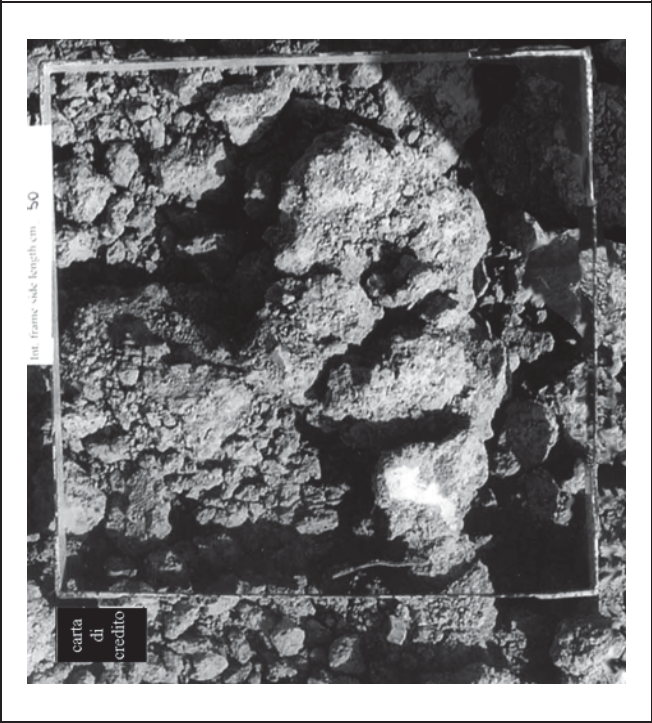
Campione 9

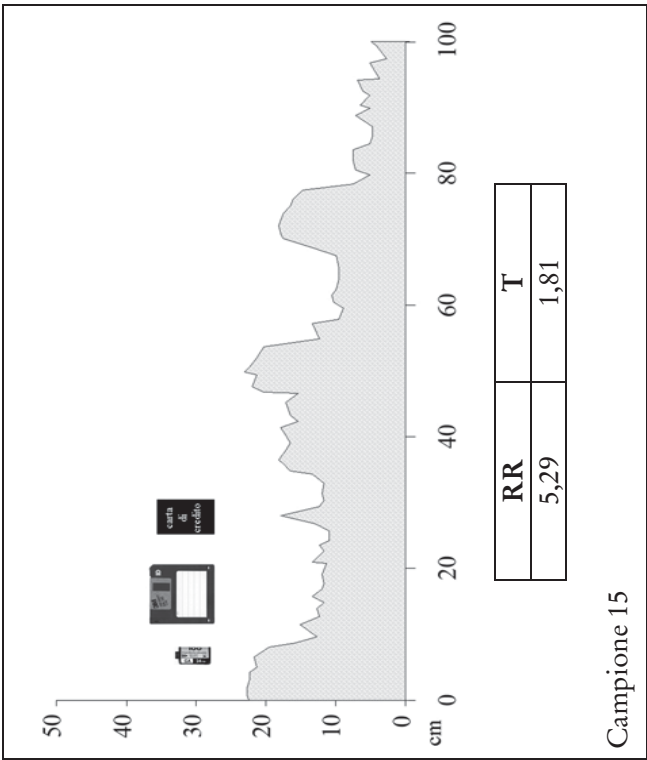




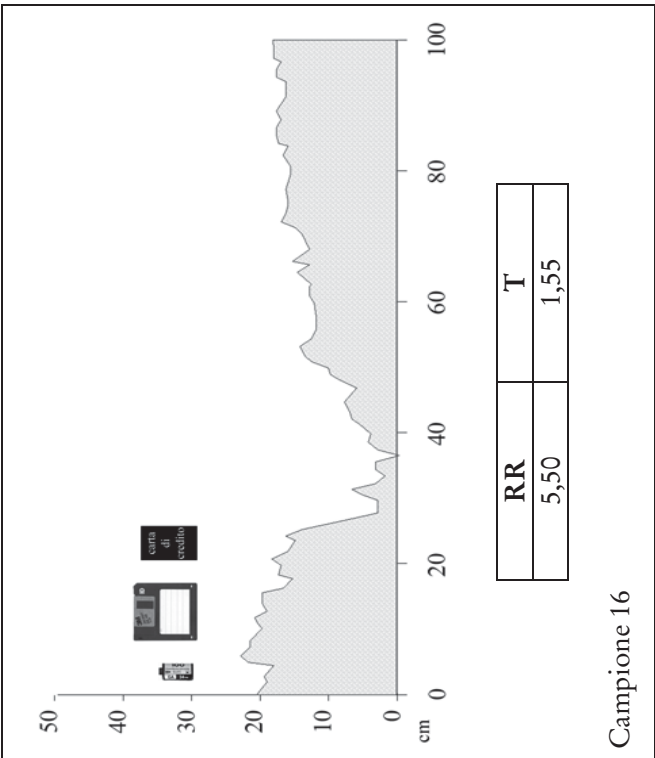
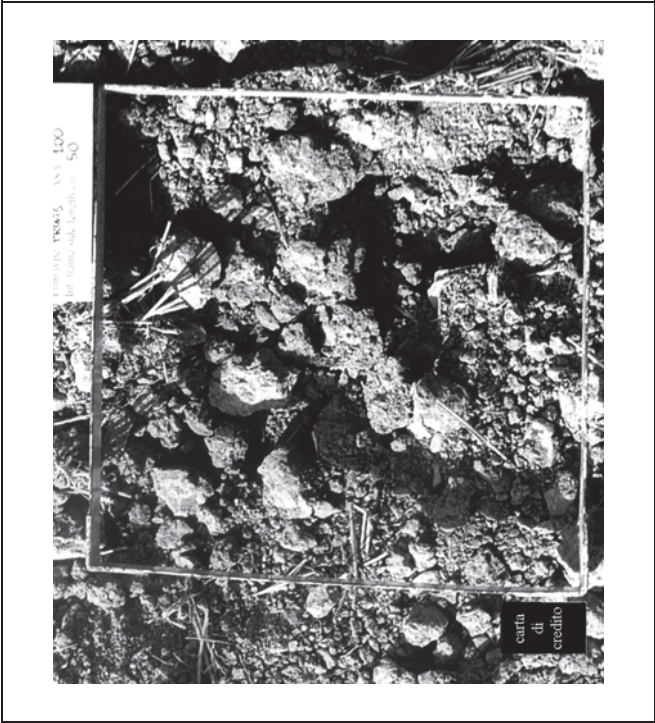




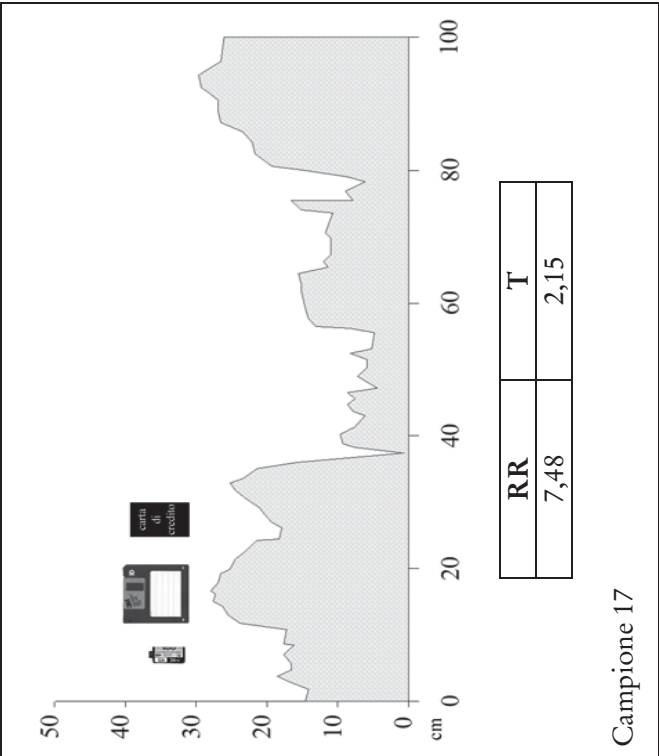
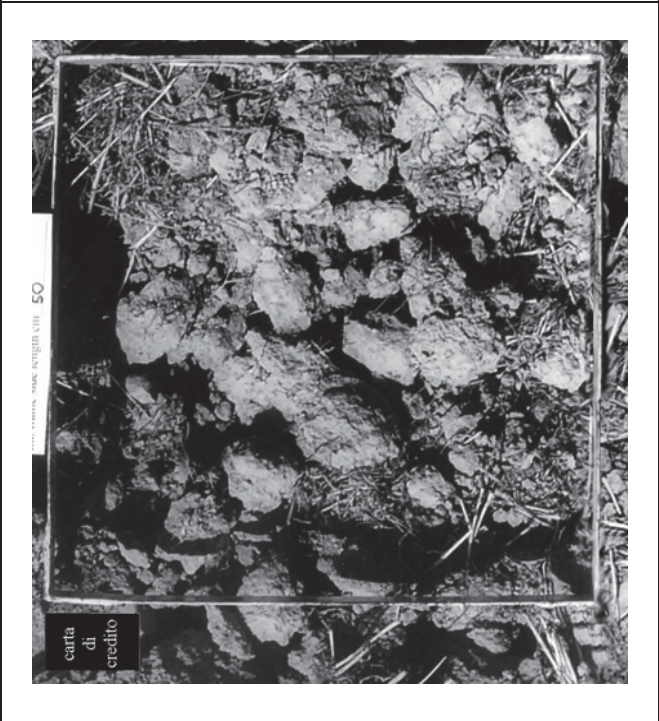


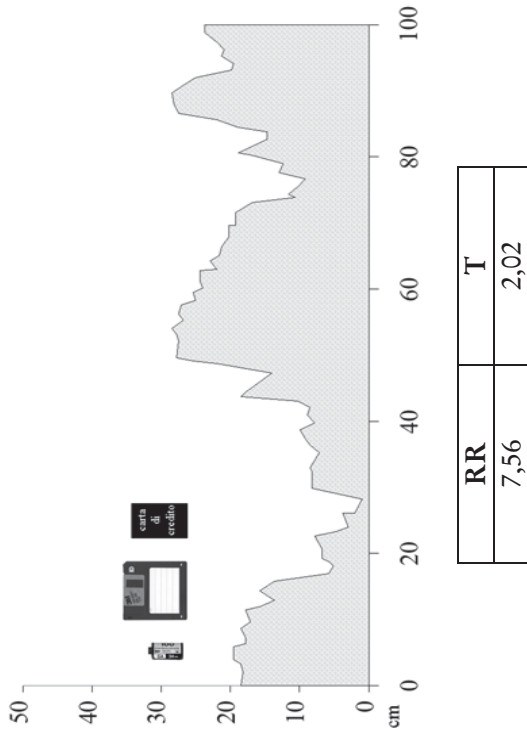


Campione 15

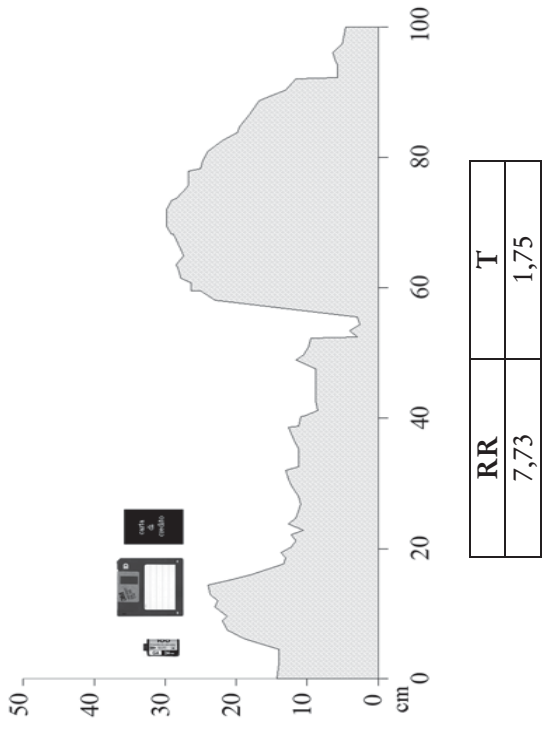


Campione 16

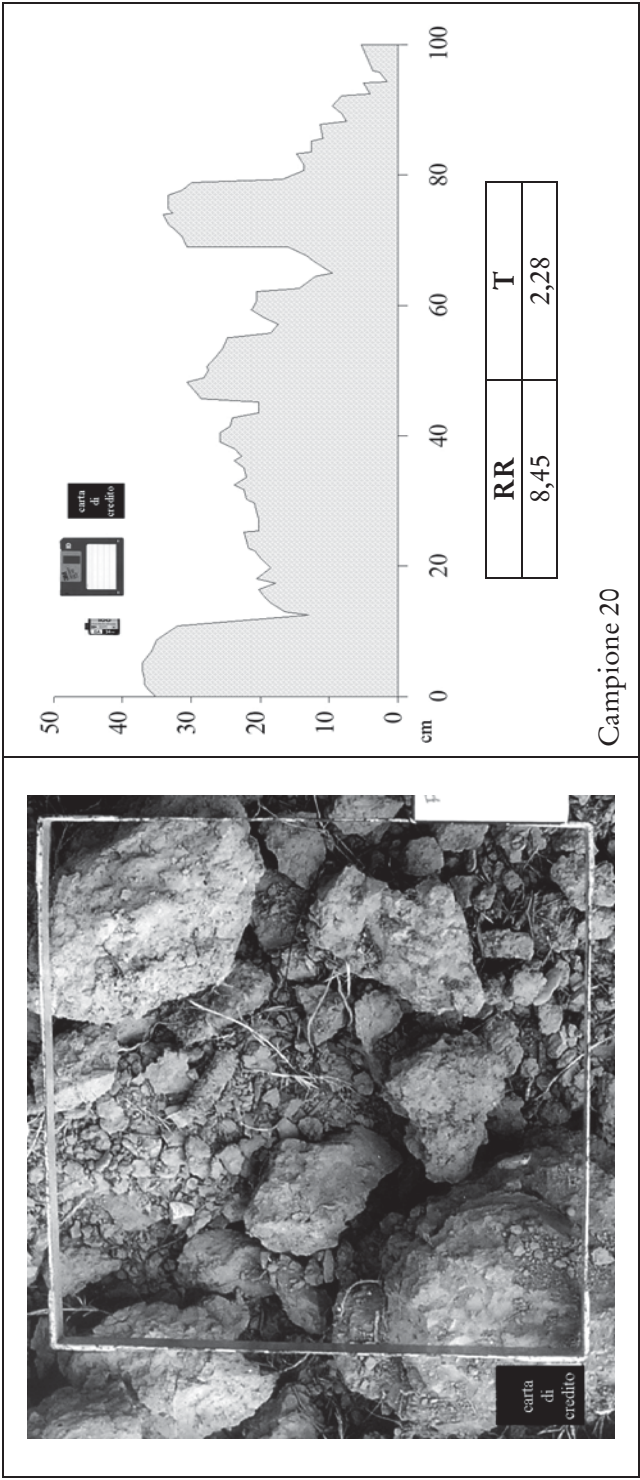




Campione 18



Campione 19



Bibliografia

- ALLMARAS, R.R., BURWELL, R.E., LARSON, W.E., HOLT, R.F., NELSON, W.W., 1966. *Total porosity and random roughness of the interrow zone as influenced by tillage*. USDA Conserv. Res. Report n.7, USDA-ARS., Washington D.C.
- ANDRLE, R., ABRAHAMAS, A., 1989. *Fractal techniques and the surface roughness of talus slopes*. Earth Surface Processes and Landforms, 14, 197-209.
- BERTUZZI, P., CAUSSIGNAC, J.M., STENGEL, P., MOREL, G., LORENDEAU, J.Y., PELLOUX, G., 1990a. *An automated non-contact laser profile meter for measuring soil roughness in situ*. Soil Science, 149, (3), 169-178.
- BERTUZZI, P., RAUWS, G., CORRAULT, D., 1990b. *Testing roughness indices to estimate soil surface roughness changes due to simulated rainfall*. Soil Till. Res., 17, 87-99.
- BOIFFIN, J., 1984. *La dégradation structurel des couches superficielles sous l'action des pluies*. These de Docteur-ingénieur, Inst. Nat. Agron., Paris, 128.
- BORSELLI, L., 1998. *Dinamica della rugosità superficiale del suolo e sua influenza nei processi di infiltrazione: analisi sperimentale e modellizzazione*. Università degli Studi di Firenze, Tesi di Dottorato inedita, 205, abstract: http://www.fi.cnr.it/irpi/borselli_tesi.htm.
- BURWELL, R.E., ALLMARAS, R.R., AMEMYIA, M., 1963. *A field measurement of total porosity and surface microrelief of soil*. Soil Sci. Soc. Am. Proc., 27, 697-700.
- CURRENCE, H.D., LOVELY, W.G., 1970. *The analysis of Soil Surface Roughness*. Transaction of the ASAE, 13, 710-714.
- GALLART, F., PARDINI, G., 1996. *Perfilu: un programa para el analisis de la rugosidad de perfiles microtopograficos mediante el estudio de la geometria fractal*. In: "IV reunion de geomorfologia", Grandal d'Anglade and Pages Valcarlos j. (Ed.), Sociedad Espanola de geomorfologia, O Castro (A Coruna), 164-176.
- GILLEY, J.E., FINKNER, S.C., 1991. *Hydraulic roughness coefficient as affected by random roughness*. Transaction of the ASAE, 34, 897-903.
- HAIGH, M.J., 1981. *Micro-profile measurement using the "Contour Gauge"*. British Geomorphological Research Group, Tech. Bulletin, 29, 31-32.
- HUANG, C., WHITE, I., THWAITE, E.G., BEDELI, A., 1988. *A noncontact laser system for measuring soil surface topography*. Soil Sci. Soc. Am. J., 2, 350-355.
- HUANGH, C., BRADFORD, J.M., 1992. *Application of a laser scanner to quantify soil microtopography*. Soil Science Society of America Journal, 54, 1402-1406.
- KAMPHORST, E. C., CHADOEUF, J., JETTEN, V., GUÉRIF, J., 2005. *Generating 3D soil surfaces from 2D height measurements to determine depression storage*. Catena, 62, 2/3, 189-205.
- KUIPERS, H., 1956. *A reliefmeter for soil cultivation studies*. Neth.J. Agric.Sci., 5, 255-262.
- LEHRSCHE, G.A., WISHLER, F.D., ROMKENS, M.J.M., 1988. *Selection of a parameter describing soil surface roughness*. Soil Sci. Soc. Am. J., 52, 1439-1445.
- LINDEN, D.R., VAN DOREN, D.M., 1986. *Parameters for characterising tillage induced soil surface roughness*. Soil Sci. Soc. Am. J., 52, 1439-1445.

- LINDEN, D.R., VAN DOREN, D.M., ALLMARAS, R.R., 1988. *A model of the effects of tillage-induced soil surface roughness on erosion*. In: 11th Intern. ISTRO Conf. Proc. vol.I, July 1988, Edinburgh, Scotland, 373-378.
- ONSTAD, C.A., 1984. *Depressional storage on tilled surfaces*. Transaction of the ASAE, 27, 729-732.
- PERFECT, E., KAY, B.D., 1995. *Application of fractals in soil and tillage research: a review*. Soil Till. Res., 36, 1-20.
- ROMKENS, M.J.M., WANG, J.Y., 1986. *Effect of Tillage on Soil*. Transaction of the ASAE, 29 (2), 429-433.
- ROMKENS, M.J.M., WANG, J.Y., 1986. *Soil roughness changes from rainfall*. Transaction of the ASAE, 30 (1), 101-106.
- SUMNER, M.E., STEWART, B.A., 1992. *Soil crusting: chemical and physical processes*. Lewis Publishers, Boca Raton, Florida.
- ZOBECK, T.M., ONSTAD, C.A., 1986. *Tillage and rainfall effects on random roughness: a review*. Soil Till. Res., 9, 1-20.

Ministero delle Politiche Agricole, Alimentari e Forestali
Osservatorio Nazionale Pedologico e per la Qualità del Suolo Agricolo e Forestale

In collaborazione con:
International Union of Soil Sciences
Società Italiana della Scienza del Suolo
Commissione VI - Uso e Conservazione del Suolo

BORSELLI, L., 2006. *Valutazione dell'erodibilità del suolo in applicazioni a scala di bacino*.
In: Costantini, E.A.C. (Ed.), *Metodi di valutazione dei suoli e delle terre*, Cantagalli,
Siena, pp. 922.

Collana dei metodi analitici per l'agricoltura diretta da Paolo Sequi, vol. 7

CRA - Consiglio per la Ricerca e la Sperimentazione in Agricoltura
Istituto Sperimentale per lo Studio e la Difesa del Suolo, Firenze

7. Valutazione dell'erosibilità del suolo in applicazioni a scala di bacino

Lorenzo Borselli¹

7.1 Introduzione	2
7.2 Modelli e criteri di valutazione dell'erosibilità del suolo	4
7.2.1 Il fattore K nei Modelli USLE-TYPE	5
7.2.2 Altre pedofunzioni e pedoalgoritmi per il calcolo di K (applicabili a modelli USLE-TYPE)	8
7.2.3. Variazioni stagionali dell'erosibilità	12
7.2.4. Considerazioni generali su modelli di valutazione dell'erosibilità	14
7.3. Valutazione dell'erosibilità del suolo: integrazioni da forme di erosione e caratteri aggiuntivi dei suoli.	15
7.4. Cartografia dell'erosibilità del suolo: un esempio di applicazione	18
7.5. Linee guida nella valutazione dell'erosibilità del suolo	23
Bibliografia	24

7.1 Introduzione

Per erosibilità del suolo si intende l'insieme delle caratteristiche di un suolo che indicano la sua propensione ad essere eroso dai seguenti processi e agenti esogeni: pioggia; ruscellamento; movimenti di massa superficiali; vento.

L'idea di erosibilità del suolo ha acquistato negli ultimi 50 anni un peso progressivamente più rilevante nel campo della modellistica dell'erosione e nelle applicazioni di difesa e conservazione del suolo. Tuttavia, l'erosibilità è un concetto preso in prestito dalla letteratura geomorfologica, che lo ha sviluppato e adottato fin dall'inizio del XX secolo. In quest'ambito il concetto di erosibilità è stato sovente utilizzato per dare una valutazione qualitativa della efficacia delle diverse forme di erosione prodotte da agenti esogeni quali acqua, ghiaccio e vento (Davis, 1909). Il concetto di erosibilità è stato per lungo tempo prevalentemente utilizzato da geologi e geografi e associato ai più

¹ CNR-IRPI - Istituto di Ricerca per la Protezione Idrogeologica, Firenze

importanti processi che caratterizzano la dinamica naturale delle terre emerse, (Taylor e Eggleton, 2001; Turkington et al., 2005). È intuitivo associare una diversa erodibilità ad un massiccio montuoso di rocce ignee e metamorfiche, rispetto ad un altro costituito da marne e argilliti profondamente inciso con calanchi. Infatti, la diversa efficacia dei processi e degli agenti geomorfici, a parità di condizioni climatiche, è associata direttamente alle caratteristiche del substrato roccioso e al suo stato di alterazione.

Nella seconda metà del XX secolo il grande sviluppo degli studi sull'erosione del suolo e la sperimentazione nel campo della conservazione del suolo hanno determinato un ampliamento del concetto di erodibilità anche al suolo, o, meglio, agli orizzonti pedologici. Il termine erodibilità del suolo fu utilizzato per la prima volta da Middleton (1930).

Un importante sviluppo al concetto di erodibilità del suolo è stato dato dagli studi e dalla vasta implementazione della modellistica USLE (*Universal Soil Loss Equation*, Wischmeier e Smith, 1978; Lafflen e Moldenhauer, 2003) e le sue derivazioni successive (Foster et al., 1981; Renard et al., 1997; Kinnell e Risse, 1998; Foster et al., 2002), implementazioni di una stessa base modellistica concettuale, che indicheremo in seguito come USLE-TYPE.

In pratica, il concetto qualitativo originale di erodibilità, di carattere geologico e geomorfologico, si è successivamente spostato, nel caso della scienza del suolo, verso una definizione di tipo quantitativo per mezzo di una parametrizzazione funzione di una o più caratteristiche pedologiche (Bryan, 2000). Soprattutto negli studi alla base dei modelli USLE-TYPE, il concetto di erodibilità ha assunto una rilevanza anche agronomica. Nella vasta panoramica della teoria e della modellistica dei processi d'erosione di suoli e sedimenti, il termine erodibilità ha attualmente una valenza complessiva geomorfologica-idraulica-agronomica e idrologica (Bryan, 2000). Il termine erodibilità, associato ai suoli, diventa così uno strumento di valutazione della propensione intrinseca del suolo ad essere eroso dagli agenti esogeni.

L'erodibilità del suolo non è una grandezza fisica o una proprietà fondamentale misurabile, come una lunghezza o una forza. L'erodibilità del suolo può essere tuttavia espressa mediante un attributo sia qualitativo, sia quantitativo. Nel primo caso, si procede attraverso procedure sperimentali di comparazione che mettono in relazione gli effetti su più suoli soggetti alle medesime sollecitazioni. Nel secondo caso, l'erodibilità del suolo può essere espressa come un indice numerico o un parametro dimensionalmente definito, solitamente un coefficiente di proporzionalità tra una forza, una pressione, una energia legata a uno o più specifici processi o agenti erosivi, e il prodotto di questi agenti o processi espresso come tasso di erosione o totale eroso. In questo ultimo caso, il valore numerico che esprime l'erodibilità è strettamente legato a un modello per la stima del tasso di erosione del suolo.

L'uso di un parametro numerico per esprimere l'erodibilità del suolo è sicuramente vantaggioso, soprattutto in ambito modellistico, tuttavia è anche una forte limitazione perché diventa strettamente vincolato al particolare

modello di stima scelto. Non esiste in pratica, quindi, un indice universale di erodibilità.

I fattori che influenzano l'erodibilità del suolo sono complessi. Nel caso dei processi di erosione idrica, l'erodibilità di un suolo è legata a diversi fattori:

1. condizioni di stato di aggregazione e stabilità degli aggregati durante la fase di primo bagnamento (resistenza allo *slaking*);
 2. dispersibilità della frazione argillosa (azione chimica di deflocculazione);
 3. resistenza agli sforzi di taglio in superficie (resistenza al distacco operato dall'impatto delle gocce di pioggia e deflusso superficiale);
 4. capacità d'infiltrazione e conseguente capacità di produzione di deflusso superficiale;
 5. propensione alla formazione di croste di sigillamento superficiale (*sealing*).
- Secondo Torri e Poesen (1997), l'erodibilità del suolo cresce con l'aumentare delle caratteristiche di cui ai punti 2 e 5, e può diminuire con le caratteristiche di cui ai punti 1, 3, 4.

La risposta del suolo ai processi sopra elencati non è costante, ma varia nel tempo. Ad esempio, il contenuto d'acqua iniziale al momento della pioggia ha un'influenza determinante sulla risposta idrologica e sulla possibilità o meno di avere un processo di *slaking* (disgregazione e indebolimento degli aggregati di suolo asciutti dovuto alle tensioni matriciali che si sviluppano con il primo bagnamento) attivo nelle fasi iniziali dell'evento. L'erodibilità ha quindi componenti molto dinamiche nel tempo (Torri e Borselli, 2000). Per questo motivo è fondamentale l'intervallo temporale nel quale l'erodibilità viene valutata. Infatti, alcuni processi precedentemente indicati agiscono su scale temporali diverse, quindi un'erodibilità valutata su un intervallo temporale medio di un anno avrà una complessità diversa da quella valutata sulla base di un singolo evento di pioggia.

In questo capitolo si tenterà di guidare il lettore nella scelta di criteri di valutazione dell'erodibilità del suolo. Dato l'orientamento di questo manuale, ci si limiterà a quei criteri di stima e valutazione che possano essere adottati nell'ambito di studi a scala di bacino. Tuttavia, si cercherà di fornire al lettore un inquadramento generale delle proprietà del suolo che maggiormente influenzano l'erodibilità, fornendo al contempo alcune indicazioni generali sui vari approcci modellistici esistenti per la sua stima.

7.2 Modelli e criteri di valutazione dell'erodibilità del suolo

Le valutazioni quantitative dell'erodibilità sono necessariamente legate ad un contesto modellistico dove tale parametro viene utilizzato per valutare un tasso potenziale di erosione del suolo, all'interno di una predefinita scala spazio-temporale, attraverso forme di erosione diffusa o incanalata.

Oltre l'80% dei modelli attuali d'erosione del suolo (Doe et al., 1999; Merritt et al., 2003) fanno uso di una parametrizzazione esplicita dell'erodibilità, solitamente attraverso un solo coefficiente di erodibilità, talvolta con più di uno (Misra e Rose, 1996; Rose et al., 1997; Foster et al., 1995; Lafflen et al., 1997; Morgan et al., 1998). La diversità delle tecniche modellistiche impiegate, discretizzazione spazio-temporale e tipologia dei modelli (fisico, concettuale, distribuito, per eventi, annuale, ecc.), rende estremamente disomogenea la caratterizzazione dell'erodibilità del suolo. Alcuni modelli per la stima dell'erosione del suolo presentano un'intrinseca difficoltà ad essere applicati a livello di bacino. In questo capitolo ci limiteremo ad analizzare i criteri di valutazione dell'erodibilità per i modelli che presentano un numero d'applicazioni elevato o una maggiore facilità di applicazione, ovvero i modelli USLE-TYPE.

7.2.1 Il fattore *K* nei Modelli USLE-TYPE

Nei modelli USLE-TYPE, l'erodibilità del suolo è derivata dallo studio dell'effetto combinato di precipitazioni, *runoff* ed infiltrazione. Secondo Wischmeier e Smith (1978) e Lafflen e Moldenhauer (2003), il fattore di erodibilità *K* è il tasso di perdita di suolo per pioggia di erosività unitaria, da una superficie "unitaria" (lunghezza 22,18 m), di pendenza uniforme (9%), priva di vegetazione e continuamente lavorata. Nel sistema internazionale (SI) *K* è espresso in $\text{Mg ha h ha}^{-1} \text{ MJ}^{-1} \text{ mm}^{-1}$ (Foster et al., 1981) ed i valori di *K* si riferiscono a medie annuali di lungo periodo. I valori medi dovrebbero essere calcolati quindi su sperimentazioni di lungo periodo (20 anni).

I valori *K* sono individuati ricorrendo al nomogramma di Wischmeier (Wischmeier et al., 1971), successivamente modificato da Foster et al. (1981) e Rosewell (1993), per esprimere *K* in unità SI ($\text{Mg ha h ha}^{-1} \text{ MJ}^{-1} \text{ mm}^{-1}$), basato sulla seguente formula:

$$K = 2.77 \times 10^{-7} (12 - OM) M^{1.14} + 4.28 \times 10^{-3} (s - 2) + 3.29 \times 10^{-3} (p - 3) \quad (1)$$

dove:

$$M = T_f (100 - C) \quad (2)$$

e T_f è la percentuale in peso della frazione di suolo compresa tra 0,002 e 0,1 mm (limo + sabbia molto fine), OM la sostanza organica (%), C è la frazione % di argilla (< 0,002mm), p è la classe di permeabilità (tabella 7.1), s la classe di struttura (tabella 7.2) (Soil Survey Staff, USDA, 1951). La formula è applicabile per un contenuto in limo non superiore al 70%. Si noti che l'utilizzo del nomogramma tessiturale secondo l'equazione (1) comporta necessariamente l'utilizzo della classificazione tessiturale e divisioni in classi secondo la classificazione USDA.

Per quanto riguarda l'attribuzione della classe di permeabilità (classi da 1 a 6), si può procedere anche mediante una valutazione qualitativa seguendo i criteri originali espressi nel citato manuale (Soil Survey Staff, USDA, 1951) alle pagine 168-170, e qui rappresentato nella tabella 7.1. Si noti che le classi di permeabilità nelle edizioni successive dei manuali USDA sono cambiate. Tuttavia, il nomogramma è stato sviluppato usando come riferimento l'edizione del 1951.

Tabella 7.1. Classi di permeabilità (Soil Survey Staff, USDA, 1951).

Classe di permeabilità	Permeabilità a livello dell'intero profilo
1	rapida > 130 mm/h
2	da moderata a rapida 60-130 mm/h
3	moderata 20-60 mm/h
4	da lenta a moderata 5-20 mm/h
5	lenta 1-5 mm/h
6	molto lenta < 1 mm/h

Tabella 7.2. Classi di struttura (Soil Survey Staff, USDA, 1951).

Dimensione struttura	Forma struttura	Classe struttura
Fine	Laminare, prismatica, poliedrica angolare, poliedrica subangolare	4
Media	Laminare, prismatica, poliedrica angolare, poliedrica subangolare	4
Grossolana	Laminare, prismatica, poliedrica angolare, poliedrica subangolare	4
Molto grossolana	Laminare, prismatica, poliedrica angolare, poliedrica subangolare	4
Fine	Granulare	1
Media	Granulare	2
Grossolana	Granulare	3
Molto grossolana	Granulare	3

Per usare l'equazione (1) è necessario conoscere la frazione di suolo compresa tra 0,002 e 0,1 mm. Qualora il passante a 0,1 mm non fosse misurato in modo diretto, questo deve essere ricavato mediante interpolazione della curva di distribuzione granulometrica (Nemes et al., 1999). Per superare questo elemento di incertezza, basandosi su numerosi test su suoli australiani, alcuni autori (Loch e Rosewell, 1992; Rosewell, 1993; Loch et al., 1998) suggeriscono di usare la seguente relazione per la stima di M da utilizzare nell'equazione (1),

con un campo di applicazione esteso a tutti i suoli e in particolare ai suoli con elevata aggregazione e contenuto di argilla:

$$M = \% \text{ passante a } 0,125 \text{ mm} \quad (3)$$

Gli autori australiani citati in precedenza suggeriscono anche di considerare per la stima di M , oltre all'equazione (3), anche la seguente modifica per la stima del fattore K :

$$K_m = \frac{K}{d_s - 1} \quad (4)$$

dove d_s è la densità umida dei sedimenti espressa in Mg m^{-3} , valutabile anche mediante la seguente relazione (Loch e Rosewell, 1992; Loch et al., 1998):

$$d_s = 1.462 + 0.048(1.03259^X) \quad (5)$$

dove X è la percentuale totale $> 0,02 \text{ mm}$.

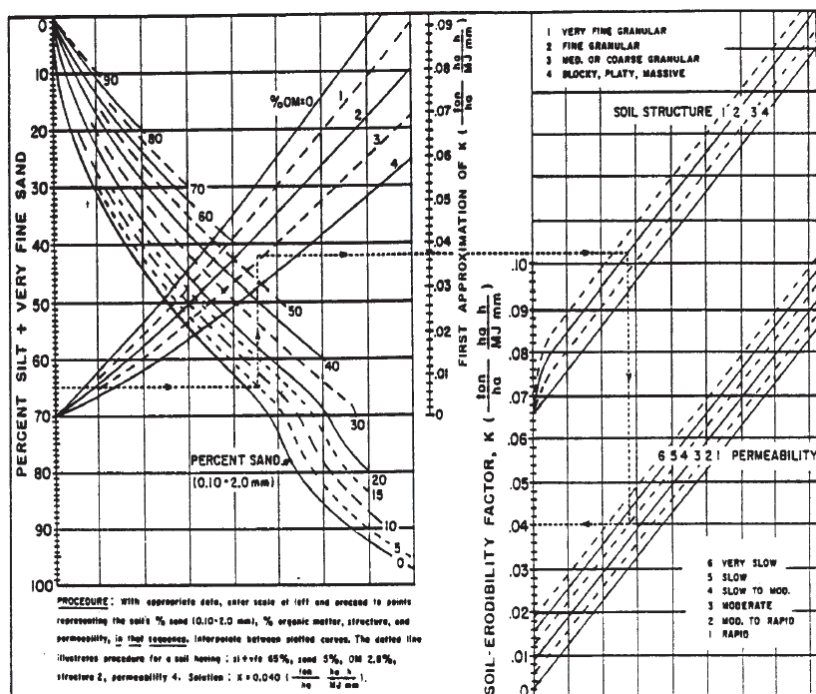


Figura 7.1. Nomogramma per il calcolo del fattore K (espresso in unità internazionali), Foster et al. (1981).

Secondo gli autori australiani, le equazioni (3, 4) dovrebbero essere usate in alternativa alla metodologia classica delle equazioni (1, 2), e comunque nel caso di suoli con elevati contenuti di argilla, o molto aggregati (ad esempio, vertisuoli o suoli con forte stabilità di struttura), suoli per i quali ci sono limitazioni nell'uso delle equazioni (1, 2) e del nomogramma in figura 7.1.

Il nomogramma di figura 7.1 e le equazioni (1, 2) sono di per sé una forma di pedofunzione, ovvero una funzione matematica particolare che permette, a partire da alcune proprietà misurate o stimate del suolo, di arrivare ad una stima del valore di K. Nonostante le equazioni (1, 2) e il nomogramma presentato in figura 7.1 abbiano un'applicabilità generale, anche attraverso le modifiche proposte nelle equazioni (3, 4, 5), sono state sviluppate successivamente altre pedofunzioni e pedoalgoritmi per la stima di K.

7.2.2 Altre pedofunzioni e pedoalgoritmi per il calcolo di K (applicabili a modelli USLE-TYPE)

All'interno del modello *Revised Universal Soil Loss Equation* (RUSLE, Renard et al., 1997), viene utilizzato il nomogramma espresso dall'equazione (1). Tuttavia, per avere una più generale applicazione, altri autori hanno proposto alcune modifiche al calcolo di K rispetto al nomogramma di Wischmeier-Foster di equazione (1). Nel manuale del modello RUSLE (Renard et al., 1997), viene riportata una formulazione alternativa per la stima di K basata su un largo *dataset* di misure sperimentali, effettuate per 225 suoli in località distribuite a livello globale. Per suoli con scheletro inferiore al 10%, in particolare, il valore di K espresso in unità internazionali ($\text{Mg ha h ha}^{-1} \text{ MJ}^{-1} \text{ mm}^{-1}$) è stimabile mediante la seguente pedofunzione:

$$K = 0.0034 + 0.0405e^{\left[-0.5\left(\frac{\log_{10} dg + 1.659}{0.7101}\right)^2\right]} \quad (6)$$

dove dg è il diametro medio geometrico delle particelle (mm), calcolato nella modalità indicata da Shirazi e Boersma (1984):

$$dg = e^{\left[0.01 \sum f_i \ln m_i\right]} \quad (7)$$

dove f_i è la percentuale della i-esima frazione granulometrica e m_i il rispettivo diametro medio (mm).

Questa formulazione viene presentata nella RUSLE per un uso generale, nel caso non vi siano le condizioni già viste per l'uso dell'equazione (1). L'equazione (6) è utile nel caso non siano disponibili tutti gli *input* necessari al calcolo del fattore K secondo l'approccio di Wischmeier-Foster. Si noti però che il valore dell'equazione (6) non tiene conto dei possibili effetti del

contenuto di sostanza organica sull'erodibilità. Inoltre, l'elevato valore del coefficiente di determinazione fornito dall'autore per l'equazione (6) è determinato in realtà dal fatto che l'equazione (6) è derivata mediante una regressione non lineare tra i valori medi di K per differenti valori di dg. In pratica, considerando l'effettiva dispersione globale dei dati, si ottiene un valore del coefficiente di determinazione estremamente basso.

Cercando di sviluppare un approccio maggiormente integrato e completo, Torri et. al. (1997; 2002) hanno proposto una formulazione alternativa, derivata da un più largo *dataset* globale relativo a 240 suoli con una quantità di scheletro inferiore al 10%, che in più richiede in *input* anche il contenuto % in sostanza organica (OM). La formulazione alternativa proposta per il calcolo del fattore K, espresso in unità internazionali (Mg ha h ha⁻¹ MJ⁻¹ mm⁻¹), è la seguente:

$$K = 0.0293(0.65 - Dg + 0.24Dg^2)e^{\left\{-0.021\frac{OM}{C} - 0.00037\left(\frac{OM}{C}\right)^2 - 4.02C + 1.72C^2\right\}} \quad (8)$$

dove C è la frazione totale di argilla (espressa come frazione), OM la percentuale di sostanza organica e Dg il logaritmo, in base dieci, del diametro medio geometrico della distribuzione granulometrica, che può essere calcolato direttamente secondo Shirazi et al. (1988):

$$D_g = \sum f_i \log_{10}(\sqrt{d_i d_{i-1}}) \quad (9)$$

dove f_i è la frazione delle particelle comprese tra i diametri d_i e d_{i-1} (in mm). Nel caso si disponga solo delle tre principali componenti tessiturali del suolo (sabbia, limo e argilla), il fattore:

$$\log_{10}(\sqrt{d_i d_{i-1}})$$

nell'equazione (9) viene calcolato come nella tabella 7.3.

Tabella 7.3. Ausilio al calcolo del parametro Dg nel caso delle tre componenti tessiturali fondamentali.

Classi tessiturali	d_i (mm)	d_{i-1} (mm)	$d_i d_{i-1}$	$\log_{10}(\sqrt{d_i d_{i-1}})$
Argilla (*)	0,002	0,00005	0,0000001	-3,5
Limo	0,05	0,002	0,0001	-2
Sabbia	2	0,05	0,1	-0,5

(*) Per convenzione, il limite inferiore per le particelle di argilla è posto pari a 0,00005 (mm), Shirazi et al. (1988).

Nel caso si disponga delle sole percentuali di sabbia (S), limo (L) e argilla (C), D_g può essere stimato attraverso il diagramma tessiturale modificato di figura 7.2 o calcolato dalla seguente formula semplificata:

$$D_g = \frac{-3.5C - 2.0L - 0.5S}{100} \quad (10)$$

Uno studio comparativo delle equazioni (6, 8), condotto su un database pedologico italiano di 190 profili (Francaviglia et al., 2003), ha indicato come queste due pedofunzioni siano pressoché equivalenti e presentino gli stessi ambiti di incertezza nella stima di K. Nel medesimo studio è stata testata anche la procedura basata su un pedoalgoritmo con logica *fuzzy* implementato nel software FUZKBAS (Torri et. al., 1997) (<http://www.fi.cnr.it/irpi/software.htm>).

Quest'ultima procedura, come hanno evidenziato Francaviglia et al. (2003), mostra i risultati più interessanti e la miglior discriminazione e differenziazione dei valori di K nell'ambito del database pedologico analizzato.

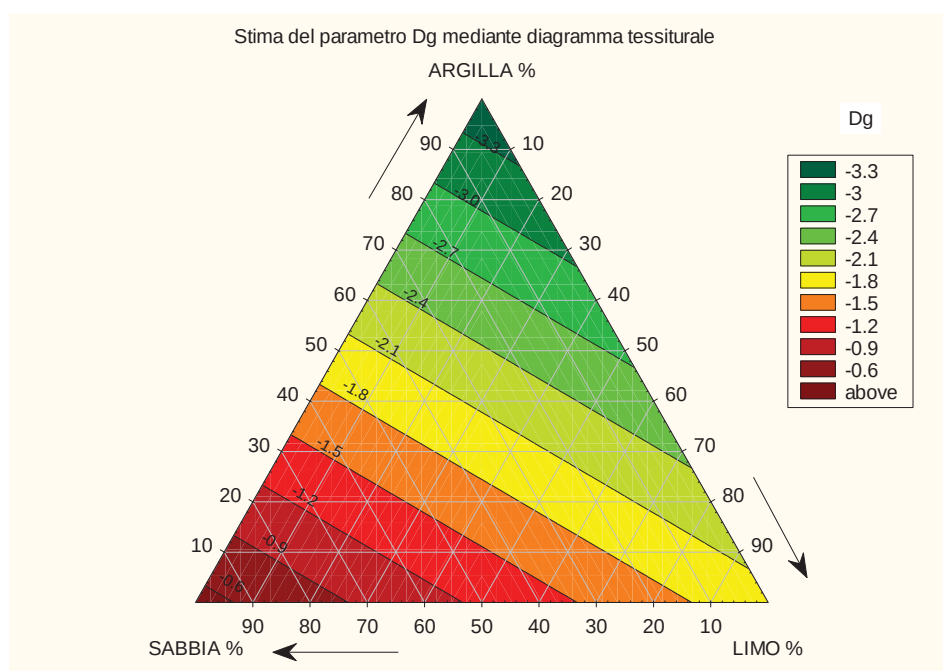


Figura 7.2. Diagramma ternario per la stima speditiva del parametro D_g (logaritmo, in base dieci, del diametro medio geometrico della distribuzione granulometrica) utilizzato nell'equazione (8).

Nel software FUZKBAS (Torri et. al., 1997), la stima di K viene effettuata con gli stessi parametri di *input* della pedofunzione in equazione (8), tuttavia come *output* non viene fornito un unico valore di K, ma una distribuzione di valori intorno a un valore di riferimento. Si tratta, inoltre, di grandezze definite

da variabili *fuzzy*, la cui distribuzione non è definita a priori (Torri et al., 1997). L'analisi con tecniche *fuzzy* del database globale di valori di K è sicuramente un miglioramento rispetto ad un'analisi statistica tradizionale, che, come dimostrano gli autori, non fornisce risultati rilevanti.

Recentemente, Torri et al. (2005, in stampa) hanno esteso l'analisi del database globale anche ai suoli con contenuto di litici (scheletro + pietrosità + rocciosità) > 10% in volume, portando il *dataset* ad un totale di 334 suoli. L'insieme dei valori è stato analizzato utilizzando nuovi metodi statistici unitamente ad un approccio più generale, interamente probabilistico, in sostituzione della metodologia *fuzzy* del software FUZKBAS, citato in precedenza.

Dall'esame del nuovo *dataset* allargato, si nota che la maggior influenza sul fattore K è data dal clima e dall'abbondanza di elementi litici (totale di scheletro + pietrosità + rocciosità). Nella figura 7.3 sono indicati i principali raggruppamenti del database. Si rileva la differenza delle varie popolazioni definite da raggruppamenti climatici: clima continentale fresco (C), clima caldo/tropicale/mediterraneo (H). Si noti che questa diversificazione su base climatica è presente sia nei suoli con litici totali < 10%, sia in quelli con litici totali > 10%.

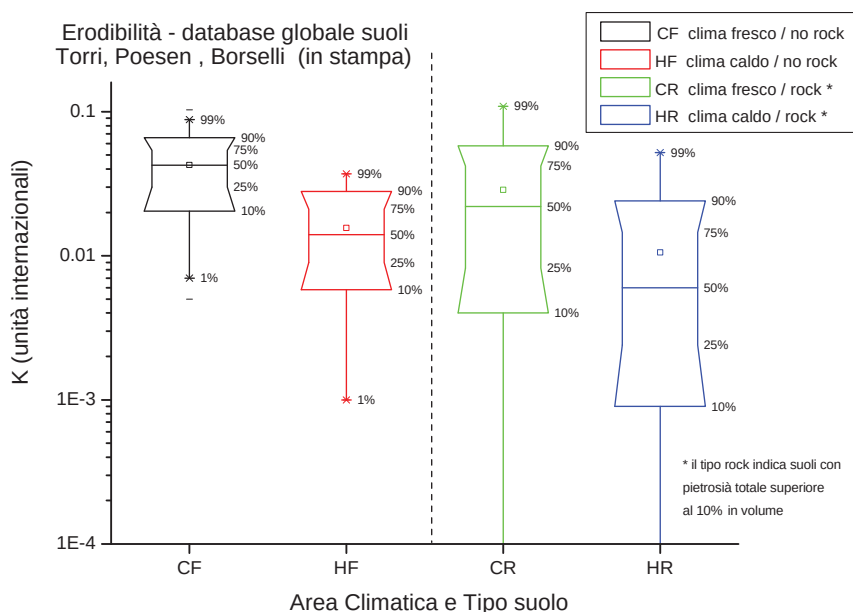


Figura 7.3. *Box and Whiskers plot* delle distribuzioni dei valori di erodibilità misurata per vari raggruppamenti di clima e caratteristiche di pietrosità dei suoli.
Dati provenienti da Torri et al. (2005 in stampa - grafico originale)

La necessità di generalizzare la metodologia non deterministica per la stima di K ha portato ad utilizzare una nuova tecnica e a sviluppare un software specifico, KUERY versione.1.2 (<http://www.fi.cnr.it/irpi/software.htm>), (Torri et al. 2005, in stampa), che permette, conoscendo il raggruppamento climatico, la percentuale di litici totali (R), il contenuto percentuale di sostanza organica (OM), il logaritmo in base 10 del diametro medio geometrico della distribuzione tessiturale del suolo (Dg), il logaritmo in base 10 della deviazione standard geometrica della distribuzione tessiturale (Sg), di interrogare il database e ottenere la distribuzione dei valori di K attesi per valori di *input* similari.

Nella nuova procedura, il parametro Sg, già definito da Shirazi e Boersma (1984) e Shirazi et al. (1988), è calcolabile con la seguente espressione:

$$S_g = \sqrt{\sum f_i \left[\log_{10} \left(\sqrt{d_i d_{i-1}} \right) - D_G \right]^2} \quad (11)$$

che, nel caso si disponga delle sole percentuali di sabbia (S), limo (L), argilla(C) e Dg calcolato con le equazioni (9,10), può essere calcolato con la seguente equazione semplificata:

$$S_g = \sqrt{\frac{C(-3.5 - Dg)^2 + L(-2.0 - Dg)^2 + S(-0.5 - Dg)^2}{100}} \quad (12)$$

Nella procedura di applicazione è necessario quindi conoscere per ogni suolo, relativamente agli orizzonti superficiali, il gruppo climatico, i parametri Dg, Sg, OM e R. Con questa base di *input* viene derivata una distribuzione di possibili valori di K e i relativi parametri statistici (media, deviazione standard, mediana, moda e i vari quantili). Un'analisi della distribuzione ottenuta permette una scelta ragionata del valore di K più rappresentativo, come mostreremo in seguito nell'esempio d'applicazione a scala di bacino, facendo uso d'informazioni aggiuntive sul suolo che normalmente non sono rappresentate nei parametri usualmente utilizzati nella stima di K.

Nella figura 7.4 è mostrato un esempio di *output* sintetico del pedoalgoritmo KUERY 1.2. La distribuzione di densità di probabilità (PDF) è relativa ad un suolo con litici totali < 10%, Dg = -2,4, OM = 2%, Sg = 1,2 e appartenente a località a clima caldo e/o mediterraneo.

7.2.3. Variazioni stagionali dell'erodibilità

Nei modelli USLE e RUSLE viene anche considerata una variabilità stagionale del valore di K medio. Questa variabilità può essere considerata su base mensile o quindicinale (Rernad et al., 1997). In quest'ultimo caso possono venire calcolati fino a 24 valori distinti in funzione del contenuto di umidità del suolo

e dei cicli di gelo e disgelo. In generale, viene calcolato un coefficiente correttivo al valore K medio annuale definito dalla seguente espressione:

$$K_{mr} = \frac{K_m}{K} \quad (13)$$

dove K_{mr} è il rapporto dell'erodibilità mensile K_m e del valore medio annuale K.

La variazione dell'erodibilità nel corso dell'anno viene presa in considerazione utilizzando dei fattori di correzione stagionali, il cui valore è fortemente influenzato dall'andamento termo-pluviometrico della stazione considerata (Zanchi, 1983; Mutchler et al., 1983). L'esame dei dati relativi a 169 eventi tra il dicembre 1977 e l'agosto 1983 (Zanchi, 1983; 1988), ha rivelato un andamento fortemente differenziato nei vari mesi dell'anno e la migliore interpolazione dei dati sperimentali è stata ottenuta con l'equazione interpolante:

$$K_{mr} = 1 + 0.9 \cos(0.532t) \quad (14)$$

dove il tempo t, che rappresenta il mese dell'anno, è espresso con un numero (gennaio=0.5, febbraio=1.5, ecc.) e tutto l'argomento del coseno è espresso in radianti. Relazioni simili sono state trovate da altri autori in altri ambienti caratterizzati da andamenti stagionali diversi da quelli dell'Appennino Tosco Emiliano.

Un nuovo approccio che ha caratteristiche più generali è quello sviluppato da Torri et al. (2005, in stampa), utilizzando un *dataset* proveniente da tre località: Minnesota(USA), Mississippi (USA), Toscana (Italia) con 4 suoli. Il nuovo metodo si basa sul calcolo di un indice relativo alla temperatura media cumulata dell'aria a partire dal mese con la temperatura media più bassa.

$$T_u = \frac{1}{T_{\max} - T_{\min}} \sum_{M_0}^M T_J, \quad T_J > 0 \quad (15)$$

dove:

T_u è un indice adimensionale relativo alla temperatura media cumulata dell'aria; $T_{\max}$ (°C) è la temperatura media mensile più elevata; $T_{\min}$ (°C) è la temperatura media mensile più bassa; M_0 è l'indice numerico intero del mese con il più basso valore di temperatura media dell'aria; M è l'indice numerico intero per il quale T_u viene calcolato (valori da 1 a 12); J è un indice numerico intero, relativo al mese considerato, variabile tra M_0 e M; T_J (°C) è la temperatura media del mese T. Usando questa definizione K_{mr} può essere calcolato con la seguente equazione:

$$K_{mr} = 4.75 \cos[0.373 \ln(3.223T_u)] + \frac{24.1}{14.0 - T_u} - 4.83 \quad (16)$$

Si noti che qualora K_{mr} calcolato assuma valori $< 10^{-3}$, deve essere posto uguale a 0.

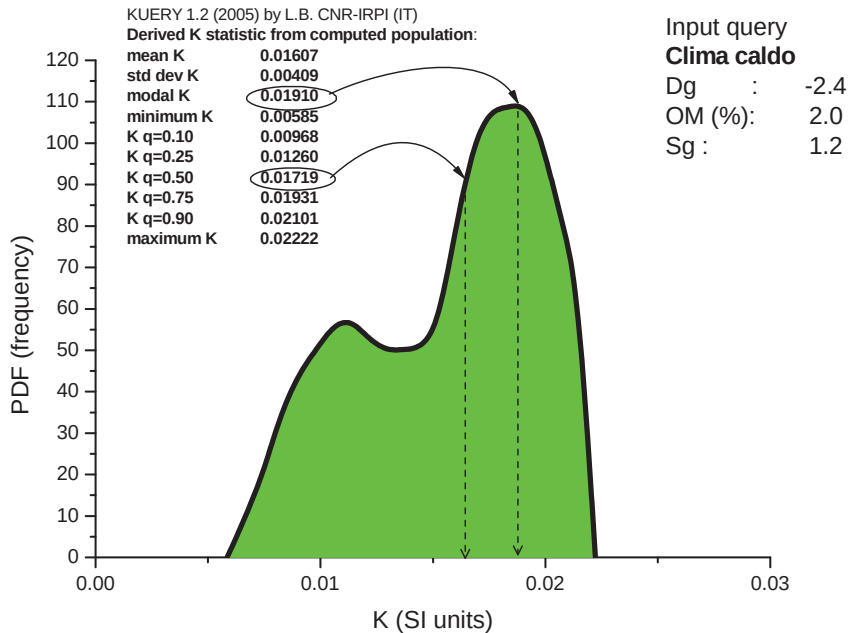


Figura 7.4: Output del pedoalgoritmo KUERY 1.2. Distribuzione dei possibili valori di K per un suolo ubicato in un raggruppamento climatico caldo - mediterraneo.

7.2.4. Considerazioni generali su modelli di valutazione dell'erosività

Anche solo limitandoci a una descrizione delle pedofunzioni e pedoalgoritmi collegati ai modelli USLE-TYPE, si nota la grande incertezza nella stima di K. Abbiamo infatti una incertezza modellistica, ovvero legata all'affidabilità e rappresentatività del modello scelto, e una di tipo parametrico, legata alle inesattezze e rappresentatività dei parametri del suolo che vanno a costituire l'*input* per le equazioni e gli algoritmi di stima già visti. Per quanto riguarda l'incertezza parametrica, la questione della variabilità spaziale e temporale dei parametri di *input* deve essere affrontata seguendo criteri statistici e geostatistici. A livello di studi di bacino essa riveste una particolare importanza soprattutto quando si associa una particolare unità pedologica e le proprietà di un suo profilo rappresentativo, o considerato tale.

La scelta del modello di stima di K ha la sua importanza. La scelta di una singola pedofunzione di stima è oramai superata dal fatto oggettivo che nessuna

permette di interpretare in modo attendibile le tendenze, o mancanza di tendenze, che denotano il database globale finora disponibile. L'uso di pedoalgoritmi che in maniera alternativa permettano di ottenere un campo di esistenza atteso per il valore di K , partendo da parametri di facile determinazione del suolo, è sicuramente migliore. L'uso del pedoalgoritmo KUERY 1.2 verrà mostrato negli esempi di applicazione. Nella successiva sezione, verrà brevemente discusso come caratteristiche aggiuntive del suolo possono integrare e aiutare nella stima di K .

7.3. Valutazione dell'erodibilità del suolo: integrazioni da forme di erosione e caratteri aggiuntivi dei suoli.

Le pedofunzioni presentate in precedenza permettono una stima immediata dell'erodibilità del suolo per applicazioni modellistiche USLE-TYPE su base annuale, anche se altri sviluppi sperimentali consentono di arrivare a una valutazione della dinamica stagionale media. Tuttavia, le pedofunzioni per la stima del fattore K a partire da caratteristiche tessiturali di base, non riescono a considerare molte altre evidenti caratteristiche che hanno un'influenza sopra l'erodibilità del suolo.

A scala di campo si possono osservare processi di degradazione delle caratteristiche del suolo direttamente legate all'erodibilità: fenomeni di incrostamento, sigillamento, dispersività. Tutti questi fenomeni sono legati sempre ad una bassa stabilità strutturale (Valentin e Bresson, 1992) e possono avere un fortissimo impatto sull'erodibilità del suolo (Robinson e Phillips, 2001). Nel database globale dei valori di K utilizzato fino ad adesso da vari autori per derivare le differenti pedofunzioni di stima, sono evidentemente rappresentati suoli molto diversi tra loro per tipologia, area geografica e clima e le informazioni richieste sono limitate. Non vengono ad esempio richieste informazioni sopra la potenziale stabilità strutturale e/o eventuale dispersibilità. In campo queste proprietà sono facilmente osservabili anche a livello qualitativo a partire dalle caratteristiche delle superfici di erosione e rideposizione, dalla tessitura e struttura dello spessore sigillato.

La dispersività del suolo è fortemente relazionata con le caratteristiche chimiche delle soluzioni circolanti e dei minerali argillosi costituenti (Sumner, 1993; Agassi et al., 1994). Esistono molti test per valutare la dispersività (Vacher et al., 2004). Uno dei più rapidi e conosciuti è il cosiddetto "*crumb test*" (Emerson, 1967). Il test permette di valutare il grado di dispersività di alcuni aggregati di suolo posti su una capsula petri insieme ad acqua deionizzata. Un'analisi visuale del comportamento delle zolle dopo l'imbibizione con acqua deionizzata è sufficiente a dare una valutazione del potenziale di dispersività. Di ausilio è la figura 7.5, tratta da DNR (2005).

Altro criterio per valutare la potenziale dispersività è la valutazione attraverso la concentrazioni dei principali cationi dei sali solubili nel suolo (Na, K, Ca e Mg), e i parametri ad essi legati: ESP (*exchangeable sodium percentage*), SAR (*sodium adsorbium ratio*) e EC (*electrical conductivity*) (Sherard et al., 1976; USDA-SCS, 1991; Sumner, 1993; Bell e Walker, 2000). Sicuramente uno dei più interessanti parametri legati alla potenziale dispersività è l'ESP. Molti autori indicano condizioni di dispersività del suolo già con valori di ESP pari a 4% o, talvolta, anche con valori addirittura inferiori (Barre et al., 2004; Sotelo, 2005). Tuttavia il valore di ESP non è sufficiente da solo a esprimere la potenziale dispersività di un suolo (Sumner, 1993, Bell e Walker, 2000, Vacher et al., 2004). Una indicazione promettente per identificare suoli con potenziale dispersività è quello proposto recentemente da Barre et al. (2004), che utilizza accanto ai valori di ESP, l'indice Loveday-Pyle (LPI), derivato con il test di dispersività di Emerson (2002) (figura 7.6). In questo diagramma sono indicate 5 classi con dispersività decrescente da 1 a 5. Le classi 4 e 5 sono non dispersive. Nella classe 4, nei casi di valori di ESP elevati, l'elevato contenuto di carbonati previene la dispersività.

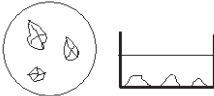
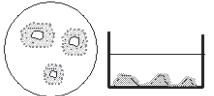
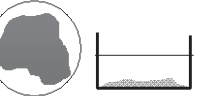
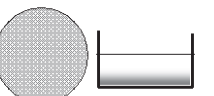
NON DISPERSIVO	LEGGERMENTE DISPERSIVO	DISPERSIVO	MOLTO DISPERSIVO
			
L'acqua rimane limpida tra gli aggregati. I contorni degli aggregati sono chiaramente definiti	Offuscamento e torbidità intorno ad alcuni aggregati. I contorni degli aggregati sono vagamente definiti	Offuscamento e torbidità intorno a tutti gli aggregati. I contorni degli aggregati non possono più essere definiti	Torbidità totale che si estende attraverso tutto lo spessore dell'acqua

Figura 7.5. Crumb test – scheda di valutazione dei risultati e attribuzione della classe di dispersività (da DNR, 2005, modificato).

Più in generale, la verifica della stabilità degli aggregati del suolo, in risposta a stress meccanici e elettrochimici, è un altro criterio molto usato per stabilire la potenziale attitudine del suolo a cambiare il suo stato di aggregazione (collasso strutturale) verso una maggiore erodibilità a causa della più intensa mobilità dei sedimenti più fini (Le Bissonais e Le, 1996; Le Bissonais, 1996; Le Bissonais e Arrouays, 1997; Barthès e Roose, 2002; Legout et al., 2005). A tutt'oggi, non esiste una test unico di verifica della stabilità degli aggregati. Vari

test sono stati proposti. I test di stabilità più importanti sono essenzialmente quelli di Imeson e Vis (1984), di Kemper e Rosenau (1986), di Le Bissonais (1996). In tutti i lavori citati è posta chiaramente in luce l'importanza dei test di stabilità per evidenziare, tra l'altro, potenziali attitudini di un suolo ad essere eroso. Un esempio di come vari indici di stabilità degli aggregati sono legati a una maggiore erodibilità del suolo, come ricavabile da osservazioni sistematiche in campo, può essere trovato in Barthès e Roose (2002).

La conoscenza di caratteristiche aggiuntive, relative a crostabilità, dispersività e bassa stabilità strutturale permettono di migliorare la stima del fattore K.

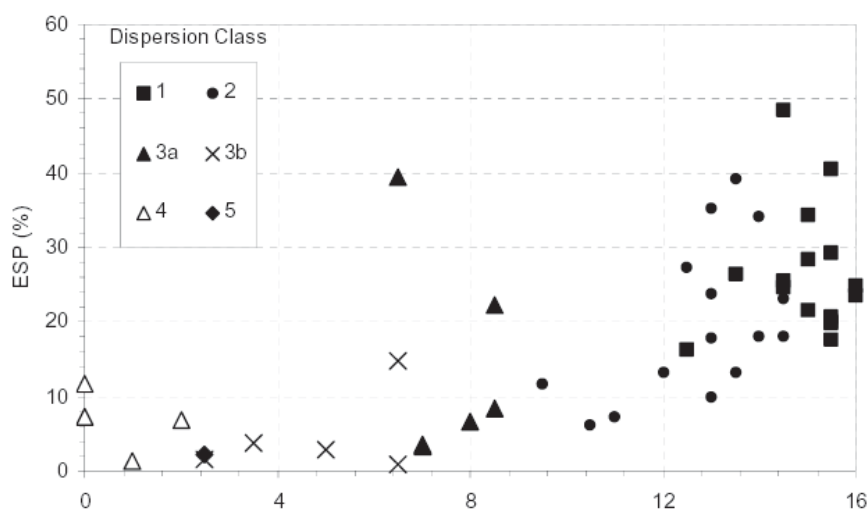


Figura 7.6. Loveday-Pyle Index (LPI) vs ESP e indicazioni delle varie classi di dispersività (da Barre et al., 2004).

Queste informazioni risultano estremamente utili in una valutazione a scala di bacino a partire da informazioni di base ricavate da un database pedologico e completate da osservazioni di campagna nelle unità dei suoli cartografate. Nel processo di valutazione del valore di K secondo il modello KUERY 1.2, che è basato sulla classificazione climatica dell'area e su caratteristiche di base dei suoli, abbiamo visto che si giunge alla definizione di una probabile distribuzione statistica dei valori di K attesi, ottenuti mediante un'analisi statistica di valori di K calcolati per suoli con caratteristiche simili. Tuttavia, nella pratica è necessario utilizzare, alla fine, un valore singolo di K più che una sua distribuzione statistica attesa. Per stabilire qual è il valore da utilizzare all'interno della distribuzione attesa di K, si possono utilizzare informazioni aggiuntive sulla stabilità strutturale degli aggregati o la suscettibilità alla dispersione. Nel caso di una distribuzione e dei valori delle principali statistiche (media, mediana, percentili) (vedi figura 7.4), la scelta può

essere indirizzata dalla conoscenza delle proprietà aggiuntive. Ad esempio, nel caso di evidenti condizioni di instabilità di struttura o dispersione, la scelta può essere indirizzata più verso i percentili 75% o 90%, che verso i valori mediani o modali. La scelta dei percentili più alti della distribuzione dei valori di K attesi permette di tenere conto della maggiore probabilità di avere valori elevati di erodibilità in presenza di cofattori aggiuntivi che spingono in questa direzione (bassa stabilità aggregati, elevata dispersibilità). Un esempio di questa procedura verrà fornito nella sezione successiva.

7.4. Cartografia dell'erodibilità del suolo: un esempio di applicazione

Gli elementi base per la produzione di una cartografia della erodibilità del suolo a scala di bacino sono illustrati nella figura 7.7. Come abbiamo già detto, risulta fondamentale la disponibilità di alcuni elementi: una cartografia pedologica a scala adeguata (possibilmente con rapporto di scala superiore a 1:25.000) e un database pedologico organizzato che permetta di risalire facilmente alle proprietà e alle caratteristiche di riferimento di ogni unità pedologica presente nella cartografia. Altri due elementi fondamentali sono relativi alla procedura operativa per la realizzazione di una cartografia dell'erodibilità del suolo (essenzialmente il fattore K già visto): un pedoalgoritmo per la stima del fattore K per ognuna delle unità pedologiche cartografate e strumenti GIS per la spazializzazione dei valori di K all'interno del bacino attraverso la distribuzione esistente delle unità pedologiche.

In questo processo di elaborazione il legame unità pedologica/profilo di riferimento/valore di K, è il punto di forza, ma anche di debolezza di tutto il sistema. Il legame costituisce un punto di forza quando per ogni unità pedologica esistono una serie di osservazioni, per le quali il profilo tipo può essere identificato come il cluster più rappresentativo dell'insieme delle osservazioni. Il punto di debolezza è che in assenza di un adeguato numero di osservazioni, in rapporto alla scala cartografica, il processo di attribuzione di un profilo tipo è molto più aleatorio.

Viene di seguito presentato un esempio di costruzione di una cartografia del fattore K a scala di bacino. Questo progetto è stato realizzato in 14 mesi a cavallo del biennio 2003-2004 e aveva per oggetto lo studio delle aree sorgenti primarie di sedimenti nel bacino di Bilancino (Mugello, Toscana, progetto BABI, Borselli et al., 2004). L'assenza di una cartografia pedologica alla scala necessaria allo studio e con copertura dell'intero bacino, ha reso necessario realizzare, in parallelo ad altre attività del progetto, una carta pedologica alla scala 1:25.000 funzionale alla stima del fattore K per le varie unità pedologiche. Disponendo di informazioni pedologiche e di dati analitici, è stato applicato il pedoalgoritmo KUERY 1.2. In tabella 7.4 sono riportati i dati più importanti relativi alla valutazione di K per 4 unità. Le unità 23 e 25 si riferiscono a suoli

con quantità di $R < 10\%$, mentre le unità 13 e 19 con valori di $R > 10\%$. Il gruppo climatico di riferimento è per tutte il medesimo, ovvero temperato/caldo/mediterraneo. Tutti i dati in tabella 7.4 si riferiscono agli orizzonti A e Ap dei profili di riferimento per ciascuna unità.

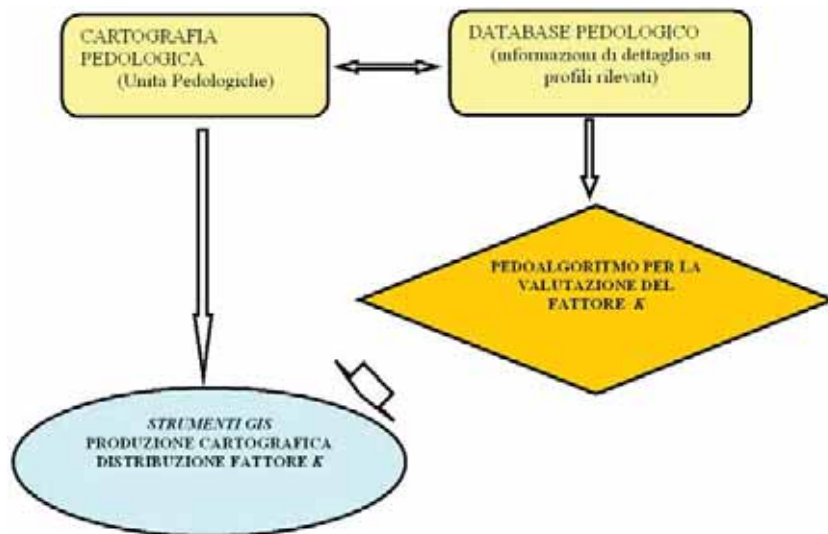


Figura 7.7. Elementi base per la produzione di una cartografia dell'erodibilità del suolo a scala di bacino.

Il pedoalgoritmo KUERY 1.2 fornisce le distribuzioni di frequenza (PDF) dei valori di K per ognuna delle unità. Essendo le distribuzioni dei valori di K di forma generica, si fa uso di una caratterizzazione statistica non parametrica. Nella tabella sono riportati i valori modali di K e dei quantili della distribuzione 0,1, 0,25, 0,5, 0,75, 0,9. Nel caso delle unità 25, 13 e 19, il valore utilizzato è stato quello mediano (ovvero del quantile 0,5). Nel caso dell'unità 23, essendo il valore di ESP dell'orizzonte pari a 6%, si è utilizzato il quantile 0,9, dato il probabile comportamento dispersivo di questo orizzonte.

In generale, per la grande maggioranza delle unità si è utilizzato il valore mediano della distribuzione di K . Solo in 6 su 29 delle unità si è utilizzato il quantile 0,9 per tenere conto del probabile comportamento dispersivo, ovvero quando erano associati agli orizzonti A e Ap valori di ESP > 4 .

In figura 7.8 è riportata la mappa completa della distribuzione dei valori di K stimati a partire dai parametri di riferimento associati a ognuna delle unità pedologiche. I valori più scuri si riferiscono a valori di erodibilità maggiori.

I vantaggi di una cartografia pedologica di buon dettaglio risultano evidenti se si confrontano le precedenti rappresentazioni GIS esistenti della distribuzione dei suoli del Mugello e della loro erodibilità stimata.

Tabella 7.4. Parametri rilevanti nell'applicazione del pedoalgoritmo KUERY 1.2 per la valutazione dell'erosibilità di alcune unità pedologiche. I dati si riferiscono agli orizzonti A o Ap dei profili di riferimento identificati per ciascuna unità.

Unità n.	23	25	13	19
Classificazione (WRB98)	Profondic Luvisols	Gley-Dystric Cambisols	Eutri-Skeletal Cambisol	Gley-Dystric Regosols
Classe tessiturale (USDA)	FS	F	FL	AL
Argilla %	18	24	23	40
Limo %	31	32	60	45
Sabbia %	51	44	17	15
R %	< 10	< 10	50	26
OM %	1,5	1,35	3,5	2,5
Dg	-1,505	-1,7	-2,09	-2,375
Sg	1,3	1,2	0,944	1,047
K (modale)	0,02967	0,02292	0,00384	0,01693
K0,10	0,01297	0,015	0,00286	0,00667
K0,25	0,0188	0,01911	0,00327	0,01221
K0,50	0,02616	0,02352	0,0051	0,01547
K0,75	0,03006	0,02776	0,01144	0,01842
K0,90	0,03161	0,02979	0,0144	0,01977
K (utilizzato)	0,03161 *	0,02352	0,0051	0,01547

(*) Il quantile 0,9 della distribuzione viene utilizzato in questo caso perché l'orizzonte A o Ap presenta valori di ESP > 4.

In un lavoro sullo stesso bacino (Cassi, 2002), a causa della mancanza di una cartografia pedologica, l'erosibilità era stata stimata estrapolando i dati dalle caratteristiche litologiche del substrato riportate a 2 valori di K calcolati sperimentalmente in due suoli nella zona del Mugello reperibili in letteratura (Zanchi, 1988). Dal confronto delle due carte di erosibilità derivate, quella di Cassi (2002) e quella prodotta con la metodologia KUERY 1.2, elaborate entrambe in ambiente GIS come file raster con risoluzione 10 m, risultano evidenti i limiti della metodologia per la stima del fattore K basata solo sulla litologia. La distribuzione delle unità di terre ricavate dalla carta pedologica ottenuta nel progetto BABI trova scarsa corrispondenza con la suddivisione in unità litologiche, comportando di conseguenza una differente distribuzione di valori di K. I valori di K ricavati dalla carta litologica risultano sottostimare l'erosibilità dei suoli fino ad un massimo del 80% nelle zone di crinale a nord e centrali, nelle zone di valle circostanti l'invaso del Bilancino (in particolare nelle unità pedologiche associate ai vari ordini di terrazzi), e sovrastimarla fino al 250% nelle zone di crinale a Sud dell'invaso.

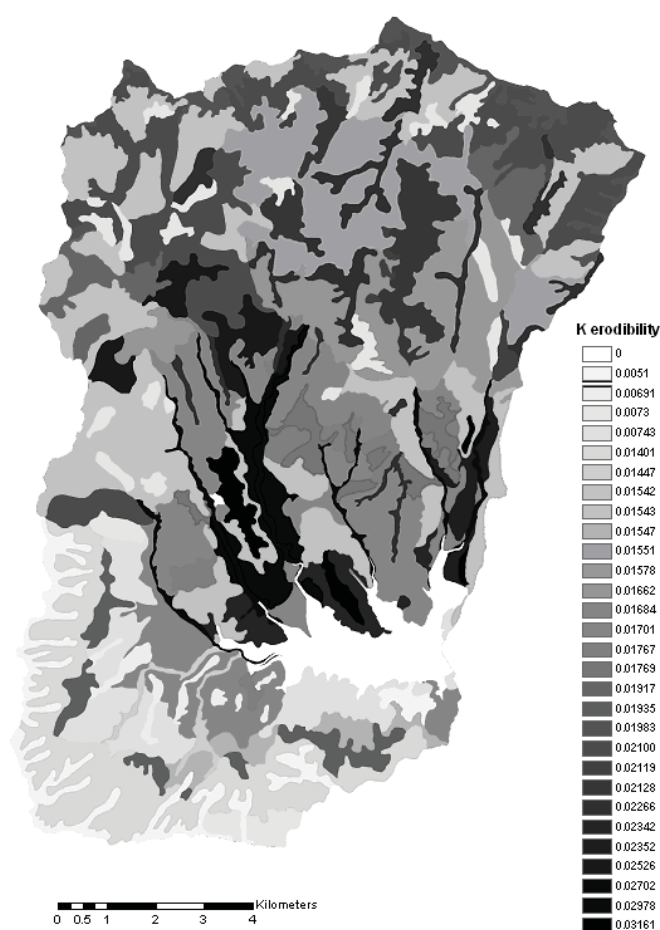


Figura 7.8. Distribuzione dei valori di erodibilità del suolo nel bacino di Bilancino.

Questi dati sono stati ricavati tramite il calcolo del rapporto della differenza percentuale dei valori di K ricavati dalla carta litologica (Cassi , 2002) rispetto ai valori di K derivati dalla carta pedologica (Borselli et al., 2004). Il calcolo realizzato direttamente nel *software* ARCGIS ha permesso di ricavare la carta riportata in figura 7.9. Dai risultati dell'elaborazione appare evidente quanto sia scarsa la consistenza fra i dati derivati dalla litologia e quelli derivati dalla pedologia, e quanto grande può essere l'errore nell'estrapolare valori di erodibilità, strettamente connessi alle caratteristiche fisico chimiche del terreno (tessitura, sostanza organica, rocciosità) differenziati nei vari orizzonti dalle sole caratteristiche litologiche generiche che non forniscono direttamente nessuna di queste indicazioni.

Gli algoritmi e le regole che permettono di associare stime di erodibilità del suolo a partire da una serie di caratteristiche pedologiche, fisiche e chimiche dei vari orizzonti sono da decenni un consolidato *know-how* delle scienze del suolo e della modellistica della conservazione del suolo. Viceversa, l'associazione di valori di erodibilità a particolari litologie è per lo più soggettivo e non supportato da alcun database di valori misurati, come è invece per i valori di erodibilità da caratteristiche del suolo (Torri et al., 1997).

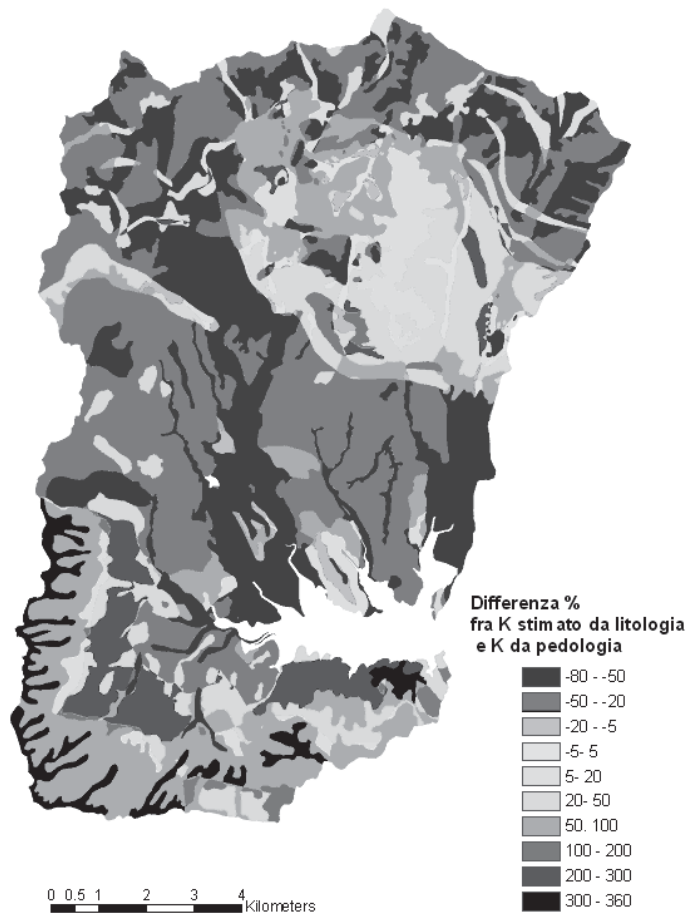


Figura 7.9: Carta della differenza fra K derivato dalla carta litologica e K derivato dalla carta pedologica.

7.5. Linee guida nella valutazione dell'erosibilità del suolo

Dall'esempio di applicazione a scala di bacino, si comprende l'importanza di una cartografia pedologica e di un database pedologico adeguato ai fini della realizzazione di una carta per l'erosibilità del suolo che sia affidabile e basata sulle attuali conoscenze scientifiche sull'argomento. Le stime basate su informazioni solamente litologiche, o geologiche in genere, hanno una scarsa attendibilità e come si visto nell'esempio precedente, possono portare a larghe sovrastime o sottostime del valore di K su ampie zone. Tuttavia, la pratica di produrre cartografia dell'erosibilità del suolo a partire da una cartografia non adeguata (carta geologica d'Italia alla scala 1:100.000 o inferiore) o a scala non appropriata (carta dei suoli d'Italia alla scala 1:1.000.000), ha trovato in Italia un'amplissima diffusione. Tali pratiche sono totalmente da scoraggiare. Il risultato di una cartografia prodotta con queste basi è puramente aleatorio. Nel caso di una cartografia basata su carte geologiche 1:100.000, una eventuale corrispondenza tra formazioni geologiche e valori di erosibilità potrebbe essere pressoché casuale.

Un compromesso accettabile tra costi e risultati è sicuramente una cartografia pedologica alla scala 1:25.000 qualora essa sia basata su un rilevamento pianificato e condotto per una scala dettaglio non inferiore. Le conoscenze acquisite circa i suoli di una certa regione, la sensibilità e l'esperienza dell'operatore possono, comunque, rappresentare elementi chiave del processo di stima di K.

I criteri guida per la valutazione a scala di bacino possono quindi riassumersi nei seguenti punti:

- disponibilità di cartografia pedologica adeguata e database pedologico organizzato;
- per ognuna delle unità pedologiche della carta, selezione entro database pedologico, i parametri fisico chimici del suolo necessari per poter utilizzare le pedofunzioni o pedoalgoritmi disponibili;
- utilizzare, se disponibili, informazioni aggiuntive relative a fenomeni collegati a instabilità strutturale e dispersività dei suoli;
- la mancanza di informazioni pedologiche non giustifica dal punto di vista sia tecnico, sia scientifico il ricorso a strumenti alternativi (carte geologiche o cartografia pedologica dal dettaglio non sufficiente);
- l'utilizzo delle sole caratteristiche litologiche per la stima dell'erosibilità del suolo è destituito da ogni fondamento scientifico e dovrebbe essere quindi rigettato.

Bibliografia

- AGASSI, M., BLOEM, D., BEN-HUR, M., 1994. *Effect of drop energy and soil and water chemistry on infiltration and erosion*. Water Resour Res 30, 1187-1193.
- BARRE, D.A., BIGGS, A.J.W., SHARP, G.C., 2004. *Sodicity and dispersion relations in some Darling Downs subsoils*. SuperSoil 2004: 3rd Australian New Zealand Soils Conference, 5-9 December 2004, University of Sydney, Australia, Published on CDROM, www.regional.org.au/au/asssi/.
- BARTHES, B., ROOSE, E., 2002. *Aggregate stability as an indicator of soil susceptibility to runoff and erosion; validation at several levels*. Catena, 47, 133-149.
- BELL F.G.1, WALKER D.J.H. 2000. *A further examination of the nature of dispersive soils in Natal, South Africa*. The Quarterly Journal of Engineering Geology and Hydrogeology, vol.33, 187-199.
- BORSELLI, L., CASSI, P., SALVADOR SANCHIS, P., UNGARO, F., 2004. *Studio della dinamica delle aree sorgenti primarie di sedimento nell'area pilota del Bacino di Bilancino: PROGETTO (BABI) - RAPPORTO FINALE*. CNR – IRPI, Consiglio Nazionale delle Ricerche, Istituto di Ricerca per la Protezione Idrogeologica, Firenze, 104.
- BRYAN, R.B., 2000. *Soil erodibility and processes of water erosion on hillslope*. Geomorphology 32, 385-415.
- CASSI, P., 2002. *Ricerca Bibliografica e Verifica Metodologico-Applicativa Dell'equazione Usle Nel Sottobacino Del Bilancino (Bacino Dell'arno)*. Università degli Studi di Padova - Master in Difesa e Manutenzione del Territorio.
- DAVIS, W.M., 1909. *Geographical Essays*. Ginn, Boston, MA.
- DNR, 2005. *Dispersive soil. Test for dam construction*. Department of Natural resources, Australia, Fact sheet, <http://www.dnr.qld.gov.au>.
- DOE, W.W., JONES, D.S., WARREN, S.D., 1999. *The Soil Erosion Model Guide for Military Land Managers: Analysis of Erosion Models for Natural and Cultural Resources Applications*. U.S. Army Engineer Waterways Experiment Station, Vicksburg, 129.
- EMERSON, W.W., 1967. *A classification of soil aggregates based on their coherence in water*. Aust. J. Soil. Res. 5, 47-57.
- EMERSON, W.W., 2002. *Emerson Dispersion Test*. In: Soil Physical Measurement and Interpretation for Land Evaluation, Ed. McKenzie, N., Coughlan, K., Cresswell, H., CSIRO Publishing: Collingwood.
- FOSTER, G.R., FLANAGAN, D.C., NEARING, M.A., LANE, L.J., RISSE, L.M., FINKNER, S.C., 1995. *Ch. 11 Hillslope erosion component*. In: D.C. Flanagan and M.A. Nearing (Ed.) USDA-Water Erosion Prediction Project: Hillslope Profile and Watershed Model Documentation, NSERL Rep. n.10, USDA-ARS Nat. Soil Erosion Research Laboratory, West Lafayette, IN, 11.1-11.13.
- FOSTER, G.R., MCCOOL, D.K., RENARD, K.G., MOLDENHAUER, W.C., 1981. *Conversion of the universal soil loss equation to SI metric units*. J. Soil Water Conservation, 36, 355-359.
- FOSTER, G.R., YODER, D.C., WEESIES, G.A., MCCOOL, D.K., MCGREGOR, K.C., BINGNER, R.L., 2002. *User's guide - Revised Universal Soil Loss Equation Version 2 (RUSLE 2)*. USDA-Agricultural Research Service, Washington, DC.

- FRANCAVIGLIA, R., MECELLA, G., SCANDELLA, P., MARCHETTI, A., 2003. *Confronto di metodi per la stima del fattore di erodibilità K del suolo*. Bollettino della Società Italiana di Scienza del Suolo. Vol 52(1-2):537-546
- IMESON, A.C., VIS, M., 1984. *Assessing soil aggregate stability by water-drop impact and ultrasonic dispersion*. Geoderma D. Reidel Publishing, Dordrecht, 34, 185-200.
- KEMPER, W.D., ROSENAU, R.C., 1986. *Aggregate stability and size distribution*. In: *Methods of soil analysis Part I - Physical and Mineralogical Methods. Second edition*. Klute, A., Ed., Madison, American Society of Agronomy, 425-442.
- KINNELL, P.I.A., RISSE, L.M., 1998. *USLE-M: Empirical modelling rainfall erosion through runoff and sediment concentration*. Soil Science Society America Journal 62, 1667-1672.
- LAFLÉN, J.M., MOLDENHAUER, W.C., 2003. *Pioniering soil erosion prediction: the USLE story*. WASWC special publication 1, World Association of soil and water Conservation, Thailand, ISBN 974-91310-3-7.
- LAFLÉN, J.M., ELLIOT, W.J., FLANAGAN, D.C., MEYER, C.R., NEARING, M.A., 1997. *WEPP- Predicting water erosion using a process-based model*. J. Soil Water Conserv. 52, 96-102.
- LE BISSONNAIS, Y., 1996. *Aggregate stability and assessment of soil crustability and erodibility: I. Theory and methodology*. European Journal of Soil Science, 47, 425-437.
- LE BISSONNAIS, Y., ARROUAYS, D., 1997. *Aggregate stability and assessment of soil crustability and erodibility: II. Application to humic loamy soils with various organic carbon contents*. Eur. J. Soil Sci. 48, 39-48.
- LE BISSONNAIS, Y., LE, Y., 1996. *Soil characteristic and aggregate stability*. In: Agassi, M. Ed., Soil Erosion, Conservation and Rehabilitation, Marcel Dekker, USA, 41-60.
- LEGOUT, C., LEGUEDOIS, S., LE BISSONNAIS, Y., 2005. *Aggregate breakdown dynamics under rainfall compared with aggregate stability measurements*. European Journal of Soil Science, 56, 225-237.
- LOCH, R.J., ROSEWELL, C.J., 1992. *Laboratory methods for measurement of soil erodibilities (K Factors) for the universal soil loss equation*. Aust. J. Soil Res., 30, 233-248.
- LOCH, R.J., SLATER, B.K., DEVOIL, C., 1998. *Soil erodibility (Km) values for some Australian soils*. Australian Journal of Soil Research, vol.36, n.6, 1045-1056.
- MERRITT, W.S., LETCHER, R.A., JAKEMAN, A.J., 2003. *A review of erosion and sediment transport models*. Environmental Modelling & Software 18, 761-799.
- MIDDLETON, H.E., 1930. *Properties of soils which influence soil erosion*. U.S. Dep. Agric. Tech., 178.
- MISRA, R.K., ROSE, C.W., 1996. *Application and sensitivity analysis of process-based erosion model GUEST*. Eur. J. Soil Sci. 47, 593-604.
- MORGAN, R.P.C., QUINTON, J.N., SMITH, R.J., GOVERS, G., POESEN, J.W.A., AUERSWALD, K., CHISCHI, G., TORRI, D., STYCZEN, M.E., 1998. *The European Soil Erosion Model EUROSEM: a dynamic approach for predicting sediment transport from fields and small catchments*. Earth Surface Processes Landforms 23, 527-544.
- MUTCHLER, C.K., CARTER, C.E., 1983. *Soil erodibility variation during the year*. Transactions of the ASAE, 1102-1104.
- NEMES, A., WOSTEN, J.H., LILLY, A., OUDE, VOSHAAR, J.H. 1999. *Evaluation of different procedures to interpolate particle-size distribution to achieve compatibility within soil databases*. Geoderma, 90, 187-202.

- RENARD, K.G., FOSTER, G.R., WEESIES, G.A., MCCOOL, D.A., YODER, D.C., 1997. *Predicting soil erosion by water: a guide to conservation planning with the Revised Universal Soil Loss Equation RUSLE*. Agric. Hbk. 703, USDA, WA.
- ROBINSON, D.A., PHILLIPS, C.P., 2001. *Crust development in relation to vegetation and agricultural practice on erosion susceptible, dispersive clay soils, from central and southern Italy*. Soil Tillage and Research, 60, 1-9.
- ROSE, C.W., COUGHLAN, K.J., CIESIOLKA, C.A.A., FENTIE, B., 1997. *Program GUEST. Griffith University Erosion System Template*. In: K.J. Coughlan and C.W. Rose (Ed.), A new soil conservation methodology and application to cropping systems in tropical steepplands, ACIAR Tech. Report, n.40, Canberra, Australian Centre for International Agricultural Research, Canberra, Australia, 34-58.
- ROSEWELL, C.J., 1993. *SOILOSS - A program to assist in the selection of management practices to reduce erosion*. SOILOSS Handbook, Technical Handbook n.11 (2nd Ed.), Soil Conservation Service, Sydney, NSW.
- SHERARD, J.L., DUNNIGAN, L.P., DECKER, R.S., 1976. *Identification and nature of dispersive soils*. J. Geotechnical Engineering Division, ASCE, 102, 287-301.
- SHIRAZI, M.A., BOERSMA, L., 1984. *A unifying quantitative analysis of soil texture*. Soil Sci. Soc. Am. J. 48, 142-147.
- SHIRAZI, M.A., BOERSMA, L., HART, W., 1988. *A unifying analysis of soil texture: improvement of precision and extension of scale*. Soil Sci. Soc. Am. J., 52, 181-190.
- SOIL SURVEY STAFF, 1951. *Soil survey manual*. United States Department of Agriculture, Soil Conservation Service, Agricultural Handbook n.18, U.S. Government Printing Office, Washington, D.C.
- SOTELO, R.R., 2005. *Identificación de Arcillas Erodibles Dispersivas Utilizando Ensayos Agronómicos de Suelos*. <http://www1.unne.edu.ar/cyt/tecnologicas/t-051.pdf>.
- SUMNER, M.E., 1993. *Sodic soils: New perspectives*. Aust. J. soil Res. 31, 683-750.
- TAYLOR, G., EGGLETON, R.A., 2001. *Regolith Geology and Geomorphology*. Wiley and Sons, Chichester, 325.
- TORRI, D., BORSELLI, L., 2000. *Water erosion*. In: Manual of Soil Science, M.E. Sumner Ed., CRC Publications, New York, G171-G194.
- TORRI, D., BORSELLI, L., SALVADOR SANCHIS, M.P., POESEN, J., 2005. *Climate Effects on Soil Erodibility*. In stampa.
- TORRI, D., POESEN, J., 1997. *Erodibilità*. In: Metodi di Analisi Fisica del Suolo, sezione VII, M. Pagliai, Ed., Ministero delle politiche agricole e Forestali - Società Italiana di Scienza del Suolo, Roma.
- TORRI, D., POESEN, J., BORSELLI, L., 1997. *Predictability and uncertainty of the soil erodibility factor using a global dataset*. Catena 31, 1-22.
- TORRI, D., POESEN, J., BORSELLI, L., 2002. *Corrigendum to "Predictability and uncertainty of the soil erodibility factor using a global dataset" [Catena 31 (1997) 1-22] and to "Erratum to Predictability and uncertainty of the soil erodibility factor using a global dataset" [Catena 32 (1998) 307-308]*. Vol. 46(4), 309-310.
- TURKINGTON, A.V., PHILLIPS, J.D., CAMPBELL, S.W., 2005. *Weathering and landscape evolution*. Geomorphology 67, 1-6.
- USDA-SCS, 1991. *Dispersive clays*. Soil Mechanics note n.13, 32.

- VACHER, C.A., LOCH, R.J., RAINE, S.R., 2004. *Identification and Management of dispersive mine spoils. Final Report*. Australian centre for Mining Environmental Research, Landloch Pty. Ltd., 84.
- VALENTIN, C., BRESSON, L.M., 1992. *Morphology, genesis and classification of surface crusts in loamy and sandy soils*. Geoderma 55: 225-245
- WISCHMEIER, W.H., JONHSON, C.B., CROSS, B.V., 1971. *A soil erodibility nomograph for farmland and construction sties*. J. Soil and Water Conservation 26(5), 189-192.
- WISCHMEIER, W.H., SMITH, D., 1978. *Predicting rainfall erosion losses: a guide to conservation planning*. USDA-ARS Agriculture Handbook n.537, Washington, DC, 58.
- ZANCHI, C., 1983. *Primi risultati sperimentali sull'influenza di differenti colture (frumento, mais, prato) nei confronti del ruscellamento superficiale e dell'erosione*. Annali Istituto Sperimentale per lo Studio e la Difesa del Suolo, Firenze, XIV: 277-288.
- ZANCHI, C., 1988. *Soil loss and seasonal variation of erodibility in two soils with different texture in the Mugello valley in Central Italy*. Catena Supplement, 12(1), Catena Verlag, Germany, 167-174.

Ministero delle Politiche Agricole, Alimentari e Forestali
Osservatorio Nazionale Pedologico e per la Qualità del Suolo Agricolo e Forestale

In collaborazione con:
International Union of Soil Sciences
Società Italiana della Scienza del Suolo
Commissione VI - Uso e Conservazione del Suolo

BARTOLINI, D., BORSELLI, L., 2006. *Valutazione del gruppo idrologico del suolo (HSG) secondo la procedura SCS curve number*. In: Costantini, E.A.C. (Ed.), *Metodi di valutazione dei suoli e delle terre*, Cantagalli, Siena, pp. 922.

Collana dei metodi analitici per l'agricoltura diretta da Paolo Sequi, vol. 7

CRA - Consiglio per la Ricerca e la Sperimentazione in Agricoltura
Istituto Sperimentale per lo Studio e la Difesa del Suolo, Firenze

8. Valutazione del gruppo idrologico del suolo (HSG) secondo la procedura SCS curve number

Devis Bartolini¹, Lorenzo Borselli¹

8.1 Introduzione	2
8.2 Definizione di gruppo idrologico del suolo HSG.....	4
8.3. Procedure di Valutazione.....	4
8.4. Esempio di applicazione.....	8
8.5. Valutazioni a scala Bacino	12
Bibliografia	14

8.1 Introduzione

Il processo di generazione del deflusso a partire da un evento di precipitazione è influenzato da varie proprietà del suolo che, anche indirettamente, devono essere considerate, qualunque sia il modello di stima del deflusso utilizzato.

La relazione fra precipitazione e deflusso è un processo legato a complesse interazioni fisiche. Alla corretta formalizzazione fisica dei processi di infiltrazione dell'acqua nel suolo, almeno nelle sue linee essenziali, si è arrivati dagli inizi di questo secolo (Green e Ampt, 1911; Richards, 1931; Horton, 1940; Philip, 1957; Smith e Parlange, 1978; Morel-Seytoux e Verdin, 1981; Swartzendruber, 1987; Morin e Kosovsky, 1995). Le caratteristiche fisico-chimiche del suolo influenzano l'evoluzione della capacità di infiltrazione che, inoltre, non è una costante, ma una grandezza che varia con continuità durante un evento di pioggia. Anche le condizioni di umidità del suolo precedenti un evento influenzano la risposta idrologica. Uno degli aspetti più interessanti è la marcata non-linearità che si può sperimentalmente osservare tra i valori di precipitazione e quelli di deflusso. Questa non-linearità risulta accentuata quando siamo nelle fasi iniziali di una pioggia. Data la complessità del fenomeno, fino dalla metà del XX secolo sono stati tentati una serie di approcci semplificati ed empirici per la stima della potenzialità di deflusso, partendo sempre da determinate caratteristiche al suolo (ad esempio, permeabilità,

¹ CNR-IRPI - Istituto di Ricerca per la Protezione Idrogeologica, Firenze

tessitura) di facile determinazione e sviluppando procedure semplificate di rapida applicazione (necessarie in un periodo in cui i personal computer non erano disponibili) (Hudson, 1986).

Il più famoso dei modelli afflussi-deflussi è sicuramente il modello Soil Conservation Service Curve Number (SCS-CN USDA, 1969; USDA 1972; 1985). Con questo modello, la stima del volume di deflusso prodotto a partire da singole precipitazioni viene realizzata attraverso un singolo parametro che sintetizza l'influenza sia degli aspetti superficiali, sia di quelli profondi del suolo, legati alle caratteristiche dei vari orizzonti: il tasso minimo di infiltrazione per un suolo nudo saturo, oltre che le caratteristiche di uso del suolo e copertura vegetale, e l'umidità del suolo antecedente l'evento di precipitazione. In sostanza, il modello SCS-CN è una generalizzazione della nota formula razionale dove la stima del volume di deflusso viene effettuata mediante un coefficiente moltiplicativo compreso tra 0 e 1 della pioggia caduta. La descrizione del modello SCS-CN esula dagli obbiettivi di questo capitolo; si rimanda a una serie di lavori (NCRS, 1997; Mishra e Singh, 2003) per i dettagli tecnici. È però importante sottolineare come negli ultimi quarant'anni il modello SCS-CN ha costituito una base di lavoro e di sviluppo per moltissimi altri modelli idrologici più complessi in applicazioni da scala di campo a quella di bacino (Singh, 1995; Mishra and Singh, 2003), dove era necessario valutare la produzione di deflusso in funzione delle complesse interazioni tra suolo, topografia e copertura vegetale. Da qui l'estrema importanza delle procedure per la determinazione dei parametri del modello legati alle caratteristiche intrinseche del suolo.

In pratica, è necessario attribuire un dato suolo a uno dei quattro gruppi che identificano diverse potenzialità intrinseche nella generazione di deflusso (4 classi: A, B, C, D). Ciascun gruppo esprime un potenziale di generazione di deflusso, crescente dal gruppo "A" al gruppo "D", che nel complesso prendono il nome di "Gruppo Idrologico del Suolo" (*Hydrologic Soil Group*, "HSG", SCS-CN USDA, 1969).

L'attribuzione di un suolo a una delle classi HSG è nei fatti un passo essenziale, e preliminare, per poter applicare a qualunque scala il modello SCS-CN. Nel caso delle applicazioni a scala di bacino, la conoscenza della distribuzione spaziale dei suoli è fondamentale.

In questo capitolo verrà riproposta la definizione ufficiale delle varie classi HSG e fornita una serie di linee guida per la loro attribuzione, sia secondo le procedure standard, sia seguendo alcuni metodi alternativi. Infine, saranno forniti una serie d'esempi d'applicazione come complemento delle precedenti linee guida.

8.2 Definizione di gruppo idrologico del suolo HSG

La definizione dei gruppi idrologici fornita dall'USDA è basata sui tassi di infiltrazione e trasmissione del suolo. Per tasso di infiltrazione si intende la velocità con cui l'acqua entra nel suolo ed è controllato dalle condizioni superficiali dello stesso. Per tasso di trasmissione s'intende la velocità con cui l'acqua si muove nel suolo ed è controllato dalle caratteristiche degli orizzonti del suolo (SCS-CN USDA, 1969; USDA 1972; 1985; NCRS, 1997; Mishra e Singh, 2003).

Di seguito, sono elencati i gruppi idrologici del suolo, come definiti da SCS-CN USDA (1969) e dall'USDA (1972).

- Gruppo A: suoli con basso potenziale di deflusso. Suoli con alto tasso d'infiltrazione anche quando umidi lungo tutto il profilo, costituiti da sabbie e ghiaie profonde da ben drenate a eccessivamente drenate. Suoli con alta velocità di trasmissione dell'acqua.
- Gruppo B: suoli con moderato tasso d'infiltrazione quando sono umidi lungo tutto il profilo, da moderatamente profondi a profondi, da moderatamente ben drenati a ben drenati, con tessitura da moderatamente fine a moderatamente grossolana. Suoli con moderato tasso di trasmissione dell'acqua.
- Gruppo C: suoli con basso tasso d'infiltrazione dell'acqua quando umidi lungo tutto il profilo e con presenza di un orizzonte che impedisce il movimento verso il basso dell'acqua, o suoli con tessitura da moderatamente fine a fine. Suoli con basso tasso di trasmissione dell'acqua.
- Gruppo D: suoli con alto potenziale di deflusso *runoff*. Suoli con tasso d'infiltrazione molto basso quando completamente umidi lungo tutto il profilo e costituiti principalmente da argille espandibili, suoli con una falda superficiale permanente, suoli con un orizzonte argillico in prossimità della superficie, suoli poco profondi su materiali impermeabili. Tasso di trasmissione dell'acqua molto basso.

Risulta evidente che questa classificazione è condizionata a una preliminare valutazione qualitativa di una serie di complesse caratteristiche di un profilo del suolo. Nei fatti, questa attribuzione non può avvenire mediante la semplice misura diretta di una qualche grandezza (ad esempio, una massa o una forza). Per questo motivo, come vedremo, la stima dell'HSG passa attraverso una serie di procedure semi-quantitative o puramente qualitative.

8.3. Procedure di Valutazione

Nel corso degli anni sono state sviluppate varie metodologie per la valutazione del gruppo idrologico. Nella metodologia classica (SCS-CN USDA, 1969), il valore dell'HSG rappresenta la sintesi di alcuni elementi caratteristici del suolo,

in particolare: tessitura, struttura, grado di permeabilità, profondità a cui si riduce la permeabilità ed entità della riduzione.

Secondo questa procedura, illustrata di seguito, questi elementi vengono confrontati con tabelle precostituite, ricavandone un certo punteggio e, quindi, dalla somma di questi punteggi, la classe del gruppo idrologico di appartenenza. Con i parametri relativi alla struttura ed alla tessitura del suolo si entra nella tabella 8.1, ottenendo un certo punteggio.

Tabella 8.1. Valori per la valutazione del gruppo idrologico a partire dalla struttura e dalla tessitura del suolo. Ad ogni combinazione corrisponde un solo valore numerico (Borselli, 1995).

Tessitura	Struttura: forte incoerente	Struttura: moderata	Struttura: debole, lamellare massiva
Grossolana	1	2	3
Media	4	5	6
Fine	7	8	9

Si prende quindi in considerazione la permeabilità dell'orizzonte superficiale del suolo, l'eventuale profondità di un livello meno permeabile e l'entità della riduzione e si entra nella tabella 8.2. Si sommano i valori ottenuti dalle tabelle precedenti, ricavando, per confronto con la tabella 8.3, il gruppo idrologico del suolo in esame.

Nel caso di suoli con caratteristiche vertiche, con tendenza a formare fessurazioni per disseccamento, occorre considerare che il comportamento dicotomico su base stagionale viene risolto con l'attribuzione a questi suoli di HSG doppi (ad esempio, A/D, B/D); il secondo HSG indicato (negli esempi, il "D") è quello risultante dall'applicazione del modello, mentre il primo è definito arbitrariamente dall'operatore, ed è relativo, ovviamente, alla fase temporale in cui il suolo presenta fessure. In presenza di suoli con tendenza alla formazione di croste superficiali di sigillamento, al contrario, a causa, ad esempio, di una bassa stabilità della struttura, il gruppo idrologico risultante dall'applicazione del modello può risultare sottostimato. Qualora il calcolo dell'HSG sia un primo passo verso l'applicazione di un modello di stima dei deflussi, sarà quindi importante prevedere un'eventuale modifica del gruppo stesso verso valori a più alto potenziale di deflusso. Ciò, ovviamente, comporta una reale conoscenza del suolo e soprattutto un'attenta valutazione/simulazione delle condizioni ambientali al "tempo" in cui si decide di stimare il deflusso in funzione di un dato evento. Nel caso in cui un certo suolo non presenti caratteristiche tali da rendere univoca l'attribuzione ad un gruppo piuttosto che ad un altro, la metodologia prevede la possibilità d'attribuzione ad un gruppo intermedio (ad esempio, C/D). È evidente che attenendosi strettamente alla procedura sopra presentata ed alle tabelle indicate, in particolare la tabella 8.3, è sempre possibile attribuire univocamente un certo HSG ad un suolo, ma molto spesso considerazioni di tipo logico rendono preferibile l'uso di questi gruppi intermedi.

Tabella 8.2. Valori per la valutazione del gruppo idrologico a partire dalla permeabilità dell'orizzonte superficiale del suolo, dall'eventuale profondità di un livello meno permeabile e dall'entità della riduzione.

Infiltrazione dell'orizzonte (i) superficiale (cm h ⁻¹)	Riduzione di permeabilità nell' orizzonte (i) inferiore	Profondità (cm) a cui inizia la riduzione di permeabilità (punteggio del profilo di permeabilità)			
		< 25,4	25,4 ÷ 51	51 ÷ 102	> 102
Molto veloce e veloce (> 12)	Piccola				1 - 2
	Moderata	5 - 7	3 - 4	2 - 3	1 - 2
	Pronunciata	10	8 - 10	4 - 8	1 - 3
Mediamente veloce (6 ÷ 12)	Piccola				1 - 3
	Moderata	6 - 8	4 - 5	3 - 4	1 - 3
	Pronunciata	10	8 - 10	5 - 7	3 - 4
Media (2 ÷ 6)	Piccola				5 - 6
	Moderata	7 - 8	6 - 7	5 - 6	5 - 6
	Pronunciata	9 - 10	7 - 8	6 - 7	5 - 6
Mediamente lenta (0,5 ÷ 2)	Piccola				7 - 8
	Moderata	8 - 9	7 - 8	7 - 8	7 - 8
	Pronunciata	9 - 10	8 - 9	7 - 8	7 - 8
Lenta e molto lenta (< 0,5)	Piccola				9 - 10
	Moderata	9 - 10	9 - 10	9 - 10	9 - 10
	Pronunciata	9 - 10	9 - 10	9 - 10	9 - 10

Nelle ultime quattro colonne compaiono i valori numerici corrispondenti alla combinazione dei fattori descritti nelle prime due colonne (valore della permeabilità superficiale ed entità della sua diminuzione in profondità), con la profondità cui si riduce la permeabilità. Ogni singolo valore numerico può risultare associato a combinazioni diverse di questi fattori (da SCS-CN USDA, 1969, modificato).

Tabella 8.3. Determinazione del gruppo idrologico del Suolo.

Punteggio	Gruppo Idrologico
0 - 5	A
6 - 10	B
11 - 15	C
16 - 19	D

Dopo la somma dei valori ottenuti dalle tabelle 8.1 e 8.2, per confronto con questa tabella, si ottiene il gruppo idrologico del suolo considerato (da Borselli, 1995).

D'altra parte, anche una rigida applicazione della procedura richiede, comunque, una certa dose di soggettività, soprattutto quando si tratta di confrontare le caratteristiche del suolo con i parametri riportati in tabella 8.2.

In particolare, è lasciata alla sensibilità dell'operatore la stima dell'entità della riduzione di permeabilità ("Piccola", "Moderata" o "Pronunciata") e la

scelta del punteggio finale che, nella maggioranza dei casi, è da selezionare tra i valori compresi all'interno di un certo intervallo (ultime 4 colonne, tabella 8.2). Non deve sorprendere, quindi, che vari autori, nel tentativo di migliorare o semplificare il modello, abbiano proposto altri percorsi per arrivare alla definizione del gruppo idrologico.

Brakensiek e Rawls (1983, in Haan et al., 1994) forniscono, ad esempio, una classificazione basata sui soli caratteri tessiturali, sulla base della classificazione USDA (tabella 8.4).

Tabella 8.4. Classificazione del gruppo idrologico del suolo basata su caratteri tessiturali - classificazione USDA, da Brakensiek e Rawls (1983).

Gruppo Idrologico	Classe tessiturale USDA
A	Sabbioso, sabbioso franco o franco sabbioso
B	Franco limoso o limoso
C	Franco sabbioso argilloso
D	Franco argilloso, franco limoso argilloso, argilloso sabbioso, franco argilloso o argilloso

Altre modifiche hanno invece lo scopo di migliorare l'accuratezza e la coerenza nell'assegnazione dei suoli ai gruppi appropriati, diminuendo la soggettività, ma lasciando inalterata la relativa semplicità d'uso e di applicazione. Un esempio in questo senso, di chiaro stampo ingegneristico, viene da Langan e Lammers (1991). Gli autori hanno confrontato le caratteristiche e le proprietà dei suoli definiti nella Soil Taxonomy con la definizione dei gruppi idrologici fornita sopra. Quest'ultima, come si può facilmente constatare, non fornisce un criterio definitivo per l'attribuzione del giusto gruppo idrologico a un suolo. Langan e Lammers hanno, quindi, approfondito il dettaglio della definizione degli HSG, utilizzando altri caratteri diagnostici dei suoli presenti nella classificazione americana. In particolare: la presenza di particolari orizzonti o contatti che favoriscono o limitano la circolazione dell'acqua nel suolo o lo sviluppo di radici, il regime di umidità, ma anche la pendenza e le interazioni fra questi e altri parametri, sono alcune delle chiavi che gli autori utilizzano per arrivare all'identificazione del HSG. Il risultato di questo studio è una guida che consente, partendo dalla Soil Taxonomy di attribuire la giusta classe di HSG ad un suolo. È da notare, comunque, come manchi tutta la parte di sperimentazione che è alla base del modello classico, il che rende questo studio una buona base di partenza per uno sviluppo futuro del modello, più che una metodologia definitiva. In McCuen (1982), infine, è riportata una procedura di valutazione del gruppo idrologico basata sul valore del tasso minimo di infiltrazione del suolo. I valori indicati sono i seguenti (tabella 8.5).

Tabella 8.5. Identificazione dell'HSG secondo McCuen (1982).

Gruppo Idrologico del Suolo	Tasso minimo di Infiltrazione (mm h ⁻¹)
A	< 7,6
B	7,6 – 3,8
C	3,8 – 1,3
D	1,3 – 0

8.4. Esempio di applicazione

Gli esempi che seguono illustrano l'applicazione della metodologia classica a tre suoli (fonte: Regione Emilia Romagna, RER, Servizio Geologico Sismico e dei Suoli: Database dei Suoli di Collina e di Montagna). Come in precedenza descritto, i dati necessari per arrivare all'attribuzione del gruppo idrologico a un suolo sono la tessitura, la struttura, la permeabilità e lo spessore degli orizzonti.

In tabella 8.6 sono riportati i dati relativi a tessitura, struttura, permeabilità di un profilo pedologico, così come estratto dalla banca dati dei suoli della Regione Emilia Romagna.

Esempio 1

Tabella 8.6. Dati di un profilo pedologico estratto dalla banca dati dei suoli dell'Emilia Romagna.

Orizzonte	Limite sup. (cm)	Limite inf. (cm)	Dimensione e tipo struttura	Grado struttura	Classe di permeabilità	Sabbia tot. %	Limo grosso %	Limo fine %	Limo tot. %	Argilla %	Classe tessitura	K _s (cm h ⁻¹)
Ap1	0	30	43	3	4	15	30	39	69	16	FL	0,1354
Ap2	30	45	33	3	4	17	30	39	69	14	FL	0,1166
Btg	45	95	33	7	4	13	26	38	64	23	FL	0,2170
Bc	95	110			4	15			60	25	FL	0,2455
2Btg1	110	155	33	7	3	14	19	27	46	40	AL-FLA	0,9854
2Btg2	155	190	42	6	4	13	24	38	62	25	FL	
2Btg3	190	270	22	6	4	15	24	39	63	22	FL	
2Btg4	270	330	22	7	3	20	16	29	45	35	FLA	
4BC	330	340			4	20			50	30	FLA	

Il significato dei codici relativi alla struttura e alla classe di permeabilità sono riportati nelle tabelle 8.7, 8.8 e 8.9.

Tabella 8.7. Codifiche di descrizione dei profili, relative alla struttura (dalla Normativa Tecnica Regionale della RER, Regione Emilia Romagna, 1995).

Dimensione (mm)	Forma									
	Lamellare		Prismatica		Poliedrica angolare		Poliedrica subangolare		Granulare	
Fine	11	1-2	12	10-20	13	5-10	14	5-10	15	1-2
Media	21	2-5	22	20-50	23	10-20	24	10-20	25	2-5
Grossolana	31	5-10	32	50-100	33	20-50	34	20-50	35	5-10
Molto grossolana	41	>10	42	>100	43	>50	44	>50	45	>10

Tabella 8.8. Codifiche di descrizione dei profili, relative al grado (dalla Normativa Tecnica Regionale della RER, Regione Emilia Romagna, 1995).

Grado	
1	Incoerente
2	Massivo
3	Debole
6	Moderata
7	Forte

Tabella 8.9. Codifiche di descrizione dei profili, relative alla permeabilità (dalla Normativa Tecnica Regionale della RER, Regione Emilia Romagna, 1995).

Permeabilità		K_s (cm h ⁻¹)
1	Molto bassa	< 0,0035
2	Bassa	0,0035 – 0,035
3	Moderatamente bassa	0,035 – 0,5
4	Moderatamente alta	0,35 – 3,5
5	Alta	3,5 – 35
6	Molto Alta	> 35

L'uso di una misura di conducibilità idrica satura, K_s , o di una sua stima attraverso una pedofunzione, è necessaria perché le classi di conducibilità idrica satura generalmente disponibili nelle basi dati pedologiche e nelle note di accompagnamento di cartografie dei suoli, presentano un intervallo di variabilità troppo grande rispetto a quanto richiesto dalla metodologia HSG (vedi tabella 8.2). La classe di permeabilità 4, ad esempio, è indice di valori di K_s tra 0,35 e 3,5 cm h⁻¹ (Regione Emilia Romagna, 1995) e risulta, quindi, trasversale a tre delle cinque classi di permeabilità indicate dalla metodologia HSG (in particolare, quelle a permeabilità più bassa). A partire dai soli dati di

tessitura è possibile, utilizzando la pedofunzione di Bloemen (1980), stimare la conducibilità idrica satura K_s . Questa pedofunzione fornisce la stima della conducibilità idrica satura K_s in cm h^{-1} a partire dalle percentuali di almeno tre frazioni granulometriche. Il numero delle frazioni tessiturali individuate determina il grado d'accuratezza del valore stimato.

La relazione applicata è:

$$K_s = 0.00083 MD_{50}^{1.93} GSDI^{-0.74} \quad (\text{cm h}^{-1}) \quad (1)$$

dove MD_{50} è la mediana della distribuzione del diametro delle particelle (espressa in mm) e $GSDI$ è l'indice di distribuzione dimensionale. L' MD_{50} si calcola dalla curva cumulativa per interpolazione lineare di valori dimensionali trasformati logaritmicamente, secondo l'equazione (2):

$$MD_{50} = 10^{\left(\log_{10} x_{i+1} - \frac{f_{c,i+1} - 50}{f_{c,i+1} - f_{c,i}} (\log_{10} \frac{x_{i+1}}{x_i}) \right)} \quad (2)$$

dove: x_{i+1} è il limite dimensionale superiore (in mm) della classe granulometrica appena sopra la mediana (percentile 50%); $f_{c,i+1}$ è la frequenza cumulata della stessa classe (espressa in %); x_i è il limite dimensionale superiore della classe granulometrica appena sotto la mediana (in mm); $f_{c,i}$ è la frequenza cumulata corrispondente (espressa in %).

$GSDI$ viene calcolato noti i valori percentuali cumulati f_i (in %), corrispondenti ai limiti (espressi in mm) tra due classi dimensionali, con le equazione (3) e (4):

$$GSDI = \frac{\sum_{i=1}^n F_i}{\sum_{i=1}^n (f_{i+1} - f_i)} \quad (3)$$

dove:

$$F_i = (f_{i+1} - f_i) \frac{\log_{10} \left(\frac{f_{i+1}}{f_i} \right)}{\log_{10} \left(\frac{x_{i+1}}{x_i} \right)} \quad (4)$$

Il valore della K_s calcolato in questo modo è stato inserito nel quadro riassuntivo illustrato in seguito.

Il calcolo del gruppo idrologico inizia con il valore di tessitura dell'orizzonte superficiale, che è il primo parametro utile per entrare nella tabella 8.1, dove le classi tessiturali sono aggregate nel modo seguente:

- tessitura fine: argillosa, argilloso limosa, argilloso limosa - franco argilloso limosa, argilloso sabbiosa;
- tessitura media: limosa, franco limosa, franco argilloso limosa, franco argillosa, franca, franco sabbiosa, franco argilloso sabbiosa, franco sabbiosa - franco argilloso sabbiosa, franco limosa - franca;
- tessitura grossolana: sabbiosa, franco sabbiosa.

Selezionata la tessitura e, quindi, la corrispondente riga in tabella 8.1, dalle informazioni sulla struttura si ottiene il corrispondente punteggio, da 1 a 9.

Più complesso e, soprattutto, più soggettivo, è l'uso della tabella 8.2. Attraverso il valore della K_s dell'orizzonte superficiale, si entra nella tabella (prima colonna: "Infiltrazione dell'orizzonte superficiale"), si verifica l'esistenza di un orizzonte a più bassa permeabilità e, nel caso, la profondità dello stesso e l'entità di questa riduzione (stimata dall'operatore sulla base della propria esperienza e sensibilità). Nel quadro seguente è riportato l'esempio di calcolo.

Esempio di Calcolo HSG

Tabella 7.1: Tessitura Media (franco limosa); Struttura Debole (grado 3) → Punteggio tabella 7.1 = 6.

Tabella 7.2: Infiltrazione "Lenta e Molto lenta" ($K=0,1354 \text{ cm h}^{-1}$); Riduzione permeabilità a 30 cm (orizzonte Ap2 con $K=0,1166 \text{ cm h}^{-1}$); Stima riduzione: Piccola → **Punteggio tabella 7.2 = 9** (variante 1) – 10 (variante 2).

Gruppo Idrologico (tabella 7.3): punteggio tabella 7.1 + punteggio tabella 7.2 =

Variante 1: $6 + 9 = \text{punteggio totale} = 15 \rightarrow \text{GRUPPO C.}$

Variante 2: $6 + 10 = \text{punteggio totale} = 16 \rightarrow \text{GRUPPO D.}$

In quest'esempio, la scelta del valore di sintesi delle caratteristiche idrauliche (tabella 7.2) risulta fondamentale per la definizione dell'HSG. In mancanza di conoscenze dirette del suolo, che consentono, in definitiva, l'attribuzione dello stesso al gruppo "C" o al "D", la scelta più cautelativa spinge verso l'adozione del gruppo intermedio: "C-D".

Nel caso di suoli con caratteristiche vertiche, si ha un comportamento dicotomico legato ai cicli di contrazione ed espansione delle argille, collegati all'umidità del terreno, e, quindi, all'andamento stagionale. Non è possibile, in questo caso, assegnare un gruppo idrologico univoco ed il calcolo dell'HSG viene effettuato per valutare il gruppo idrologico quando il suolo è umido e le fessure sono chiuse (in questo esempio, il "D") ed indicando contemporaneamente, in modo arbitrario, un gruppo inferiore, normalmente "A" o al massimo "B", per la fase temporale in cui le fessure sono aperte.

8.5. Valutazioni a scala Bacino

Un aspetto fondamentale, qualunque sia la metodologia scelta per la valutazione del gruppo idrologico, è che non si può prescindere da una base dati di tipo pedologico. Le stime basate su informazioni solamente litologiche, o geologiche in genere, hanno una scarsa attendibilità. Infatti, la base di conoscenze a partire dalle quali la classificazione HSG è stata sviluppata è quella pedologica. Tuttavia, la pratica di produrre cartografia della distribuzione del gruppo idrologico del suolo a partire da una cartografia non adeguata (carta geologica d'Italia alla scala 1:100.000 o inferiore) o alla scala non appropriata (carta dei suoli d'Italia alla scala 1:1.000.000) ha trovato in Italia un'amplissima diffusione. Tali pratiche sono totalmente da scoraggiare.

Pur con l'alto grado di soggettività insito nella sua valutazione, il gruppo idrologico è una "proprietà", in senso lato, del suolo (e non del substrato): maggiore è il dettaglio delle informazioni in possesso sul suolo, minore è il grado di soggettività richiesta. Le conoscenze acquisite sui suoli di una certa regione, la sensibilità e l'esperienza dell'operatore possono, comunque, rappresentare elementi chiave del processo di stima dell'HSG.

Nelle applicazioni a scala di bacino, quindi, è necessaria una cartografia alla scala adeguata, supportata da un banca dati pedologica ben organizzata. L'esempio di applicazione precedentemente riportato, riferito alla banca dati pedologica della Regione Emilia Romagna, costituisce un riferimento generale e ideale per la stima dell'HSG. Nelle figure 8.1 e 8.2 sono mostrate la localizzazione e l'applicazione della metodologia ad una porzione del settore collinare del Bacino del Torrente Samoggia (BO). La cartografia dei suoli dell'area è stata realizzata in occasione della stesura del Piano di Bacino del torrente Samoggia (Autorità di Bacino del Reno, 2001). L'area è suddivisa in "Unità Cartografiche" (UC), le cui sigle fanno riferimento, principalmente, al "Catalogo regionale dei principali tipi di suolo agricoli di collina e montagna" (Regione Emilia Romagna, 1996), integrato da rilievi successivi.

Per ogni UC, è stata individuata una "Unità Tipologica di Suolo" (UTS) dominante, principalmente sulla base della sua estensione all'interno della UC stessa. Infine, ad ogni UTS è stato associato un profilo rappresentativo, proveniente dalla banca dati regionale, del tipo mostrato nell'esempio 1.

È da sottolineare come il livello di dettaglio delle informazioni cartografiche utilizzate in questo caso rappresenta il limite minimo per un'applicazione ottimale della metodologia.

Il passaggio finale dell'applicazione a scala di bacino è l'attribuzione dell'HSG, determinato sulla base dei dati contenuti nei profili, alle corrispondenti UC (figura 8.2).

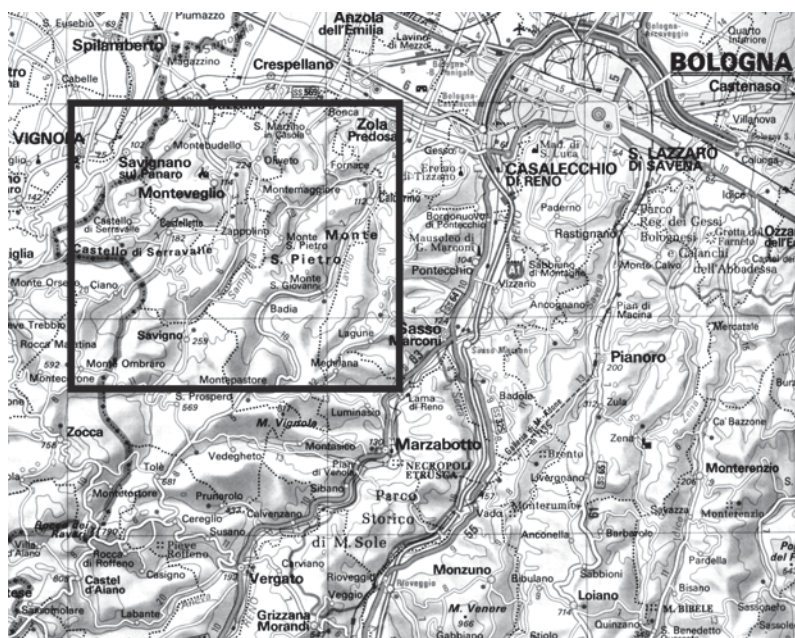


Figura 8.1. Localizzazione dell'area dell'esempio mostrato in figura 8.2.

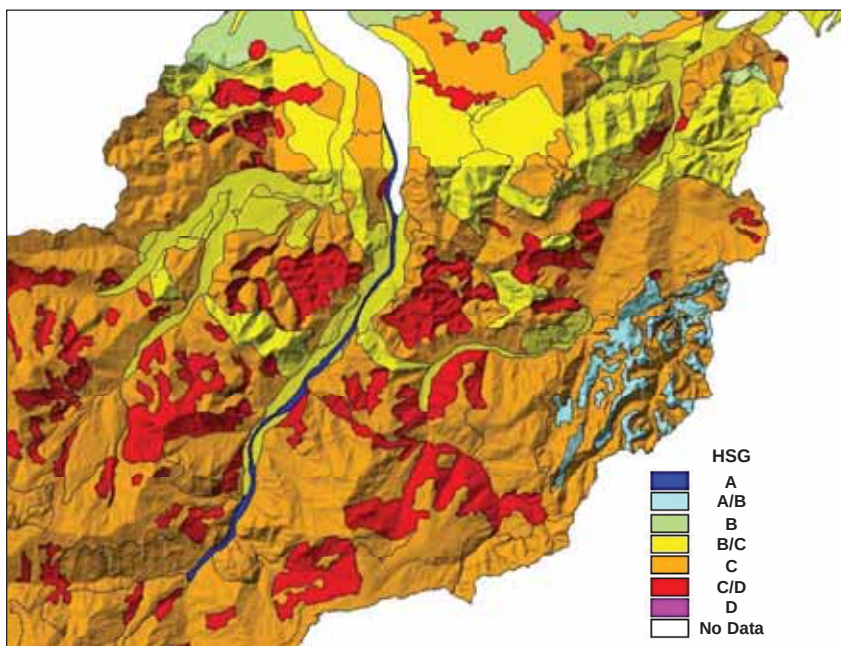


Figura 8.2: Applicazione a scala di bacino: Carta del Gruppo Idrologico. L'area è localizzata nel settore collinare del bacino del Torrente Samoggia (BO). Le linee nere mostrano i limiti delle Unità Cartografiche identificate durante la stesura del Piano di Bacino del Torrente Samoggia (Autorità di Bacino del Reno, 2001).

Bibliografia

- AUTORITÀ DI BACINO DEL RENO, 2001. *Bacino interregionale del fiume Reno. Piano stralcio per il bacino del Torrente Samoggia. Relazione generale e programma degli interventi*. http://www.regione.emilia-romagna.it/BACINORENO/piano_torrente_Samoggia/Cd_Piano_Samoggia/Piano/RelazioneGenProgIntSamoggia.pdf
- BLOEMEN, W., 1980. *Calculation of hydraulic conductivities of soils from texture and organic matter content*. Z. Pflanzenernähr. Bodenkd., 43, 581-605.
- BORSELLI, L., 1995. *Soil conservation service curve number method*. In: Busoni, E., Borselli, L., Calzolari, C., (Ed.), Caratteristiche fisiche ed idrologiche del suolo: loro derivabilità dalla cartografia pedologica ed applicabilità in modelli distribuiti di bilancio idrologico di bacino, Gruppo Nazionale per la difesa dalle catastrofi idrogeologiche - C.N.R. - Linea 1, 57-76.
- BRakensiek, D.L., Rawls, W.J., 1983. *Green-Ampt Infiltration Model Parameters for Hydrologic Classification of Soil*. In: Borelli, J., Hasfurther, V.R., Burman, R.D., (Ed.): Proceedings, American Society of Civil Engineers Specialty Conference, New York, 226-233.
- GREEN, W.H., AMPT, G.A., 1911. *Studies on soil Physics. 1. The flow of air and water through soils*. J. Agric. Sci. 4, 1-12.
- HAAN, C.T., BARFIELD, B.J., HAYES, J.C., 1994. *Design Hydrology and sedimentology for small catchments*. Academic Press, 587.
- HORTON, R.E., 1940. *An approach towards a physical interpretation of infiltration capacity*. Soil Sci. Soc. A. Proceedings, 5, 399-417.
- HUDSON, N., 1986. *Soil conservation*. B T Batsford Limited, London, 324.
- LANGAN L.N., LAMMERS, D.A., 1991. *Definitive Criteria for Hydrologic Soil Groups*. In: Fall (1991) - Soil Survey Horizons, Vol. 32, Number 3, 69-73.
- MCCUEN, R.H., 1982. *A guide to Hydrologic Analysis using SCS Methods*. Prantice Hall, Englewood Cliff, New Jersey, 07632.
- MISHRA, S.K., SINGH, P., 2003. *Soil Conservation Service Curve Number (SCS-CN) methodology*. Water Science and Technology Library, vol. 42, 513.
- MOREL-SEYTOUX, H.J., VERDIN, J.P., 1981. *Extension of the Soil Conservation Service Rainfall-Runoff Methodology for Ungaged watershed*. Federal Highway Administration, Environmental Division Washington D.C., Report n.81-10.
- MORIN, J., KOSOVSKY, A., 1995. *The surface infiltration model*. Journal of Soil and Water Conservation, 50(5), 470-476.
- NRCS, 1997. *National Engineering Handbook - Part 630 Hydrology*. <http://www.wcc.nrcs.usda.gov/hydro/hydro-techref-neh-630.html>.
- PHILIP, J.R., 1957. *The theory of infiltration. 4. Sorptivity and algebraic infiltration equation*. Soil Science. 84, 257-264.
- REGIONE EMILIA ROMAGNA, 1995. *Carta dei Suoli Regionale scala 1:50.000. Normativa Tecnica Regionale*. Ufficio Pedologico, Servizio Cartografico, 117.
- REGIONE EMILIA ROMAGNA, 1996. *Carta dei suoli 1:250.000 (Edizione divulgativa 1:100.000). Catalogo regionale dei principali tipi di suolo agricoli di collina e montagna*. Servizio Sviluppo Sistema Agricolo-Alimentare, Servizio Cartografico e Geologico, Bologna, 286.
- RICHARDS, L.A., 1931. *Capillary conduction of liquids through porous media*. Physics, 1, 318-333.

- SCS-CN USDA, (1969). *Soil Conservation Service National Engineering Handbook, section 4, Hydrology*. Washington, USA.
- SINGH, V.P., 1995. *Computer Models of Watershed Hydrology*. Water resources Publications, Colorado, Usa, 1130.
- SMITH, R.E., PARLANGE, J.Y, 1978. *A parameter-efficient hydrologic infiltration model*. Water Resource Research, 14(3), 533-538.
- SWARTZENDRUBER, D., 1987. *A quasi solution of Richards' equation for the downward infiltration of water into soil*. Water Resour. Res. 23, 809-817.
- USDA, 1972. *Soil Conservation Service National Engineering Handbook, section 4, Hydrology*. Washington, USA
- USDA, 1985. *SCS National Engineering Handbook, Section 4: Hydrology*. Washington, D.C.

Ministero delle Politiche Agricole, Alimentari e Forestali
Osservatorio Nazionale Pedologico e per la Qualità del Suolo Agricolo e Forestale

In collaborazione con:
International Union of Soil Sciences
Società Italiana della Scienza del Suolo
Commissione VI - Uso e Conservazione del Suolo

ONGARO, L., SARFATTI, P., 2006. *Valutazione delle terre per i Paesi in Via di Sviluppo*.
In: Costantini, E.A.C. (Ed.), *Metodi di valutazione dei suoli e delle terre*, Cantagalli,
Siena, pp. 922.

Collana dei metodi analitici per l'agricoltura diretta da Paolo Sequi, vol. 7

CRA - Consiglio per la Ricerca e la Sperimentazione in Agricoltura
Istituto Sperimentale per lo Studio e la Difesa del Suolo, Firenze

9. Valutazione delle terre per i Paesi in Via di Sviluppo

Luca Ongaro¹, Paolo Sarfatti¹

9.1. Cartografia delle Unità di Terre finalizzata alla valutazione: l'approccio IAO (Luca Ongaro).....	3
9.2. Valutazione delle terre per i Paesi in Via di Sviluppo: alcuni esempi di applicazioni (Paolo Sarfatti e Luca Ongaro).....	6
9.2.1. Valutazione delle terre per la coltivazione del grano duro (Algeria, 1995)...	6
9.2.2. Valutazione delle terre per lo sviluppo urbano (Bolivia, 1999)	10
9.2.3. Land evaluation per la conservazione della natura (Tunisia, 2004)	14
Bibliografia	16

In ambito internazionale è comunemente riconosciuto che occorrono dati scientificamente affidabili sulle risorse naturali per un loro uso razionale e sostenibile, per assicurare la sicurezza alimentare, sradicare la povertà e preservare l'ambiente per le generazioni future. Esiste una notevole mole di dati in formato geografico, per esempio immagini da satellite a bassa, media, alta e altissima risoluzione e modelli digitali del terreno, ma l'utilizzo di questo tipo di dati per applicazioni nella valutazione delle risorse naturali e nella pianificazione territoriale è ancora al di sotto delle potenzialità offerte.

Le metodologie che vanno genericamente sotto il nome di **valutazione delle terre** costituiscono uno strumento affidabile, che consente di fornire un quadro di insieme delle risorse disponibili per lo sviluppo in una determinata regione e di analizzare possibili scenari alternativi.

La **valutazione delle terre** è particolarmente importante nei Paesi in Via di Sviluppo, quando, attraverso progetti di cooperazione, si intenda introdurre innovazioni tecnologiche (per esempio, trasformazione irrigua), nuove colture, cambiamenti nella gestione del suolo, riforestazione oppure, più in generale, si voglia redigere piani di gestione territoriale.

Nel corso degli ultimi 20 anni l'Istituto Agronomico per l'Oltremare (IAO) di Firenze ha sviluppato una propria metodologia, consolidata attraverso una serie di applicazioni, nell'ambito dei progetti di cooperazione allo sviluppo (Algeria) o nell'ambito dei propri corsi di formazione (Bolivia, Cina, Eritrea, Marocco, Senegal, Tunisia). Tale metodologia prevede in una

¹ IAO – Istituto Agronomico per l'Oltremare, Firenze

prima fase la realizzazione di una cartografia delle Unità di Terre e successivamente l'applicazione di diversi schemi di valutazione attraverso metodologie consolidate o sviluppando metodi *ad hoc*. In questo quadro, il Master Professionale di "Geomatics and Natural Resources Evaluation", che, con diverse denominazioni, lo IAO organizza regolarmente dal 1974, costituisce il "laboratorio di sperimentazione" per la messa a punto della metodologia.

9.1. Cartografia delle Unità di Terre finalizzata alla valutazione: l'approccio IAO (Luca Ongaro)

In un ambito di cooperazione con i Paesi in Via di Sviluppo è necessario fornire il supporto conoscitivo necessario ad un'attività di progettazione nel settore rurale: in quest'ottica, ci si deve confrontare con problemi di carattere organizzativo, logistico, economico e scientifico del tutto diversi da quelli cui si va incontro operando in ambito nazionale. Infatti, molto spesso ci si trova di fronte a situazioni in cui le informazioni sull'ambiente non esistono, sono frammentarie oppure a scala troppo piccola per essere utilizzate; capita spesso di avere a disposizione tempi assai ristretti, e la necessità di effettuare la campagna di controllo a terra con una sola spedizione, senza potersi cioè recare più volte nelle aree di studio. Inoltre, si tratta quasi sempre di ambienti difficili dal punto di vista climatico, logistico, organizzativo, ecc. è stato quindi necessario mettere a punto una metodologia operativa di studio e valutazione delle risorse ambientali che fosse funzionale alle peculiarità che presenta l'attività di cooperazione per lo sviluppo rurale, coerente scientificamente ed accettata a livello internazionale; l'integrazione multidisciplinare rappresenta uno strumento più che mai indispensabile laddove l'esigenza è quella di "partire da zero". Fin dall'inizio è stato scelto, come quadro di riferimento, quello di un approccio olistico a dei sistemi di unità di terre, rifacendosi in larga misura al lavoro sviluppato da organizzazioni straniere o internazionali come FAO, CSIRO (Australia), LRDC (Gran Bretagna) e ITC (Olanda); l'obiettivo dello IAO è stato soprattutto quello di rendere operativo l'impiego delle tecniche di telerilevamento, abbinate ad un sistema informativo territoriale, e a sviluppare procedure di rilevamento di campagna più rapide, accurate ed efficaci possibili. Particolare importanza viene poi data all'aspetto di valutazione (o "classificazione pragmatica") delle risorse ambientali, seguendo le metodologie sviluppate dalla FAO, che per vari aspetti risultano le più adatte a questo tipo di lavoro (FAO, 1976).

Lo studio e la valutazione delle risorse ambientali è un problema assai complesso dal punto di vista scientifico, coinvolgendo numerose discipline, come la botanica, la pedologia, la climatologia, la geologia e molte altre ancora. Inoltre, basti pensare alla quantità di variabili coinvolte, ad esempio, nella produzione di biomassa vegetale o a tutte le possibili interrelazioni fra i vari

fattori ambientali e gestionali per capire come un approccio esauriente sia pressoché irrealizzabile nella pratica operativa. Importante diventa allora la possibilità di disporre di metodi di studio semplificati, che, nel rispetto di un quadro teorico-scientifico coerente e corretto, consentano di rappresentare la realtà con un grado di approssimazione accettabile per gli scopi pratici.

Nella metodologia IAO, tutto ruota intorno alla Carta delle Unità di Terre (*Land Unit Map*), che rappresenta il documento di sintesi indispensabile per capire al meglio l'ambiente e le sue risorse. Terre, in questa accezione, è la traduzione dell'inglese "*land*", e definisce una "superficie determinata della superficie terrestre le cui caratteristiche comprendono tutti gli elementi ragionevolmente stabili o ciclici della biosfera sia al di sopra che al di sotto di questa superficie, ivi compresi quelli dell'atmosfera, del suolo e della geologia sottostante, dell'idrologia, delle popolazioni vegetali ed animali, ed i risultati delle attività antropiche passate e presenti, nella misura in cui questi elementi esercitano una influenza sull'utilizzazione presente e futura delle terre da parte dell'uomo" (FAO, 1976). Il paesaggio, sulla base di questa definizione, è l'aspetto visivo delle terre e l'unità di paesaggio è quindi l'oggetto che viene identificato e studiato, prima sulle immagini da satellite e da aereo, poi in campagna. Una volta descritta nelle sue varie componenti, l'unità di paesaggio diventa una Unità di Terre, cioè una porzione di territorio, omogenea alla scala di riferimento considerata per una serie di fattori ambientali, di cui diverse proprietà sono state misurate o descritte, insieme alle loro interrelazioni. In pratica, quello che si cerca di attuare è un approccio olistico ad un sistema di unità di terre: "l'olismo" è un concetto usato in filosofia per indicare la tendenza della natura a creare degli interi, per evoluzione creativa, che sono più della somma delle loro parti. Così, un rilevamento olistico delle terre è un rilevamento che prende in considerazione, o utilizza, il principio che il paesaggio è qualcosa di più della mera addizione dei suoi attributi osservabili, e parametri misurabili, presi separatamente. Il termine, in effetti, è quasi sinonimo di "integrato" (Zonneveld, 1979). Le Unità di Terre, come espressioni pratiche di concetti olistici, rappresentano nella realtà degli ecosistemi e come tali costituiscono un ottimo quadro di riferimento per le discipline tradizionali. Nella prassi operativa, quindi, si può disporre di efficaci strumenti per studiarle, descriverle e valutarle.

Il primo passo è la classificazione delle Terre, ovvero il raggruppamento degli elementi simili in suddivisioni gerarchiche. La metodologia IAO prevede, pragmaticamente, tre livelli "gerarchici" di classificazione delle Terre, in ordine decrescente di scala: il sito, la facet e il sistema di terre.

Il **sito** è la più piccola entità olistica: esso è omogeneo per tutti o quasi i suoi attributi, e corrisponde alla stazione scelta per l'effettuazione del rilevamento puntuale durante il lavoro sul terreno.

La **facet** è una porzione di Terre formata da una popolazione di siti, che sono in relazione fra di loro sia spaziale che in termini di attributi, per almeno uno di essi, tipicamente la geomorfologia o la copertura delle terre. In genere la facet è omogenea anche dal punto di vista pedologico, ma soprattutto è omogenea dal punto di vista delle sue caratteristiche gestionali, che ne costituiscono infatti uno dei caratteri diagnostici principali durante il lavoro di

campagna. La facet è l'elemento fondamentale ai fini della valutazione delle Terre.

Una delle principali caratteristiche della metodologia IAO è l'adozione di un sistema aperto di classificatori per la catalogazione delle facet, che semplifica di molto le fasi di rilevamento in campagna, di classificazione del territorio e di costruzione di un sistema di legenda.

Il **sistema di Terre** è “una combinazione di facet che formano una unità cartografica conveniente a scala di riconoscimento” (Zonneveld, 1972). Così, un sistema di Terre è generalmente costituito da facet associate geograficamente che formano dei *pattern* ricorrenti, i cui limiti coincidono con quelli delle principali caratteristiche e/o processi geologici e geomorfologici (Ongaro, 1998).

Mentre il sito è una reale porzione di territorio, sia la facet che il sistema di terre sono astrazioni cartografiche frutto di un processo di generalizzazione, i cui limiti e la cui estensione dipendono dall'esperienza del rilevatore e dalla sua interpretazione delle evidenze del paesaggio.

L'Unità di Terre, così come è delineata sulla mappa, può contenere una qualsiasi aggregazione di facet, pure o miste, e/o sistemi di Terre, senza alcuna relazione con i diversi livelli gerarchici, solo ed esclusivamente in funzione della scala cartografica e delle caratteristiche del territorio in esame. La scala della carta, infatti, determina le dimensioni dell'unità minima cartografabile, ovvero della più piccola porzione di territorio che può essere delineata con un qualche significato tematico appropriato nella carta finale. La legenda di una Carta di Unità di Terre sarà quindi in realtà sempre costituita da due tabelle, ovvero una legenda delle facet e una delle Unità di Terre, legate fra di loro da un sistema di pesi e interrelazioni. Un analogo sistema di relazioni verrà usato anche, inoltre, per correlare le osservazioni di campagna con le facet a cui esse si riferiscono, quindi, in ultima analisi, con le unità cartografiche. Il sistema informativo geografico così creato presenta caratteristiche abbastanza peculiari di scalabilità (possibilità di ampliare la zona di studio, di variare la scala di lavoro, ecc.) e di aggiornabilità, permettendo di aggiungere in qualunque momento nuove osservazioni di campagna oppure di modificare la legenda. Inoltre, un sistema informativo geografico basato sulle Unità di Terre nell'accezione fin qui esposta, si presenta come un rovesciamento di termini rispetto ad un GIS tradizionale, in cui si parte dall'analisi per arrivare alla sintesi: tipicamente, dalla sovrapposizione di più *layers* informativi si ricavano, con gli opportuni algoritmi, i tematismi derivati (figura 9.1).

Nel caso delle Unità di Terre, invece, il momento di partenza è la sintesi, da cui si ricavano per analisi successive i differenti tematismi e le differenti valutazioni. I vantaggi di questo approccio rovesciato sono molteplici: oltre a non presentare problemi di coerenza tematica o geometrica fra i diversi *layers*, esso garantisce fin dall'inizio l'integrazione fra le informazioni e quindi la corretta analisi delle interrelazioni fra i diversi attributi ambientali. Quindi, un approccio olistico di tipo Unità di Terre si presta ottimamente ad essere

utilizzato come base per le più svariate procedure di valutazione, non solo a fini produttivi, ma anche di impatto ambientale.

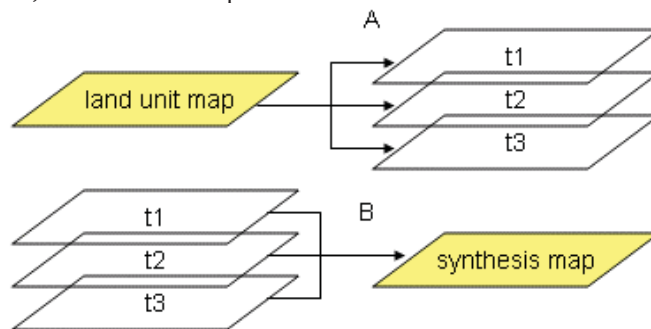


Figura 9.1. Differenza schematica fra l'approccio basato sulle Unità di Terre (A) e un GIS tradizionale (B): t1, t2, t3 rappresentano diversi tematismi di base.

9.2. Valutazione delle terre per i Paesi in Via di Sviluppo: alcuni esempi di applicazioni (Paolo Sarfatti e Luca Ongaro)

Nel corso degli ultimi venti anni sono state sperimentate a cura dello IAO numerose e diverse applicazioni di valutazione delle terre:

- valutazione in termini generali di capacità d'uso;
- valutazione dell'attitudine per specifiche colture, differenziando tra tecniche colturali tradizionali (terrazzamenti, trazione animale, concimazione organica, ecc.) e tecniche moderne (meccanizzazione, ecc.);
- attitudine all'irrigazione;
- valutazione per specifiche specie forestali, per produzione da legno, per la conservazione del suolo oppure per scopi ricreazionali;
- vocazione eco-turistica e valutazione naturalistica;
- rischio di erosione;
- valutazione per lo sviluppo urbano.

Per ciascuna applicazione sono stati sviluppati indici ad hoc e relative tabelle, adottando di volta in volta metodi parametrici, sia qualitativi che quantitativi, o una combinazione tra essi. Si riportano tre esempi sviluppati nell'ambito dei progetti o dei corsi eseguiti dallo IAO rispettivamente in Algeria, Bolivia e Tunisia (Sarfatti, 1995; IAO, 1999; IAO, 2004).

9.2.1. Valutazione delle terre per la coltivazione del grano duro (Algeria, 1995)

Il progetto di ricerca applicata "Grano duro e lenticchia nella regione di Tiaret (Algeria)" si è svolto dal 1993 al 1997. Nell'ambito del progetto è stata

realizzata una cartografia delle Unità di terre in scala 1:200.000 di quattro *Wilayate*, per una superficie di circa 30.000 Km², in una delle zone più importanti per la coltivazione del grano duro, coltura essenziale per l'alimentazione di base. È stata effettuata una valutazione delle terre per la coltivazione invernale del grano duro senza irrigazione, tenendo in considerazione aspetti, climatici, topografici ed edafici. Il ciclo colturale nella zona in esame va da novembre a giugno, quindi per la disponibilità idrica è stata considerata la piovosità totale in questo periodo. Mancando dati puntuali per ciascuna unità cartografica, è stata elaborata un'interpolazione tra i dati delle stazioni più vicine.

Tabella 9.1. Valutazione della lavorabilità in base a tessitura e struttura (da Sys, 1985, modificata).

Sigla	Descrizione	Valutazione
Cm	Argilloso, struttura massiva	S3
SiCm	Argilloso Limoso, struttura massiva	S3
C+60,v	Argilloso molto fine, struttura prismatica	S1
C+60,s	Argilloso molto fine, struttura poliedrica	S1
C-60,v	Argilloso, struttura prismatica	S1
C-60,s	Argilloso, struttura poliedrica	S1
SiCs	Argilloso limosa, struttura poliedrica	S1
Co	Argilloso, struttura poliedrica molto debole	S1
SiCL	Franco Limoso Argilloso	S1
CL	Franco Argilloso	S1
Si	Limoso	S1
SiL	Franco Limoso	S1
SC	Argilloso Sabbioso	S1
L	Franco	S1
SCL	Franco Argilloso Sabbioso	S1
SL	Franco Sabbioso	S2
LfS	Sabbioso Franco fine	S3
LS	Sabbioso Limoso	S3
LcS	Sabbioso Franco grossolano	N
fS	Sabbioso fine	N
S	Sabbioso	N
cS	Sabbioso grossolano	N

Per quanto riguarda i dati pedologici, sono state considerate le qualità ritenute più importanti. Per la disponibilità di ossigeno per le radici sono stati considerati il drenaggio interno ed esterno del suolo, stimati in termini qualitativi attraverso osservazioni di ordine morfologico, idrologico e pedologico effettuate sul terreno (*runoff*, permeabilità, screziature, colore, ecc.). Per la ritenzione degli elementi nutritivi, è stato considerato il tenore di sostanza organica dell'orizzonte di superficie e la capacità di scambio cationico

(media ponderata dei primi 50 cm), utilizzando il fattore presente in dose minima. Per le condizioni di radicamento, una delle qualità più difficili nella zona di studio, è stata considerata la profondità di suolo esplorabile dalle radici, prendendo come limite inferiore la roccia madre, la falda o la presenza di orizzonti di diversa natura che impediscono la penetrazione delle radici (per esempio croste calcaree). Per le condizioni che influiscono sulla germinazione è stata considerata la temperatura atmosferica media del mese corrispondente, stimata in base ad un'equazione di regressione multipla, in funzione della posizione geografica, della distanza dalla costa e della quota (calcolata a partire da un modello digitale del terreno). Le condizioni di fioritura e di maturazione sono state valutate in base ai dati di temperatura e precipitazione (stimate entrambe come nei casi precedenti) dei periodi dell'anno corrispondenti a queste fasi fenologiche, facendo valere anche in questo caso la cosiddetta legge del minimo. L'eccesso di sali è stato valutato in base alla salinità e alla sodicità, mentre per la tossicità è stato valutato il calcare attivo. Per la lavorabilità, è stata utilizzata una sequenza di un indice che combina tessitura e struttura (tabella 9.1).

La possibilità di meccanizzazione è stata stimata attraverso una valutazione congiunta di pendenza, pietrosità superficiale e affioramenti rocciosi. Infine, elemento molto importante per l'Algeria, è stato considerato il rischio di erosione idrica ed eolica, stimati sulla base dell'osservazione qualitativa in campo del tipo di erosione, del grado di intensità e della percentuale dell'unità cartografica interessata (tabella 9.2).

Tabella 9.2. Matrice per la valutazione del rischio di erosione eolica e idrica (sulla base dell'osservazione in campo).

SUPERFICIE INTERESSATA	INTENSITÀ		
	Debole	Moderata	Elevata
Trascurabile	S1	S1	S2
Localizzata	S1	S2	S3
Diffusa	S2	S3	N

In tabella 9.3 è riportata la tabella di conversione utilizzata. In molti casi si sono dovute adattare le soglie esistenti in letteratura. Se si fossero utilizzate in modo rigido tabelle pre-esistenti, tutte le unità sarebbero risultate non adatte, mentre dalle indagini effettuate è emerso che in alcune aree vengono ottenute delle rese ragionevolmente elevate per le condizioni algerine ($> 1,6 \text{ t ha}^{-1}$), mentre le unità non adatte risultano avere rese inferiori ai $0,4 \text{ t ha}^{-1}$.

Le esigenze della coltura sono state stimate in stretto contatto con i genetisti e con gli agronomi del progetto e degli istituti di ricerca e dei servizi di assistenza tecnica locali, sulla base sia dei genotipi maggiormente coltivati che delle reali condizioni di campo.

Tabella 9.3. Tavola di conversione per la valutazione dell'attitudine delle terre alla coltivazione del frumento duro in Algeria.

	Qualità delle terre	Fattore	Unità di misura	Molto adatto S1	Moderatamente adatto S2	Marginalmente adatto S3	Non adatto N
1	Disponibilità idrica	Piovosità media durante la stagione di crescita	mm	350-1250	250-1500	200-1750	qualsiasi
2	Disponibilità ossigeno per le radici	Classe di drenaggio del suolo		da buono a moderato	imperfetto	lento	molto lento
3	Disponibilità elementi nutritivi	Disponibilità nell'orizzonte profondo	pH	6,6-6,8	6,3-7	6-7,3	qualsiasi
4	Ritenzione di elementi nutritivi	Sostanza organica orizzonte di superficie	%	>1 (>0,4)	>0,5 (qualsiasi)	qualsiasi	
		Capacità di scambio cationico orizzonte profondo	Meq 100 g ⁻¹	>20	12-20	12-20	
		Saturazione in basi orizzonte profondo	%	>50	>35	qualsiasi	
5	Condizioni di radicamento	Profondità del suolo	cm	>60	60-40	40-25	<25
6	Condizioni di germinazione e di emergenza	Temperatura media durante la fase di germinazione	°C	10-20	6-25	2-37	qualsiasi
7	Condizioni di maturazione	Temperatura media durante la fioritura	°C	12-26	10-32	8-36	qualsiasi
		Temperatura media durante la maturazione	°C	14-30	12-36	10-42	qualsiasi
		Precipitazioni durante la fioritura	mm	30-120	>15	>10	qualsiasi
		Precipitazioni durante la maturazione	mm	30-120	10-150	qualsiasi	qualsiasi
8	Rischio di inondazioni	Frequenza	%	assente o lieve <5	lieve o moderato 6-20	alto >20	molto alto >5 volte/anno
9	Rischi climatici	Frequenza gelate primaverili	classe di frequenza	assenti	rare	frequenti	molto frequenti

Qualità delle terre		Fattore	Unità di misura	Molto adatto S1	Moderatamente adatto S2	Marginalmente adatto S3	Non adatto N
		Frequenza dello scirocco (stretta di caldo)	classe di frequenza	assenti	rare	frequenti	molto frequenti
10	Eccesso di salinità	Salinità (conducibilità elettrica)	mmhos cm ⁻¹	<8	<12	<16	qualsiasi
		Sodicità (ESP)	%	<25	<35	<45	qualsiasi
11	Tossicità nel suolo	Carbonato di calcio profilo	%	<30	<40	<60	qualsiasi
12	Lavorabilità	Tessitura/ struttura	seq. di Sys	da C-60,v a L	da C+60,v a SCL	da C+60, v a LfS	da Cm a Cs
13	Meccanizzabilità	Pendenza	%	<8	<16	<30	qualsiasi
		Rocciosità	%	<2	<10	<10	qualsiasi
		Pietrosità	%	<1	<5	<15	qualsiasi
14	Rischio di erosione	Erosione idrica		nessuno	basso	moderato	elevato
		Erosione eolica		nessuno	basso	moderato	elevato

I risultati della valutazione sono successivamente stati utilizzati in modo operativo dai servizi di assistenza tecnica per identificare le aziende dove effettuare la moltiplicazione delle sementi per la produzione del seme. Inoltre, l'analisi dei fattori limitanti è servita a definire meglio l'ideotipo di grano duro per le diverse zone, per impostare i programmi di miglioramento varietale specifici per le diverse macro-zone geografiche.

9.2.2. Valutazione delle terre per lo sviluppo urbano (Bolivia, 1999)

Una delle preoccupazioni principali per la pianificazione dell'uso delle risorse bio-fisiche è la localizzazione di siti adatti a specifici tipi di uso del suolo. Questo esempio è relativo allo sviluppo urbano della città di Cochabamba in Bolivia, una città in rapida e disordinata espansione urbana. La selezione del sito è basata su un insieme di criteri. Le varie caratteristiche di ciascun sito, per esempio distanza dal centro urbano, pendenza, costi di sviluppo, rischi ambientali, influenzano l'adattabilità per lo sviluppo urbano. Inoltre, il sito potrebbe essere molto adatto per altre utilizzazioni, in competizione con lo sviluppo urbano, per esempio l'uso agricolo.

Il metodo prevede l'assegnazione di una serie di pesi ai differenti criteri per valutare la potenzialità generale per lo sviluppo urbano. È bene ricordare che ciascuna valutazione implica un grado di soggettività, pertanto i risultati

dovrebbero essere considerati solo come un supporto per la presa delle decisioni.

I dati sono stati elaborati in una serie di strati in formato raster, opportunamente incrociati, attraverso un'analisi di tipo *Multi Criteria*, utilizzando l'apposito modulo del software *IDRISI* (Eastman, 1997). Sono stati considerati due diversi tipi di criteri di valutazione: fattori e limiti (*constraints*). I fattori, generalmente noti come variabili di decisione o variabili strutturali, sono variabili continue (per esempio, distanza dalla strada, pendenza, ecc.), mentre i limiti hanno una natura booleana, servono ad escludere una certa area dalla valutazione. Sono stati considerati i seguenti fattori:

- distanza dalle strade principali;
- distanza dal *Central Business District* (in pratica, il centro amministrativo della città);
- pendenza;
- rischio di frane e movimenti di massa (sulla base di pendenza, copertura del suolo, struttura geologica, argilla negli orizzonti superficiali del suolo);
- aree naturali sensibili.

I fattori devono avere lo stesso sistema di scalatura. Il metodo più semplice è quello di effettuare una scalatura di tipo lineare. In questo caso il loro valore è stato scalato tra 0 e 255, attraverso una funzione lineare di tipo *fuzzy*. Una volta normalizzati, i valori sono stati pesati, in relazione al loro grado di importanza per lo sviluppo urbano. Per quanto riguarda i limiti sono stati considerati:

- rischio di inondazioni (in base a fattori climatologici, topografici e idrologici);
- distanza da fonti puntuali di inquinamento (aeroporto, raffineria, impianto di trattamento di acque reflue).

I fattori e i limiti sono stati combinati nell'analisi multicriteriale, per ottenere una carta finale in termini di attitudine allo sviluppo urbano. È stato utilizzato un metodo di *Weighted Linear Combination* (WLC). Il metodo comincia attraverso la moltiplicazione di ciascun fattore per il suo *factor/tradeoff weight*² e poi sommando i risultati (figura 9.2); i limiti (*constraints*) sono applicati attraverso successive moltiplicazioni di *zero out*, per escludere le aree non adatte.

² Il *factor/tradeoff* rappresenta il grado in cui un fattore può essere compensato da un altro; il modo in cui avviene la compensazione dipende da una serie di pesi (*tradeoffs weights*).

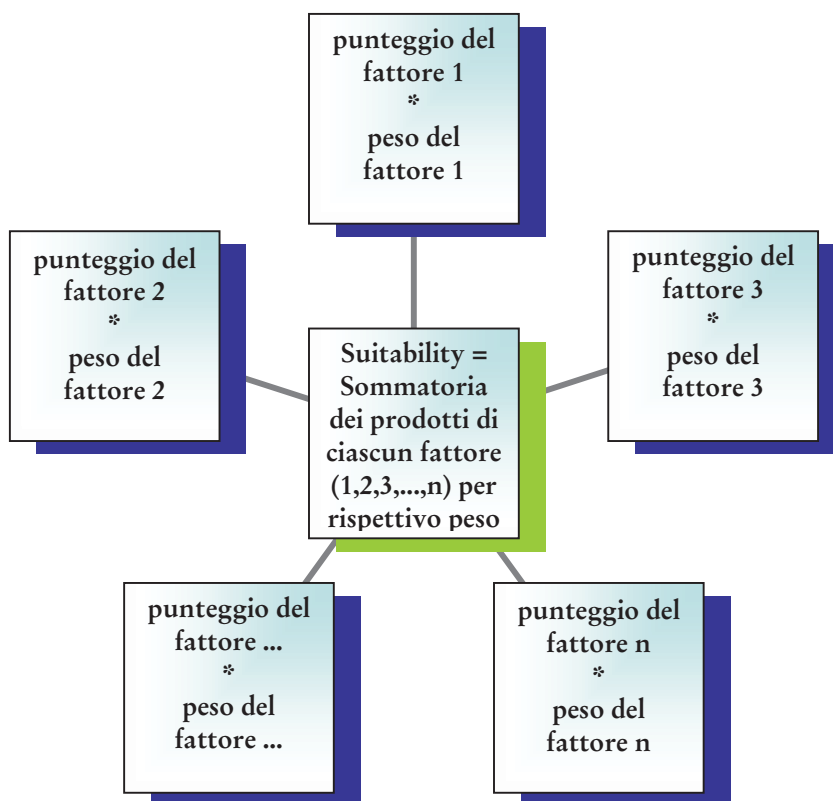


Figura 9.2. *Weighted Linear Combination* (WLC) - Moltiplicazione dei punteggi di ciascun fattore per il rispettivo peso e loro sommatoria.

Successivamente, sono stati applicati i pesi a ciascun fattore in base ad una scala gerarchica di importanza dei diversi fattori. Normalmente, l'attribuzione dei pesi dovrebbe essere fatta in base a priorità stabilite dalle collettività o dalle amministrazioni che le rappresentano. Nel caso in questione gli autori hanno deciso di attribuire maggior peso ai fattori di rischio ambientale (figura 9.3).

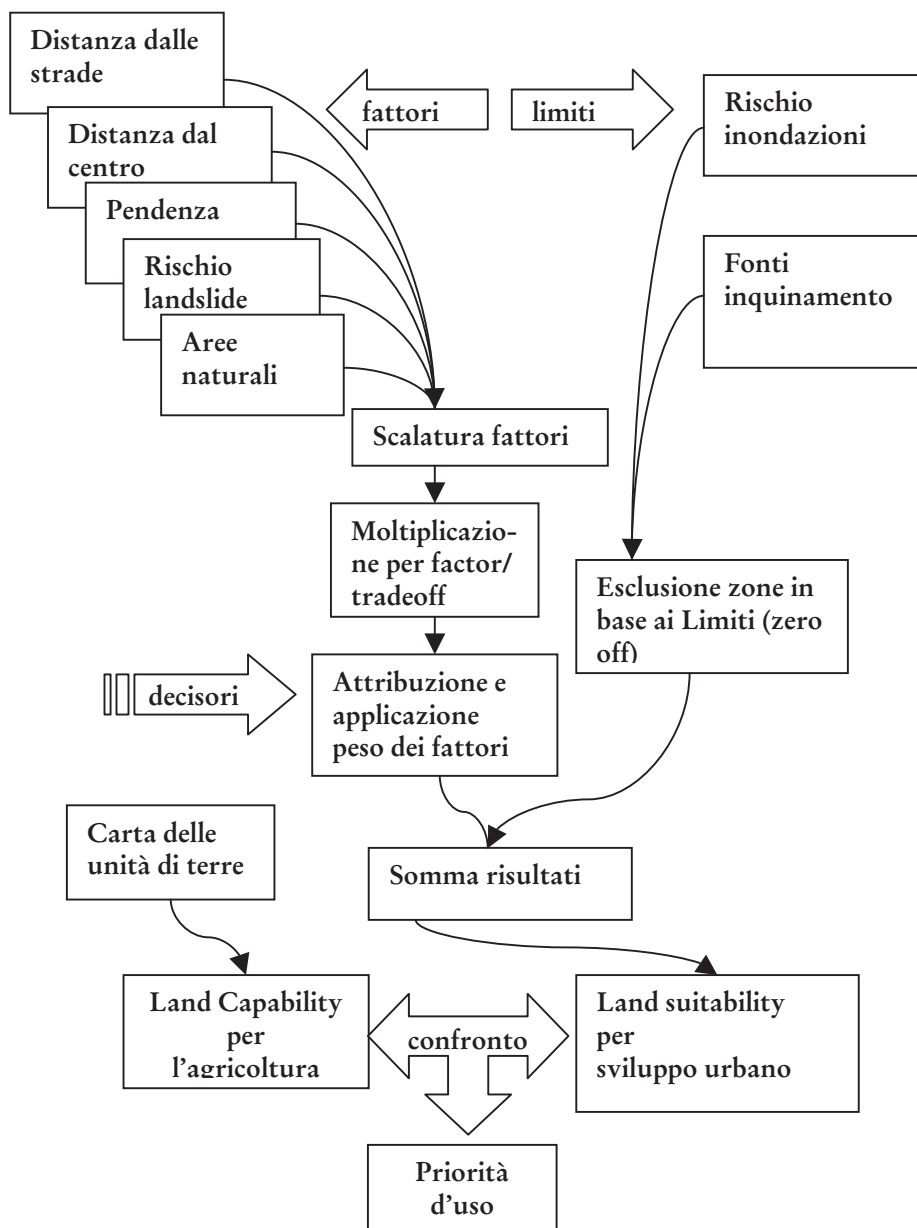


Figura 9.3. Diagramma di flusso per l'elaborazione della land suitability per lo sviluppo urbano (valle di Cochabamba, Bolivia, 1999).

Nella fase finale è stata prodotta una carta di **attitudine** per lo sviluppo urbano con la classificazione illustrata in tabella 9.4.

Tabella 9.4. Sistema di classificazione per la carta di attitudine allo sviluppo urbano.

ATTITUDINE
Adatto
Moderatamente adatto
Marginalmente adatto
Non adatto
Escluso
Area industriale
Area soggetta a inondazioni
Corpi d'acqua

Per illustrare il conflitto tra diversi usi potenziali è stato, infine, effettuato un confronto tra la valutazione per lo sviluppo urbano e la classificazione di capacità d'uso, che evidenzia le aree più adatte per l'uso agricolo. Il prodotto finale è una carta delle "priorità d'uso", che mostra le aree prioritarie per l'agricoltura, quelle prioritarie per lo sviluppo urbano, quelle già urbanizzate, i corpi d'acqua e le aree non prioritarie per ciascuno dei due usi presi in considerazione.

9.2.3. *Land evaluation per la conservazione della natura (Tunisia, 2004)*

Questa applicazione è stata sviluppata in un'area di studio (Oued Rmel) in cui erano presenti alcune zone di elevato interesse naturalistico quali ad esempio, il Djebel Zaghouan, una zona con formazioni forestali di *Tetraclinis articulata*, una pianta nella *red list* IUCN delle specie a rischio di estinzione, e alcune zone umide, importanti perché localizzate lungo le rotte migratorie tra Africa e Europa. Sono stati elaborati diversi *layers* in un sistema informativo geografico (figura 9.4):

- composizione della vegetazione (da un punto di vista floristico e fisionomico-strutturale);
- stato della vegetazione (ricchezza di specie, pressione del pascolo, grado di copertura della vegetazione);
- *vegetation commonness* (calcolata in base alla frequenza di ciascun tipo di vegetazione nell'insieme delle unità di terre);
- aree naturali (risultante da una combinazione delle tre precedenti);
- conservazione della biodiversità (presenza di specie rare, valore delle specie presenti, numero totale di specie, indice di diversità, indice di equitabilità, grado di disturbo e/o degradazione);

- aree ecoturistiche (11 aree scelte in base a fattori come accessibilità, infrastrutture per la ristorazione, possibilità di attività sportive, *birdwatching*, *trekking* su percorsi naturali, e anche una valutazione soggettiva con testimoni privilegiati).

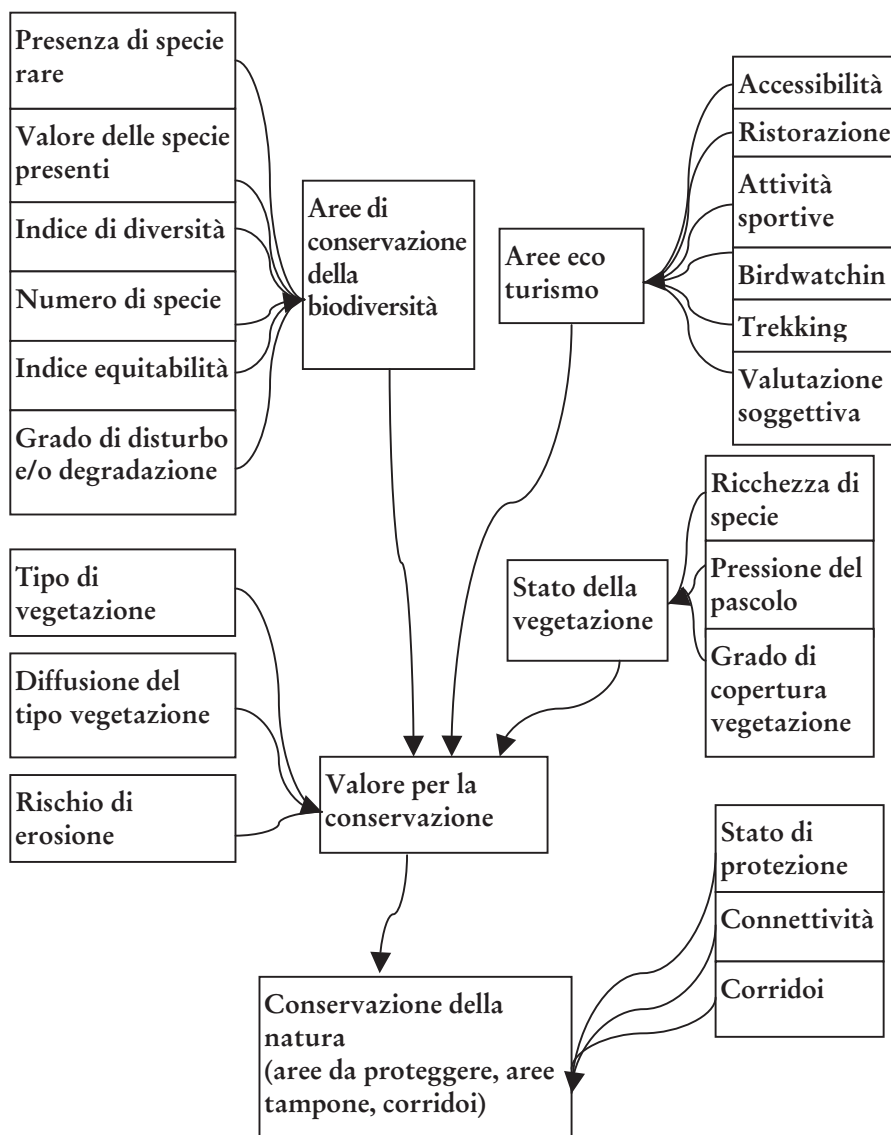


Figura 9.4 Elementi per l'elaborazione della carta della conservazione della natura (Tunisia, 2004).

Le carte della Conservazione della biodiversità, della *Vegetation commonness*, dello Stato di degradazione e delle aree Ecoturistiche sono state combinate con una carta del rischio di erosione per produrre una carta di sintesi chiamata del “Valore per la conservazione”, secondo le seguenti classi: molto elevato, elevato, medio, scarso, basso. Quest’ultima è stata utilizzata per produrre una carta della Conservazione della natura, congiuntamente ad altri elementi quali lo stato di protezione/gestione della natura, la connettività tra le unità, l’attitudine delle unità come corridoi per la fauna selvatica. In questo modo sono state identificate 4 aree adatte per la conservazione della natura, due delle quali aventi carattere prioritario. Inoltre, sono state anche identificate le aree tampone, circostanti le aree di conservazione, e le aree importanti come corridoi per i selvatici. Come nel caso precedente, l’analisi è poi proseguita combinando questi risultati con la valutazione da un punto di vista agricolo, per scopi di pianificazione territoriale più generale.

Bibliografia

- EASTMAN, J.R., 1997. *Idrisi for Windows - User's Guide - Version 2.0*. Clarks Labs, Clark University, Worcester, Ma (USA), 10.9 – 10.22.
- FAO, 1976. *A framework for land evaluation*. FAO Soils Bulletin, 32, Roma.
- IAO, 1999. *Land resources and land evaluation of the central valley of Cochabamba (Bolivia)*. 19th Course professional master "Remote Sensing and Natural Resources Evaluation".
- IAO, 2004. *Land evaluation in the Oued Rmel catchment (Tunisia)*. 24th Course professional master "Geomatics and Natural Resources Evaluation".
- ONGARO, L., 1998. *Land Unit Mapping for Land Evaluation*. Relazioni e monografie Agrarie Tropicali e Subtropicali, Nuova Serie, n. 115, IAO, Firenze.
- SARFATTI, P., 1995. *Rapport sur les ressources naturelles et evaluation des terres. (Volumes 1, 2, 3 et 4 avec cartes)*. Projet de recherche appliquee: blé dur et lentille dans la region de Tiaret (Algerie), IAO, Florence.
- SYS, C., 1985. *Land evaluation*. State University of Ghent (Belgium), International Training Centre for post-graduate soil scientists.
- ZONNEVELD, I.S., 1972. *Land Evaluation and Land(scape) Science*. ITC Textbook of Photointerpretation, Vol. VII, ITC, Enschede.
- ZONNEVELD, I.S., 1979. *Land Evaluation and Landscape Science*. In Use of Aerial Photographs in Geography and Geomorphology, ITC textbook of photointerpretation, 27, Enschede, The Netherlands.

Ministero delle Politiche Agricole, Alimentari e Forestali
Osservatorio Nazionale Pedologico e per la Qualità del Suolo Agricolo e Forestale

In collaborazione con:
International Union of Soil Sciences
Società Italiana della Scienza del Suolo
Commissione VI - Uso e Conservazione del Suolo

CHISCI, G., VENUTI, L., 2006. *Fumento tenero*. In: Costantini, E.A.C. (Ed.), *Metodi di valutazione dei suoli e delle terre*, Cantagalli, Siena, pp. 922.

Collana dei metodi analitici per l'agricoltura diretta da Paolo Sequi, vol. 7

CRA - Consiglio per la Ricerca e la Sperimentazione in Agricoltura
Istituto Sperimentale per lo Studio e la Difesa del Suolo, Firenze

10. Frumento tenero

Giancarlo Chisci¹, Letizia Venuti²

10.1. Caratteristiche della coltura	2
10.2. Tecnica colturale	2
10.2.1. Avvicendamento	2
10.2.2. Operazioni colturali	3
10.3. Requisiti colturali	7
10.3.1. Clima	7
10.3.2. Suolo	8
10.3.3. Elementi nutritivi	8
10.3.4. Esigenze idriche	8
10.4. Attitudine delle terre alla coltivazione del frumento	9
10.5. Caratteri funzionali dei suoli e tabelle di valutazione	10
Bibliografia	11

10.1. Caratteristiche della coltura

Il frumento (*Triticum aestivum*, L.), originario del Medio Oriente, è oggi diffuso in molte regioni del mondo con condizioni ambientali assai differenti, grazie alle caratteristiche di adattabilità della specie e all'impiego di diverse varietà.

10.2. Tecnica colturale

10.2.1. Avvicendamento

Gli scopi principali della rotazione nella coltivazione del frumento sono essenzialmente l'arricchimento d'azoto nel terreno, il controllo delle malerbe e

¹ Università degli Studi di Firenze

² CNR-IRPI - Istituto Ricerca Protezione Idrogeologica, Unità di Firenze - Pedologia Applicata

dei principali patogeni e l'accumulo di riserve idriche nel terreno. La pratica del ringrano è, infatti, causa di notevoli riduzioni della produzione, nonché di violenti attacchi parassitari. La posizione ottimale ordinaria nell'avvicendamento è dopo le colture da rinnovo (mais, patata, girasole, bietola, canapa, ecc.), che lasciano il terreno ripulito dalle infestanti ed in buone condizioni chimico-fisiche, a causa delle lavorazioni profonde e delle concimazioni cui sono sottoposte le colture da rinnovo. Le colture foraggere sono ugualmente buone precessioni colturali per il frumento, anche se la fertilità che lasciano è meglio sfruttata dalle piante da rinnovo. Nelle aree aride (300-400 mm anno⁻¹ di pioggia) è molto utile la successione frumento-maggese, dal momento che quest'ultimo consente di ricostituire un'adeguata riserva idrica nel terreno, nonché di sostanza organica (Baldoni e Giardini, 1981). Il maggese può essere nudo oppure destinato al pascolo. In tali aree, nella rotazione sono inserite anche le leguminose da granella, che lasciano nel terreno un buon livello d'azoto: si coltiva di solito la fava negli ambienti più umidi e la lenticchia in quelli più aridi. Laddove la piovosità è leggermente superiore (>400 mm anno⁻¹) le leguminose da granella hanno sostituito il maggese all'interno dell'avvicendamento.

10.2.2. Operazioni colturali

Preparazione del terreno

Un'accurata preparazione del terreno è condizione indispensabile per conseguire rese elevate da una coltura di frumento per due fondamentali motivi: per la possibilità di eseguire una semina di precisione su un buon letto di semina, in grado di consentire un investimento ottimale di piante a metro quadro; per ottenere un controllo ottimale dello sviluppo delle infestanti.

La miglior preparazione del terreno si ottiene non solo con adatte lavorazioni, ma anche prevedendo un'idonea sistemazione del suolo in grado di evitare in pianura ristagni d'acqua sommamente nocivi alle piante di frumento, ed in collina fenomeni d'erosione idrica superficiale e profonda.

Nei terreni in piano deve essere previsto un efficiente sistema d'emungimento delle acque (scoline, drenaggio). Nel caso di terreni poco permeabili, il sistema di scoline deve essere completato da una adeguata baulatura del terreno.

Le lavorazioni del terreno sono diverse per tipo, epoca e profondità, coltura che precede il frumento, epoca di raccolta della medesima e condizioni climatiche e pedologiche al momento della lavorazione.

La lavorazione tradizionale principale è l'aratura, per la quale, però, in condizioni climatiche sfavorevoli per eccessi di umidità del terreno, frequenti quando il frumento segue una coltura che termina a fine estate, può dar luogo ad un lavoro di scarsa qualità. La possibilità di trovare più o meno facilmente

condizioni di tempera del terreno, idonee all'esecuzione della lavorazione principale, dipende dalla natura del terreno; si verifica più facilmente nei terreni sciolti e permeabili e meno facilmente nei terreni argillosi pesanti. In condizioni sfavorevoli d'umidità è preferibile l'impiego di strumenti discissori anziché dell'aratro; questi si dimostrano di notevole ausilio quando è breve il tempo disponibile per la preparazione del terreno alla semina, ma generalmente richiedono maggiori accorgimenti per il controllo delle infestanti.

Per il frumento non sembrano necessarie lavorazioni profonde, specialmente quando è preceduto da una coltura da rinnovo. Quando invece segue un prato risulta necessario un buon interrimento del cotico erboso.

Nel caso dei terreni argillosi, la raccolta della coltura che precede il frumento deve essere anticipata il più possibile in estate, in modo da poter procedere all'aratura in condizioni di così detta tempera asciutta. Ciò consente di stemperare le grosse zolle che si formano, sottoponendole all'azione del sole e delle variazioni di temperatura ed umidità tra il giorno e la notte. Lavorare presto, tra l'altro, facilita la nascita delle erbe infestanti alle prime piogge estivo-autunnali, malerbe che poi potranno essere eliminate con i lavori complementari d'affinamento del terreno per la preparazione del letto di semina.

Alla lavorazione principale seguono le lavorazioni complementari, per le quali s'impiegano diversi tipi d'attrezzi (estirpatori, frangizolle, frese, erpici a dischi, erpici a denti, ecc.) in funzione delle caratteristiche del terreno. Queste sono necessarie per la preparazione di un letto di semina ben amminutato e livellato, in cui il seme possa trovare le migliori condizioni di germinazione.

Anche per il frumento è stata sperimentata la possibilità di eseguire la semina su un terreno non lavorato (semina su sodo o *sod seeding*), usando particolari seminatrici e distruggendo le erbe infestanti con trattamenti diserbanti. Più soddisfacente sembra la tecnica di semina su lavorazione minima (*minimum tillage*), sistema che potrebbe essere particolarmente utile per seminare in terreni difficili, dopo la raccolta di colture a fine estate-autunno in condizioni di piogge frequenti.

Semina

Il seme da impiegare deve essere sano e opportunamente "conciato" con prodotti anticrittogamici. Inoltre, deve essere dotato d'elevata purezza e germinabilità. La semina, nei nostri ambienti, è generalmente autunnale, più precoce al nord e più tardiva al sud. Anticipare le semine è egualmente importante con l'aumentare dell'altitudine. Nei Paesi più freddi la semina primaverile prevale su quella autunnale o la sostituisce completamente.

La quantità di seme da impiegare per unità di superficie dipende dalla densità di piante che s'intende ottenere, dal peso medio delle cariossidi e dai fattori da cui dipende la germinabilità in campo. Elevate densità di piante favoriscono alte rese in condizioni di buona fertilità del terreno e sufficiente

disponibilità idrica, mentre in ambienti aridi si possono determinare condizioni di carenza idrica, soprattutto nella fase di riempimento delle cariossidi. Inoltre, l'eccessiva densità di piante può determinare una minore resistenza dei culmi all'allettamento. La densità ottimale di spighe, in buone condizioni climatiche e pedologiche, è di circa 550-600 piante a metro quadrato e viene ottenuta con una densità di semina di 400-500 cariossidi a metro quadrato. La quantità di seme per raggiungere lo scopo varia da 160 kg ha⁻¹ nelle regioni meridionali a 180 kg ha⁻¹ nelle regioni settentrionali, in buone condizioni di semina. Si possono raggiungere anche 230-250 kg ha⁻¹ in condizioni di semina difficili e nelle semine tardive.

Oggi la semina viene quasi generalmente eseguita a file con l'impiego di seminatrici da grano. Essa può essere attuata a file semplici (15-20 cm tra le file) o a file binate (distanza tra le file 12-15 cm e tra le bine 25-30 cm). Il seme viene interrato a 3-4 cm di profondità. La semina viene completata con una leggera rullatura nei terreni soffici e asciutti, per fare aderire meglio le cariossidi al terreno e favorire l'assorbimento di acqua necessaria per la germinazione.

Concimazione

Le asportazioni totali di una coltura di frumento dipendono da molti fattori climatici e pedologici e dalla resa della coltura. Si hanno asportazioni pari a 48 kg ha⁻¹ di azoto, 16 kg ha⁻¹ di fosforo e 29 kg ha⁻¹ di potassio per produzioni di 2,7 t ha⁻¹ di granella; 132 kg ha⁻¹ di azoto, kg ha⁻¹ di fosforo e 83 kg ha⁻¹ di potassio per produzioni di 6,0 t ha⁻¹ di granella.

In linea di principio, la coltura di frumento dovrebbe preferibilmente trovare il fosforo ed il potassio, ed anche una certa quantità d'azoto a lento effetto, inglobati nella "forza vecchia" del terreno ed in particolare il fosforo ed il potassio, somministrati alle colture foraggere o alle colture da rinnovo che precedono il grano nella rotazione, mentre l'azoto a rilascio graduale nel corso della coltura dovrebbe provenire o dai residui organici della coltura di foraggere leguminose della rotazione, o dalla concimazione organica attuata in precedenza alle colture da rinnovo. Una concimazione fosfatica e talora potassica all'impianto del frumento è necessaria in caso di ringrano, specialmente se ripetuto, e viene calibrata tenuto conto del tenore di fosforo assimilabile e di potassio scambiabile nel terreno.

Per quanto concerne la concimazione azotata, questa è determinante per le alte rese. Il maggior fabbisogno d'azoto si ha durante la fase della levata. Il massimo contenuto nel culmo e nelle foglie si riscontra alla fioritura. La concimazione azotata varia da caso a caso in funzione di molti fattori: varietà coltivata, quantità d'azoto presente nel terreno, quota d'azoto utilizzabile in relazione all'intensità di mineralizzazione della sostanza organica, condizioni climatiche che influenzano l'attività microbica del terreno, perdita d'azoto per dilavamento, disponibilità di acqua nel terreno alla levata e alla maturazione delle cariossidi.

Le dosi totali d'azoto generalmente impiegate sono, nell'Italia settentrionale, 150-180 kg ha⁻¹, ma si può arrivare, per varietà di taglia bassa resistenti all'allettamento, fino a 200-250 kg ha⁻¹. Nell'ambiente caldo arido del Mezzogiorno non si superano invece i 100-120 kg ha⁻¹ e spesso conviene rimanere sotto i 70-100 kg ha⁻¹. Per quanto concerne la distribuzione, fondamentale è la somministrazione alla ripresa vegetativa (5^a-6^a foglia), vale a dire prima del momento critico del "viraggio" (inizio levata). Un secondo momento critico si verifica all'inizio della fase di botticella per sopperire alle necessità di azoto atte a favorire il contenuto proteico della cariosside. Altri due momenti di distribuzione possono essere da caso a caso presi in considerazione: la distribuzione di una quantità pari a 20-30 kg ha⁻¹ all'impianto della coltura, sotto forma di concime azotato di lento effetto, nel caso di un basso livello di sostanza organica nel terreno oppure quando si proceda ad un ringrano; quando nel corso dell'inverno, per eccesso d'umidità o freddo, si verificano estesi ingiallimenti delle piantine può essere importante eseguire una distribuzione di nitrati in ragione di circa 20 kg ha⁻¹ di azoto.

Lotta alle infestanti

Data la semina del frumento a righe ravvicinate, la lotta alle infestanti era in passato necessariamente attuata mediante scerbatura manuale, oggi improponibile dato l'elevato costo della manodopera. Attualmente, il controllo delle malerbe nei seminativi di frumento si può fare in maniera efficace ed affidabile solo con il diserbo chimico, che tuttavia presenta rischi in relazione ai problemi d'inquinamento, soprattutto quando l'impiego dei diserbanti non venga fatto con i dovuti accorgimenti. Ciò non significa che si debbano trascurare tutti i mezzi indiretti atti a ridurre la gravità delle infestazioni, come la rotazione colturale, le lavorazioni appropriate, la tecnica della falsa semina, l'impiego di sementi di qualità aventi un altro grado di purezza. Il diserbo può attuarsi in pre-semina, eseguito generalmente quando si semina sul sodo con diserbanti dissecanti ad azione totale; in pre-emergenza, trattamento eseguito quando il rischio di infestazione è elevato, sia da parte di monocotiledoni che di dicotiledoni, con prodotti aventi una azione radicale e antigerminello ad ampio spettro; o in post-emergenza, intervento più pratico e razionale perché attuato quando si conoscono le infestanti da combattere e si può valutare se il livello di infestazione giustifica la spesa del diserbo.

Ogni tipo d'intervento agronomico atto a ridurre l'impiego dei diserbanti chimici è oggi altamente raccomandabile, come l'attuazione di un diserbo meccanico anche parziale che può essere consentito da una semina a file binate.

Irrigazione

Data la stagione in cui si svolge il ciclo colturale, il frumento non necessita di interventi irrigui. Tuttavia, nelle annate caratterizzate da forte carenza di

precipitazioni nel periodo di formazione della spiga e di riempimento delle cariossidi, ove siano disponibili impianti irrigui può essere opportuno intervenire con qualche irrigazione di soccorso, specialmente negli ambienti meridionali, dove la carenza di piogge a fine inverno-inizio primavera può favorire il fenomeno della stretta.

Raccolta e conservazione

La raccolta del frumento, da eseguire dopo la maturazione fisiologica, consiste di due operazioni fondamentali: taglio delle piante (mietitura) e separazione della granella dalla paglia e dalla pula (trebbiatura). Oggi, queste operazioni vengono eseguite contemporaneamente con la mietitrebbiatura, da attuare solo a maturazione piena, quando la granella ha non più del 13% di acqua, 2-3 settimane dopo la maturazione fisiologica.

L'umidità mercantile standard è del 14,5%, però la granella può essere immagazzinata senza problemi con un'umidità non superiore al 13%.

10.3. Requisiti culturali

10.3.1. Clima

Pur essendosi adattato alle più diverse condizioni ambientali, il frumento ha rese più elevate nelle regioni temperate, venendo impiegate varietà primaverili nelle aree più fredde e varietà autunnali in quelle caldo aride e temperato calde. Non si adatta bene, invece, ai climi caldo umidi, a causa dell'alta suscettibilità agli attacchi parassitari. Nell'ambiente mediterraneo, il frumento è soggetto a soffrire carenze idriche proprio nel momento in cui il fabbisogno è più elevato, ossia durante l'ingrossamento della cariosside. Il frumento duro, rispetto a quello tenero, è meno tollerante alle basse temperature e più resistente alla siccità. Esistono varietà neutrodiurne, in climi con inverni miti, e varietà longidiurne, a latitudini maggiori.

Il frumento ha buona resistenza alle basse temperature, soprattutto nel periodo che va dall'emissione delle prime foglie all'inizio della levata (le varietà più resistenti arrivano a tollerare fino a -20°C). Dal punto di vista delle esigenze idriche, il frumento ha 4 momenti critici:

- emergenza;
- inizio levata;
- fine spigatura-fioritura;
- fase di riempimento della cariosside.

Il frumento è una coltura asciutta nelle regioni temperate, mentre negli ambienti aridi e sub-aridi l'irrigazione è molto utile. Il consumo medio d'acqua può andare da 450 a 650 mm (Baldoni e Giardini, 1981). Piogge eccessive o

troppo frequenti sono dannose durante la crescita, perché provocano l'allettamento, e durante la raccolta (tabella 10.1).

Tabella 10.1. Requisiti climatici del frumento.

	Ottimale	Sub-ottimale	Marginale	Non adatto
Temperatura media durante il ciclo vegetativo (°C)	12-23	10-12, 23-25	8-10, 25-30	<8, >30
Precipitazione media annua (mm)	350-1250	250-350, 1250-1500	200-250, 1500-1750	<200, >1750

10.3.2. Suolo

Il frumento non è particolarmente esigente in termini di caratteristiche del suolo, a patto che abbia a disposizione un'adeguata quantità di nutrienti e di acqua, anche se il ristagno idrico è dannoso per la pianta. Si adatta a diversi valori di pH, anche se trova l'ambiente ottimale intorno alla neutralità (6,5-7,8); tollera bene terreni alcalini ed è mediamente tollerante alla salinità. In particolare, il frumento duro è meno resistente alla salinità rispetto alle attuali varietà resistenti di frumento tenero. In Italia i terreni migliori sono quelli argillosi ben drenati.

10.3.3. Elementi nutritivi

Il frumento, per la natura del suo apparato radicale (radici embrionali nelle prime fasi di vita ed avventizie all'accestimento), necessita di principi nutritivi facilmente e prontamente assimilabili. Il fabbisogno di nutrienti varia in funzione della varietà e dei livelli produttivi. Sebbene in passato come concimazione del frumento veniva considerata solo quella azotata, anche il fosforo e il potassio sono essenziali per un adeguato livello produttivo della pianta ed un normale accestimento. La disponibilità di fosforo, inoltre, favorisce lo sviluppo radicale, consentendo quindi alla pianta di resistere meglio alla siccità, soprattutto negli ambienti mediterranei.

10.3.4. Esigenze idriche

Il frumento, per la sua tipicità di coltura a ciclo invernale, non necessita di interventi irrigui; tuttavia, nelle annate caratterizzate da forte carenza di precipitazioni, in caso di disponibilità aziendale di impianti irrigui, è

opportuno fare qualche intervento irriguo di soccorso. Lo stadio più critico per le esigenze idriche è quello di botticella.

10.4. Attitudine delle terre alla coltivazione del frumento

Il frumento tenero si adatta soprattutto ai terreni ben dotati di fertilità (forza vecchia), da medio impasto ad argillosi, mentre dà produzioni scadenti in suoli sabbiosi, poveri o a reazione acida. Le varietà a semina invernale coltivate in Italia sopportano bene i freddi invernali e richiedono, a partire dalla levata, temperature crescenti. In fase di maturazione il frumento si avvantaggia di un clima caldo e poco piovoso, anche se gli eccessi di temperatura, accompagnati da vento caldo, possono determinare la formazione di granella striminzita (“stretta”) e scarse rese. È una pianta con medie esigenze idriche, concentrate soprattutto nel periodo tra la levata e le prime fasi di maturazione; teme fortemente, specie nei periodi freddi, il ristagno d’acqua nel terreno a seguito del quale si verificano uno sviluppo stentato per asfissia radicale e attacchi parassitari; teme, inoltre, i forti venti ed i temporali primaverili, in quanto causa di allettamento. In tabella 10.2 sono riportati i requisiti del frumento.

Tabella 10.2. Requisiti per la coltivazione del frumento.

REQUISITI	CONDIZIONI
<i>Climatici</i>	
Temperatura dell’aria	medio-alta
Umidità dell’aria	bassa
<i>Colturali</i>	
Tessitura	da fine a media
Disponibilità di ossigeno	alta
Disponibilità idrica	media
Profondità del suolo (falda idrica, orizzonti impenetrabili dalle radici)	-
Disponibilità di nutrienti	media
Salinità del suolo	media
Reazione del suolo	da subacida a subalcalina
<i>Gestionali</i>	
Trafficabilità	media
Lavorabilità e meccanizzazione	media
<i>Per la conservazione del suolo e dell’ambiente</i>	
Rischio di erosione	basso
Rischio di inquinamento delle falde	medio basso
Rischio di degradazione per costipamento	medio basso

Le diverse varietà di frumento tenero, al di là delle comuni esigenze colturali, si differenziano per le caratteristiche produttive e per il grado di tolleranza alle avversità ambientali.

10.5. Caratteri funzionali dei suoli e tabelle di valutazione

In Italia esistono diverse esperienze di valutazione dei suoli alla coltura del frumento, realizzate in differenti regioni e con diversi approcci, principalmente negli anni '80. Ad esempio, la regione Emilia Romagna ha realizzato carte d'attitudine alla coltivazione del frumento in alcune zone della pianura (Regione Emilia Romagna, 1984; 1987); Raglione et al. (2002) hanno prodotto la carta dell'attitudine alla coltivazione del frumento sull'altipiano di Leonessa (RI), nell'Italia Centrale.

Nella tabella 10.3 è riportato un esempio di tabella di valutazione compilata in base alle indicazioni presenti in letteratura (Sys et al., 1993; Raglione et al., 2002; Magaldi, 1983).

Tabella 10.3. Attitudine dei suoli alla coltura del frumento tenero.

Caratteristiche	Ottimale	Sub-ottimale	Marginale	Non adatta
Profondità (cm)	>60	40-60	20-40	<20
Tessitura	AL, A, L, FL, FA, AS, F, FAL	FSA	FS, SF	S, A _{massivo} , AL _{massivo}
Salinità (dS m ⁻¹)	<4	4-10	10-14	>14
Gesso (%)	<6	6-10	10-20	>20
pH	6-8,2	5,6-6; 8,2-8,3	5,2-5,6; 8,3-8,5	<5,2; >8,5
Somma cationi basici (Ca, Mg, K, Na) (cmol+ kg ⁻¹ suolo)	>5	3,5-5	2-3,5	<2
Saturazione basi (%)	>50	35-50	<35	
Carbonio organico (%)	>1	0,5-1	<0,5	
Scheletro (%)	<15	15-35	35-70	>70
ESP (%)	<20	20-35	35-45	>45
Drenaggio (1)	ben drenato, moderatamente ben drenato, piuttosto mal drenato	ben drenato, moderatamente ben drenato, piuttosto mal drenato	piuttosto eccessivamente drenato, eccessivamente drenato	mal drenato, molto mal drenato
Rischio inondazioni (1)	assente	assente	lieve	moderato o alto
CaCO ₃ (%)	10-20	0.5-10, 20-40	<0.5, 40-60	>60
AWC (mm)	>125	61-125	<61	
CSC (cmol+ kg ⁻¹ suolo)	>20	10-20	5-10	<5

(1) Da: Sys et al. (1993), modificato in accordo alle classi riportate in appendice al presente manuale.

Bibliografia

- BALDONI, R., GIARDINI, L., (ED.), 1981. *Coltivazioni erbacee*. Patron editore, Bologna, 15 -89.
- MAGALDI, D., 1983. *Rilevamento del suolo e classificazione del territorio per usi agricoli e non agricoli*. Sviluppo Agricolo n.8-9 (agosto-settembre).
- RAGLIONE, M., LORENZONI, P., ANGELINI, R., BONIFAZI, A., FEBELLI, C., SPADONI, M., VENUTI, L., VERZILLI, C., 2002. *Carta dei suoli dell'altopiano di Leonessa (Rieti) e delle loro idoneità per alcune colture tipiche*. Edizioni Arti Grafiche Nobili Sud, Rieti, 279.
- REGIONE EMILIA ROMAGNA, 1984. *Cartografia tematica per la valutazione del territorio del Comprensorio Bassa Pianura Modenese*. Pivetti, Mirandola, 123.

REGIONE EMILIA ROMAGNA, 1987. *I suoli della Bassa Pianura Ravennate*. Gamma, Bologna, 83.
SYS, C., VAN RANST, E., DEBAVEYE, I.R.J, BEERNAERT, F., 1993. *Land evaluation, part III. Crop requirements*. Agriculture publications n.7, General Administration for Development Cooperation, Brussels, Belgium, 166.

Ministero delle Politiche Agricole, Alimentari e Forestali
Osservatorio Nazionale Pedologico e per la Qualità del Suolo Agricolo e Forestale

In collaborazione con:
International Union of Soil Sciences
Società Italiana della Scienza del Suolo
Commissione VI - Uso e Conservazione del Suolo

CHISCI, G., VENUTI, L., 2006. *Frumento duro*. In: Costantini, E.A.C. (Ed.), *Metodi di valutazione dei suoli e delle terre*, Cantagalli, Siena, pp. 922.

Collana dei metodi analitici per l'agricoltura diretta da Paolo Sequi, vol. 7

CRA - Consiglio per la Ricerca e la Sperimentazione in Agricoltura
Istituto Sperimentale per lo Studio e la Difesa del Suolo, Firenze

11. Frumento duro

Giancarlo Chisci¹, Letizia Venuti²

11.1. Caratteristiche della coltura	2
11.2. Tecnica colturale.....	3
11.2.1. Avvicendamento.....	3
11.2.2. Operazioni colturali.....	3
11.3. Requisiti colturali.....	5
11.3.1. Clima.....	5
11.3.2. Suolo	6
11.3.3. Elementi nutritivi.....	6
11.3.4. Esigenze idriche.....	6
11.4. Attitudine delle terre alla coltivazione del frumento duro	7
11.5. Caratteri funzionali dei suoli e tabelle di valutazione.....	7
Bibliografia	8

11.1. Caratteristiche della coltura

La coltivazione del frumento duro (*Triticum durum*) è in continua espansione a seguito del costante aumento del consumo di paste alimentari.

Questa specie, il cui centro d'origine è l'Etiopia, si coltiva maggiormente nei Paesi mediterranei, nel Nord America, in Argentina e nell'Europa Orientale. In Italia, la produzione è localizzata al Centro-Sud, in particolare in Puglia e in Sicilia. Fino agli anni '60, il frumento duro era considerato un cereale per ambienti poveri e caldi; a partire dagli anni '80, però, la coltivazione si è sviluppata sia nel Centro che nel Nord Italia, prima come coltura alternativa primaverile e poi come coltura autunnale. L'espansione è stata favorita dall'introduzione di nuove varietà molto produttive e resistenti al freddo. Negli ultimi anni, quindi, l'area di coltivazione si è estesa anche alle zone più settentrionali, nelle quali però non sempre si ottengono produzioni qualitativamente valide.

¹ Università degli Studi di Firenze

² CNR-IRPI - Istituto Ricerca Protezione Idrogeologica, Unità di Firenze - Pedologia Applicata

La raccolta viene fatta a inizio giugno nell'Italia meridionale e a fine giugno nel Nord Italia.

11.2. Tecnica colturale

11.2.1. Avvicendamento

Per quanto riguarda la successione colturale, bisogna tenere conto di tre essenziali obiettivi. Il primo è l'accumulo d'azoto nel suolo, ottenibile mediante l'inserimento nell'avvicendamento di leguminose da foraggio (almeno il 50% di medica o trifoglio) per almeno due dei cinque anni della rotazione, o di leguminose da granella (fava, pisello, lenticchia, lupino, cece) durante gli ultimi tre anni della rotazione quinquennale. Il secondo obiettivo è realizzare un'interruzione nella coltivazione dei cereali per impedire la propagazione d'attacchi parassitari specifici di tali specie. Il terzo è quello di contrastare la diffusione delle infestanti durante l'assenza in campo del cereale: la diffusione delle malerbe, infatti, anche l'anno prima del raccolto, incide sul contenuto proteico della cariosside, riducendolo anche di un punto percentuale.

11.2.2 Operazioni colturali

Preparazione del terreno

Le tecniche di coltivazione del frumento duro sono simili a quelle del frumento tenero. Per quanto concerne le lavorazioni del terreno, è diffusa la consuetudine di approfondire lo strato arato ed aumentare il numero delle lavorazioni per la preparazione del letto di semina, principalmente allo scopo di aumentare e conservare le riserve idriche del terreno. In realtà, nei nostri ambienti è possibile arare più superficialmente, a 20-25 cm, com'è emerso da numerose ricerche che hanno evidenziato la possibilità di ridurre anche il numero degli interventi sino a sole due arature superficiali pre-semina. Arature più profonde vanno realizzate solo in terreni umidi, per favorire la percolazione dell'acqua.

Semina

La semina del frumento duro va fatta con un leggero anticipo rispetto a quella del frumento tenero, in modo da favorire l'accestimento e di anticipare, sia pur di poco, la fioritura e la maturazione.

In relazione alla quantità di seme, in passato il frumento duro si seminava assai meno fitto del frumento tenero, mentre oggi, soprattutto nelle zone non particolarmente aride, la tendenza è quella di impiegare dosi di seme molto maggiori rispetto al passato, comunque sempre più basse di quelle impiegate

per la semina del frumento tenero. Si considera una densità di cariossidi per m² pari a 350-400, corrispondenti a 180-200 kg ha⁻¹ di seme. Negli ambienti dove il fattore fortemente limitante è la scarsità d'acqua, si deve seminare meno fitto per non determinare una eccessiva competizione per l'acqua fra le piante (250-300 cariossidi per m²).

Concimazione

La concimazione consigliata è quella fosfo-azotata. Quella potassica, invece, si ritiene meno importante poiché quasi sempre i nostri terreni sono sufficientemente dotati di questo elemento. Per la concimazione fosfatica e potassica ci si comporta come per il frumento tenero, basandosi sulla dotazione del terreno. Per la concimazione azotata si dovrebbe seguire la tendenza a forzarla, considerando però i pericoli connessi dell'allettamento e della stretta (quest'ultima, resa particolarmente temibile dalla tardività della maturazione). Le varietà a taglia bassa resistenti all'allettamento possono essere concimate fino ad impiegare 150-200 kg ha⁻¹ d'azoto, ma in ambienti siccitosi la concimazione deve essere opportunamente ridotta. La concimazione azotata del grano duro, oltre ad aumentare la produzione di granella, diminuisce la percentuale di "bianconatura" della stessa, rendendo la granella più proteica. Particolarmente efficaci contro la bianconatura sono le azotature tardive.

Lotta alle infestanti

Il frumento duro è un po' più sensibile del tenero alla tossicità degli erbicidi, che pertanto vanno adoperati a dosi inferiori. La tecnica e i prodotti sono gli stessi che per il grano tenero.

Irrigazione

Data la stagione durante la quale si svolge il ciclo colturale, anche il frumento duro non necessita normalmente di interventi irrigui. Tuttavia, i rischi di una carenza idrica nel periodo di formazione della spiga e di riempimento delle cariossidi è molto maggiore rispetto al frumento tenero negli ambienti meridionali, dove la coltivazione del grano duro è particolarmente indicata e dove la variabilità della produzione di granella da un anno all'altro è determinata soprattutto dall'andamento delle precipitazioni. Pertanto, soprattutto per il grano duro negli ambienti meridionali, dove la carenza di piogge a fine inverno-inizio primavera può favorire il fenomeno della stretta, qualche irrigazione di soccorso potrebbe salvare la produzione in quelle aziende ove siano disponibili impianti irrigui.

Raccolta e conservazione

Le modalità di raccolta sono le stesse per il grano tenero e per il grano duro e ormai sono assai simili anche le rese, per cui la convenienza economica a coltivare l'una o l'altra specie dipende essenzialmente dal valore di mercato del prodotto nonché dalla regione di coltivazione e dall'impiego di varietà con buone caratteristiche qualitative. Il frumento duro produce una granella dalla quale si ricava la semola, materia prima per la preparazione delle paste alimentari, costituita da frammenti d'endosperma più o meno grandi, a spigolo vivo, non farinosi. La macinazione del frumento duro viene quindi fatta in modo diverso dal frumento tenero, essendo volta ad ottenere semola anziché farina.

11.3. Requisiti colturali

11.3.1 Clima

Il frumento duro si dimostra in generale discretamente resistente alla siccità. L'ambiente ottimale per la coltivazione del frumento duro è caratterizzato da piovosità concentrata nel periodo invernale e da primavera ed estati calde, senza pericoli di gelate tardive. Il frumento duro è quindi coltura assai diffusa nell'ambiente mediterraneo, dove è però anche sottoposta a condizioni climatiche variabili e spesso avverse, che comportano rischi di stress alla pianta. Le regioni mediterranee, infatti, sono caratterizzate da piovosità scarsa e irregolare, oscillante fra 200 e 800 mm annui, con distribuzione delle piogge solitamente irregolare e la casuale presenza di temperature estreme (calde o fredde), che si possono verificare in ogni stadio di crescita della coltura. Queste caratteristiche sono la principale causa di riduzione e di fluttuazione della produzione (Nachit e Elouafi., 2004).

La cariosside del frumento duro, a differenza di quello tenero, ha frattura vitrea; in ambienti non idonei alla coltivazione, con basse temperature ed elevata umidità, la cariosside può presentarsi farinosa all'interno; questo difetto è noto col nome di bianconatura.

Sono ancora diffuse, soprattutto negli ambienti più difficili, le varietà di vecchia formazione, a taglia medio alta. Tuttavia, più recentemente, sono state introdotte al Centro-Sud nuove varietà a taglia bassa, più produttive e meglio adatte alla forzatura azotata, e al Nord varietà resistenti al freddo.

Il frumento duro è maggiormente resistente alla siccità rispetto al frumento tenero e più di questo si adatta agli ambienti aridi. La relazione più evidente che si verifica fra condizioni climatiche e produzione del grano duro corrisponde al periodo dell'antesi, che rappresenta la fase più critica per quando riguarda le esigenze idriche e termiche (tabella 11.1).

Tabella 11.1. Requisiti climatici del frumento duro.

	Ottimale	Sub-ottimale	Marginale	Non adatto
Temperatura media durante il ciclo vegetativo (°C)	15-25	10-15, 25-27	8-10, 27-30	<8, >30
Precipitazione media annua (mm)	300-1250	250-300, 1250-1500	200-250, 1500-1750	<200, >1750

11.3.2 Suolo

Il frumento duro è molto produttivo se coltivato in terreni fertili. Per contro, in tali condizioni, spesso è sensibile alle crittogame (fusariosi, septoriosi, oidio, ruggini) ed è più suscettibile all'allettamento. La scelta del tipo di suolo è uno dei fattori maggiormente critici per ottenere dei risultati soddisfacenti dalla coltivazione. I suoli argillosi e franco argillosi sono in assoluto quelli più adatti, sempre che siano ben drenati, profondi e friabili. La profondità dovrebbe essere sempre non inferiore a 50 cm. Rispetto al frumento tenero, il frumento duro è decisamente meno produttivo, oltre che meno proteico, nei suoli sabbiosi. Non è tollerante nei confronti dell'acidità del suolo: il pH dovrebbe essere sempre > 6 (in CaCl_2) per consentire risultati produttivi soddisfacenti, anche se sono state verificate analoghe produzioni in suoli con pH nello strato superficiale del suolo intorno a 5,5, ma uguale o superiore a 7 nello strato inferiore del suolo.

11.3.3 Elementi nutritivi

Il frumento duro necessita di una buona dotazione di azoto e si avvantaggia quindi in particolar modo della rotazione con leguminose che lasciano una buona dotazione naturale di questo elemento nel terreno. Carenza di fosforo si può verificare dopo un lungo periodo di maggese e di siccità, a causa dell'assenza di micorrize. Il frumento duro è più sensibile rispetto al frumento tenero a carenze di zinco.

11.3.4 Esigenze idriche

Il frumento duro, per la sua tipicità di coltura a ciclo invernale, non necessita generalmente di interventi irrigui nei nostri ambienti; tuttavia, nelle annate caratterizzate da forte carenza di precipitazioni, in caso di disponibilità aziendale di impianti irrigui, è opportuno intervenire con qualche intervento irriguo di soccorso. Lo stadio più critico per le esigenze idriche è quello della botticella.

11.4. Attitudine delle terre alla coltivazione del frumento duro

Il frumento duro si dimostra in generale discretamente resistente alla siccità e molto produttivo se coltivato in terreni fertili, per contro spesso è sensibile alle crittogame (fusariosi, septoriosi, oidio, ruggini) e facile all'allettamento.

Le varietà di frumento duro, al di là delle comuni esigenze edafiche, si differenziano per le diverse caratteristiche e tolleranza alle avversità ambientali. In tabella 11.2 sono riportati i requisiti della coltura del frumento duro.

Tabella 11.2. Requisiti per la coltivazione del frumento duro.

REQUISITI	CONDIZIONI
<i>Climatici</i>	
Temperatura dell'aria	elevata
Umidità dell'aria	bassa
<i>Colturali</i>	
Tessitura	da fine a media
Disponibilità di ossigeno	alta
Disponibilità idrica	media
Profondità del suolo (falda idrica, orizzonti impenetrabili dalle radici)	media
Disponibilità di nutrienti	media
Salinità del suolo	media
Reazione del suolo	da neutra a subalcalina
<i>Gestionali</i>	
Trafficabilità	media
Lavorabilità e meccanizzazione	media
<i>Per la conservazione del suolo e dell'ambiente</i>	
Rischio di erosione	medio
Rischio di inquinamento delle falde	medio basso
Rischio di degradazione per costipamento	medio basso

11.5. Caratteri funzionali dei suoli e tabelle di valutazione

Uno studio dell'attitudine dei suoli alla coltura del frumento duro è stato realizzato sui suoli derivati da argille plioceniche in Valdera, Toscana (Lulli e Delogu, 1978; Lulli et al., 1980). In questo studio, che ha prodotto una cartografia in termini d'attitudine alla coltura del frumento duro, la produttività quantitativa e qualitativa del frumento duro è stata messa in relazione con le proprietà del suolo legate principalmente alla disponibilità

idrica e di ossigeno. Raglione et al. hanno realizzato una carta dell'attitudine al frumento duro nell'altipiano di Leonessa (Raglione et al., 2002). Nella tabella 11.3 è riportato un esempio di tabella di valutazione per il frumento duro compilata in base alle indicazioni derivanti dai citati studi in Toscana e presenti in letteratura (Baldoni e Giardini, 1981; Sys et al., 1993; Raglione et al., 2002).

Tabella 11.3. Attitudine dei suoli alla coltura del frumento duro.

Caratteristiche	Ottimale	Sub-ottimale	Marginale	Non adatta
Profondità (cm)	>60	40-60	20-40	<20
Tessitura	AL, A, L, FL, FA, AS, F, FAL	FSA	FS, SF	S, A _{massivo} , AL _{massivo}
Salinità (dS m ⁻¹)	<4	4-10	10-14	>14
Gesso (%)	<6	6-10	10-20	>20
pH	6-8,2	5,6-6; 8,2-8,3	5,2-5,6; 8,3-8,5	<5,2; >8,5
Somma cationi basici (Ca, Mg, K, Na) (cmol+ kg ⁻¹ suolo)	>5	3,5-5	2-3,5	<2
Saturazione basi (%)	>50	35-50	<35	
Carbonio organico (%)	>1	0,5-1	<0,5	
Scheletro (%)	<15	15-35	35-70	>70
ESP (%)	<20	20-35	35-45	>45
Drenaggio (1)	ben drenato, moderatamente ben drenato, piuttosto mal drenato	ben drenato, moderatamente ben drenato, piuttosto mal drenato	piuttosto eccessivamente drenato, eccessivamente drenato	mal drenato, molto mal drenato
Rischio inondazioni (1)	assente	assente	lieve	moderato o alto
CaCO ₃ (%)	10-20	0,5-10, 20-40	<0,5, 40-60	>60
AWC (mm)	>125	61-125	<61	
CSC (cmol+ kg ⁻¹ suolo)	>20	10-20	5-10	<5

(1) Da: Sys et al. (1993), modificato in accordo alle classi riportate in appendice al presente manuale.

Bibliografia

BALDONI, R., GIARDINI, L., (ED.), 1981. *Coltivazioni erbacee*. Patron editore, Bologna, 15-89.
 LULLI, L., DELOGU, F., 1978. *Differenze nello sviluppo e nella produzione del frumento duro (var. Appuro) indotte dalle pratiche di livellamento*. Annali ISSDS, vol.IX, 139-162.

- LULLI, L., DELOGU, F., GREGORI, E., MICLAUS, N., 1980. *Cartografia di base per la programmazione degli interventi in aree marginali. II. Memorie illustrative della Carta dei Suoli: Carta dei suoli; attitudine dei suoli alla produzione del frumento duro; attitudine dei suoli alle colture legnose*. Annali ISSDS, vol.XI, 33-96.
- NACHIT, M., ELOUAFI, I., 2004. *Durum Wheat Adaptation in the Mediterranean Dryland: Breeding, Stress Physiology, and Molecular Markers - Challenges and Strategies for Dryland Agriculture*. CSSA (Crop Science Society of America and American Society of Agronomy), Special Publication n.32.
- RAGLIONE, M., LORENZONI, P., ANGELINI, R., BONIFAZI, A., FEBELLI, C., SPADONI, M., VENUTI, L., VERZILLI, C., 2002. *Carta dei suoli dell'altopiano di Leonessa (Rieti) e delle loro idoneità per alcune colture tipiche* Edizioni Arti Grafiche Nobili Sud, Rieti, 279.
- SYS, C., VAN RANST, E., DEBAVEYE, I.J., BEERNAERT, F., 1993. *Land evaluation, part III. Crop requirements*. Agriculture publications n.7, General Administration for Development Cooperation. Brussels, Belgium, 166.

Ministero delle Politiche Agricole, Alimentari e Forestali
Osservatorio Nazionale Pedologico e per la Qualità del Suolo Agricolo e Forestale

In collaborazione con:
International Union of Soil Sciences
Società Italiana della Scienza del Suolo
Commissione VI - Uso e Conservazione del Suolo

VENUTI, L., CHISCI, G., 2006. *Mais*. In: Costantini, E.A.C. (Ed.), Metodi di valutazione dei suoli e delle terre, Cantagalli, Siena, pp. 922.

Collana dei metodi analitici per l'agricoltura diretta da Paolo Sequi, vol. 7

CRA - Consiglio per la Ricerca e la Sperimentazione in Agricoltura
Istituto Sperimentale per lo Studio e la Difesa del Suolo, Firenze

12. Mais

Letizia Venuti¹, Giancarlo Chisci²

12.1. Caratteristiche della coltura	2
12.2. Tecnica colturale	3
12.2.1 Avvicendamento.....	3
12.2.2. Operazioni colturali.....	3
12.3. Requisiti colturali	7
12.3.1 Clima.....	7
12.3.2 Suolo.	8
12.3.3 Elementi nutritivi.....	8
12.3.4 Esigenze idriche.....	9
12.4. Attitudine delle terre alla coltivazione del mais	9
12.5. Caratteri funzionali dei suoli e tabelle di valutazione.....	10
Bibliografia	11

12.1. Caratteristiche della coltura

La fascia geografica dove il mais (*Zea mays*, L.) è coltivato è molto ampia: va dal 30° al 55° parallelo in entrambi gli emisferi; ciononostante, la maggior parte della produzione di mais da granella è concentrata nell'emisfero boreale, fra il 35° e il 45° parallelo. Infatti, procedendo verso nord, le basse temperature diventano fattore limitante, mentre più a sud è l'acqua a diventarlo e quindi la coltivazione diventa strettamente dipendente dalle disponibilità irrigue.

Il mais è una pianta eliofila ed ha una elevata efficienza fotosintetica (pianta C4); è brevidiurna, ma le nuove varietà sono neutrodiurne. Dal punto di vista pluviometrico, il mais è diffuso in una fascia molto ampia di piovosità, che va da 250 a 5.000 mm anno⁻¹. Il consumo medio di acqua è variabile, dipendendo dalla produttività della pianta, dalla temperatura e dall'umidità dell'aria.

¹ CNR-IRPI - Istituto Ricerca Protezione Idrogeologica, Unità di Firenze - Pedologia Applicata

² Università degli Studi di Firenze

12.2. Tecnica colturale

12.2.1 Avvicendamento

Il mais è una pianta da rinnovo e viene quindi alternata a colture che beneficino della sua precedente coltivazione; prima della semina vengono infatti eseguite lavorazioni profonde del terreno ed abbondanti concimazioni e i residui colturali lasciati dalla pianta dopo la raccolta sono abbondanti. Inoltre, il mais ha un potere “rinettante” nei confronti delle infestanti per effetto dei lavori colturali e degli interventi diserbanti che la coltura richiede. Viene avvicendata solitamente con altri cereali (frumento soprattutto) e, talvolta, anche se sempre meno frequentemente, con il prato. È comunque comune anche la pratica della monosuccessione di mais, resa possibile dalle moderne tecniche colturali e dalle abbondanti concimazioni; essa è comunque poco raccomandabile, addirittura negativa nei suoli a tessitura fine, dove si possono verificare fenomeni di peggioramento della struttura con tutte le conseguenze sulle proprietà fisiche del suolo. Inoltre, la monosuccessione causa il diffondersi delle infestanti tipiche della coltura del mais (soprattutto *Sorghum halepense*).

12.2.2. Operazioni colturali

Preparazione del terreno

Il mais è la coltura da rinnovo per eccellenza e nella tradizione la preparazione del terreno per la semina si basa su una lavorazione profonda (40-50 cm), utile per l'interramento dei concimi organici, per consentire l'approfondimento dell'apparato radicale e, soprattutto nei terreni argillosi e nelle colture non irrigue, per favorire la costituzione di riserve idriche nel terreno. La lavorazione profonda viene generalmente eseguita con aratro rovesciatore, ma potrebbe meglio essere attuata con il sistema a “due strati”, vale a dire abbinando una scarificazione profonda ad una aratura leggera superficiale. Alla aratura estiva o autunnale nell'anno precedente seguono alcuni lavori complementari di affinamento delle zolle e di controllo delle malerbe che sono nate nel frattempo. È consigliabile eseguire questi lavori complementari qualche tempo prima della semina perché si potrebbe correre il rischio di rovinare la struttura creata dopo mesi di azione degli agenti naturali.

Il mais non abbisogna di un letto di semina particolarmente amminutato, dato che il suo seme è abbastanza grosso e viene posto a dimora piuttosto in profondità. Nondimeno un letto di semina ben preparato favorisce nascite più pronte e regolari.

Il mais può essere coltivato anche in seconda coltura, nel qual caso risparmio di lavoro, tempestività e buone produzioni possono essere ottenute

anche con semina diretta senza lavorazione, adoperando una seminatrice speciale attrezzata con piccoli coltri per tagliare il suolo e disporre il seme alla dovuta profondità. Per un buon risultato produttivo è opportuno predisporre, dopo un adeguato monitoraggio per valutare la necessità dell'intervento, una geodisinfestazione contro gli insetti terricoli, da attuare con formulati microgranulari distribuiti sulla fila dalla stessa seminatrice.

Concimazione

Il mais, quale coltura primaverile-estiva, si avvantaggia notevolmente della concimazione organica, in quanto la sua mineralizzazione procede allo stesso tempo delle esigenze della coltura. La letamazione è stata tradizionalmente la concimazione principale del mais, ma oggi sono la norma le aziende che coltivano con successo il mais senza disporre di letame o altri concimi organici, facendo ricorso alle sole concimazioni minerali o ad eventuali concimi organici non tradizionali come i liquami e/o le composte.

Se consideriamo le asportazioni della coltura irrigua per una produzione di 12 t ha⁻¹ circa di granella secca, vengono prelevati 300 kg ha⁻¹ di azoto, 144 kg ha⁻¹ di anidride fosforica e 240 kg ha⁻¹ di potassio. Tenuto conto delle riserve di elementi nutritivi in un terreno di buona fertilità, mediamente le concimazioni vanno previste intorno a 250 kg ha⁻¹ di azoto, 80-120 kg ha⁻¹ di anidride fosforica e 50-100 kg ha⁻¹ di ossido di potassio. Dopo un prato di leguminose, l'azoto può essere ridotto a 150-200 kg ha⁻¹. In coltura asciutta è inutile o addirittura dannoso forzare la concimazione minerale, che potrebbe essere utilmente diminuita alla metà delle dosi. Nei terreni argillosi dove è possibile coltivare il mais in coltura asciutta, la concimazione potassica può essere eliminata.

La letamazione e la concimazione fosfo-potassica di base devono essere fatte prima della semina: il letame all'aratura, i concimi minerali in parte all'aratura e in parte all'erpicazione per la preparazione del letto di semina. La concimazione azotata oggi viene fatta alla semina con concimi azotati a lento effetto non dilavabili (principalmente urea).

Semina

In generale, le semine primaverili è bene siano fatte al più presto, ma non prima che la temperatura del terreno abbia raggiunto i 12°C. Per una buona produzione è indispensabile che la fittezza delle piante sia giusta e regolare. Una fittezza eccessiva riduce il LAI (*Leaf Area Index*) e, riducendo l'intercettazione della luminosità disponibile, riduce l'assimilazione e la fertilità delle spighe a causa dell'eccessivo ombreggiamento. Inoltre, la diminuzione del numero di spighe (le moderne varietà di mais sono monospiga), determina una riduzione della produttività sull'unità di superficie.

La fittezza d'allevamento del mais dipende dalle diverse condizioni di coltura. In coltura principale irrigua da granella, una densità adeguata può essere considerata di 6-8 piante m⁻²; in coltura principale asciutta da granella, 2,5-4 piante m⁻²; in coltura principale da foraggio a maturazione cerosa, 1 pianta in più della corrispondente fittezza per granella; in coltura intercalare per granella, 7-10 piante m⁻²; in coltura intercalare da foraggio per raccolta alla fioritura (granturchino), 30-50 piante m⁻².

La distanza fra le file deve essere tale da rendere possibile l'impiego di tutte le macchine necessarie ad una maiscoltura meccanizzata (0,7-0,8 m). La quantità di seme può variare da 15 a 24 kg ha⁻¹, ma tale dato ha solo carattere indicativo in quanto i semi di mais si vendono a numero. La profondità di semina deve essere uniforme ed opportunamente scelta: in media si consigliano 4-6 cm a seconda che il terreno alla semina sia umido o asciutto. È necessario che il seme sia trattato con fungicidi, cosa che viene fatta direttamente dalle ditte venditrici del seme per i mais ibridi.

Lotta alle infestanti

La lotta alle erbe infestanti è una pratica fondamentale per ottenere elevate produzioni, tanto nella coltura irrigua quanto in quella asciutta. In passato questa era affidata alle sarchiature e alle scerbature.

Le sarchiature meccaniche tuttavia non bastano a risolvere il problema: infatti, gli organi lavoranti delle macchine sarchiatriche operano solo nell'interfila. Inoltre, spesso non si riesce ad entrare nel campo con le macchine prima che il mais determini la copertura del terreno con la sua chioma. Oggi la ricerca ha messo a disposizione dei maiscoltori potenti erbicidi e tecniche appropriate per l'esecuzione d'interventi atti ad eliminare le infestanti che, al momento attuale, sono rappresentate da poche specie dominanti monocotiledoni (*Sorghum halepense*, *Echinochloa crus-galli*, *Setaria spp.*, *Digitaria sanguinalis*) e dicotiledoni (*Amaranthus spp.*, *Chenopodium spp.*, *Convolvus arvensis*, *Fallopia convolvulus*, *Polygonum spp.*, *Portulaca oleracea*, *Veronica spp.*, *Solanum nigrum*, ecc.). La lotta alle malerbe nella coltura del mais ha raggiunto i suoi massimi risultati con l'impiego dell'atrazina, che fu e rimase a lungo l'erbicida più impiegato per la sua eccezionale efficacia erbicida e di selettività per il mais. L'atrazina tuttavia dovette essere bandita a seguito del comprovato inquinamento delle falde acquifere. Dopo la messa al bando dell'atrazina, sono stati trovati altri principi diserbanti sostitutivi, ma nessuno di essi ha uno spettro di azione completo, per cui sono necessari interventi multipli, con principi attivi diversi o in miscele e trattamenti in epoche diverse. I trattamenti erbicidi si distinguono:

- diserbo pre-emergenza. Si fa al momento della semina, o contemporaneamente a questa nel caso di diserbo localizzato. Un modo per risparmiare sull'erbicida e di ridurre i rischi d'inquinamento consiste

- nel distribuire il diserbante solo sulla fila lasciando alle sarchiature il controllo delle infestanti sulle interfile;
- diserbo post-emergenza. Generalmente si configura come integrazione del diserbo pre-emergenza ove si dimostri necessario.

Cure colturali

In passato, una pratica comune era il diradamento per dare alla coltura la giusta fittezza. Nella moderna maiscoltura intensiva il diradamento è divenuto superfluo a seguito dell'avvento delle semine di precisione.

Altra pratica che ritorna d'attualità è la sarchiatura, che è importante non solo per completare l'opera del diserbo chimico, divenuto oggi meno efficace nel controllo integrale delle malerbe, ma anche perché la sarchiatura riduce l'evaporazione e favorisce l'arieggiamento della rizosfera. Questa pratica deve comunque essere attuata prima che le piante di mais superino i 0,6-0,7 cm di altezza. Nel caso di sarchiatura meccanica risulta molto utile abbinare la rincalzatura delle piante, pratica molto comune in passato all'uopo di favorire il radicamento delle piante anche se oggi si evidenziano inconvenienti poiché essa rende meno agevole la trinciatura degli stocchi.

Irrigazione

Il mais ha consumi idrici unitari molto elevati e quindi per ottenere produzioni elevate richiede nei nostri ambienti quantità d'acqua che solo in poche aree sono disponibili. Si tenga presente che il mais svolge il suo ciclo produttivo nel periodo estivo durante il quale la piovosità nei nostri ambienti è al suo minimo. Il momento critico principale è la fioritura (indicativamente nel mese di luglio), ma in linea generale si deve fare in modo che l'acqua non difetti nel periodo che va dalla emissione del pennacchio alla maturazione latteo-cerosa delle granella.

Se consideriamo le due tipologie del terreno argilloso e sciolto, il volume di adacquamento per portare a 0,7 cm il profilo bagnato sarà di circa $500 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ nel primo caso e di $250 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ nel secondo. Tenuto conto che nella stagione estiva si può ipotizzare una ETP (evapotraspirazione potenziale) di 7 mm d^{-1} , l'intervento irriguo, ove non si considerino eventuali eventi pluviometrici, dovrà essere effettuato rispettivamente ogni 7 o ogni 3 giorni. L'irrigazione del mais è generalmente eseguita per aspersione o per infiltrazione laterale da solchi.

Raccolta

Il mais può essere utilizzato per la produzione di granella o per una serie di prodotti intermedi per la realizzazione di silo-mais, idoneo all'alimentazione del bestiame. Per il mais da granella, la raccolta può essere fatta in spiga o in granella. Il primo sistema è quello tradizionale di raccolta a mano delle spighe che vengono staccate dalla pianta, "scartocciate" (eliminando le brattee che le

avvolgono) ed essiccate, per poi essere sgranate a mano o con apposita macchina sgranatrice.

Il sistema più rapido e oggi quasi universalmente diffuso è quello della raccolta con mietitrebbiatrici da mais, che eseguono contemporaneamente la raccolta e la sgranatura. Il momento ottimale per la mietitrebbiatura del mais si verifica quando la granella contiene il 24-26% di acqua, poiché se la granella è più secca questa si sgrana facilmente dal tutolo sotto l'azione degli organi spannocchiatori, con conseguente perdita di prodotto in campo e, se è più umida, si stacca dal tutolo con difficoltà e si può spaccare nel distacco.

Ci sono varie modalità di essiccazione e conservazione della granella. Per l'impiego commerciale la granella deve avere non più del 13% di umidità, anche se l'umidità standard commerciale è del 15,5%. Quasi generalmente allo scopo di evitare ammuffimenti, il mais deve essere essiccato artificialmente in essiccatoi ad aria calda. Se la granella di mais viene adoperata in azienda per l'alimentazione del bestiame, questa può essere opportunamente insilata. Le modalità sono le seguenti:

1. conservazione di farina umida in silos a trincea;
2. conservazione della granella intera in silos metallici asfittici;
3. conservazione della granella intera in sili a trincea con trattamenti conservanti.

Nell'impiego aziendale il mais può essere raccolto a pianta intera alla maturazione cerosa per la preparazione del silo-mais opportunamente trinciato e stoccato in silos a torre o verticali, a platea o silos-cumulo, orizzontali a fossa o a trincea.

12.3. Requisiti culturali

12.3.1 *Clima*

La temperatura media giornaliera ottimale per la coltivazione del mais è compresa fra 24 e 30 °C, variando a seconda dello stadio vegetativo della pianta e della disponibilità idrica (Baldoni e Giardini, 1981). Le basse temperature sono critiche nel periodo dell'emergenza. Sono dannose (tabella 12.1):

- temperature dell'aria > 32-33°C;
- temperature notturne elevate;
- temperature del terreno > 22-23°C.

La temperatura (media giornaliera) ottimale dell'aria nei diversi stadi fenologici è:

- semina: 10°C (12,7°C nel suolo alla profondità di semina);
- germinazione ed emergenza: 20-25°C;
- levata: 22-23°C;
- fioritura: 24-25°C;
- ingrossamento della cariosside: 23-24°C.

Le gelate sono sempre dannose; lo zero di vegetazione è a 10°C. Dal punto di vista della piovosità, la coltivazione del mais è possibile solo con piovosità media annua > 150 mm; negli ambienti mediterranei il livello minimo oscilla da 200-300 mm anno⁻¹ a 400-600 mm anno⁻¹, a seconda della capacità idrica del suolo. I consumi idrici della pianta crescono fino alla fioritura, per poi decrescere. Piovosità elevate sono tollerate dove il tipo di suolo non dà luogo a fenomeni di ristagno idrico.

Tabella 12.1. Requisiti climatici del mais.

	Ottimale	Sub-ottimale	Marginale	Non adatto
Temperatura media (°C) durante il ciclo vegetativo	18-32	16-17, 33-35	14-15, 36-40	< 14, > 40
Precipitazione media annua (mm) durante il ciclo vegetativo	500-1.200	400-500, 1.200-1.600	300-400, > 1.600	< 300

12.3.2 Suolo

Dal punto di vista del suolo, il mais è una pianta non particolarmente esigente. Sono preferibili:

- terreni di medio impasto;
- suoli profondi;
- suoli soffici, non compatti, o comunque non crepacciati d'estate;
- suoli ben drenati;
- suoli ricchi in sostanza organica unificata;
- pH neutro o subacido;
- salinità assente; il mais è comunque moderatamente tollerante.

12.3.3 Elementi nutritivi

Il fabbisogno nutritivo del mais è elevato. Per quanto riguarda l'azoto, la coltura predilige i terreni ricchi di sostanza organica unificata, anche se il contenuto nel suolo e il rilascio d'azoto da parte della sostanza organica non sempre sono sufficienti a soddisfare il fabbisogno della pianta nelle sue differenti fasi di sviluppo. Per il fosforo, le esigenze sono alte, soprattutto nei primi stadi vegetativi. Per il potassio, le carenze si verificano più di rado, solo in caso di terreni sciolti o ricchi di scheletro, particolarmente in condizioni di piovosità elevata. Per quanto riguarda il calcio, non si verificano solitamente fenomeni di carenza. Per quanto riguarda i microelementi, si assiste raramente a casi d'insufficienza; solo nel caso di zinco e manganese si possono verificare rari casi di carenza (carenza di Mg in suoli acidi organici).

12.3.4 Esigenze idriche

Essendo il mais pianta degli ambienti tropicali umidi, esso presenta elevate esigenze termiche e idriche. Le regioni più adatte al mais (le cosiddette “*corn belts*”), dove il mais può essere convenientemente coltivato senza irrigazione ottenendo elevate produzioni, sono quelle dove le piogge estive sono frequenti e regolari. Il consumo idrico unitario del mais è indicato in 349 g di acqua per g di sosta secca da alcuni autori e in 187 g di acqua per g di sostanza secca da altri, mettendo in evidenza come il coefficiente di traspirazione risulti molto variabile secondo le condizioni climatiche. Se consideriamo rese totali di sostanza secca di 20 t ha⁻¹ (granella, tutoli, steli, foglie, cartocci, radici) potremo considerare un consumo idrico totale variabile da 6.980 t ha⁻¹ a 2.640 t ha⁻¹ di acqua.

12.4. Attitudine delle terre alla coltivazione del mais

Il mais è una coltura primaverile-estiva che trova il suo *habitat* ideale nelle zone a clima subtropicale o a clima temperato umido, caratterizzate da regolari precipitazioni estive (tabella 12.2).

Tabella 12.2. Requisiti colturali del mais.

Requisiti	Condizioni
Climatici	
Temperatura dell'aria	medio-alta
Umidità dell'aria	medio-alta
Colturali	
Tessitura	da media a fine
Disponibilità di ossigeno	elevata e costante
Disponibilità idrica	elevata
Profondità del suolo (falda idrica, orizzonti impenetrabili dalle radici)	elevata
Disponibilità di nutrienti	medio-alta
Salinità del suolo	bassa
Reazione del suolo	neutra o subacida
Gestionali	
Trafficabilità	buona
Lavorabilità e meccanizzazione	buona

Il mais è sensibile al freddo, specie durante i primi periodi di sviluppo. Richiede elevata temperatura durante la fase vegetativa e riproduttiva e necessita di un periodo utile di coltivazione di 120-150 giorni senza ritorni di freddo. Nei nostri climi, si può affermare che le aree maggiormente vocate alla coltivazione del mais da granella sono quelle in cui il rifornimento idrico è

sufficiente (buona capacità di trattenuta idrica del suolo o sufficiente piovosità nei terreni sciolti o disponibilità irrigue durante il ciclo di sviluppo estivo della coltura), il suolo è profondo e ben drenato o comunque, anche se idromorfo, senza la presenza di una falda troppo superficiale e senza eccessiva tendenza al crepacciamento estivo. La dotazione in sostanza organica e in nutrienti deve essere elevata. Le varietà di mais, al di là delle comuni esigenze colturali, si differenziano per le diverse caratteristiche produttive e per il diverso grado di tolleranza alle avversità ambientali

12.5. Caratteri funzionali dei suoli e tabelle di valutazione

In Italia esistono diverse esperienze di valutazione dei suoli alla coltura del mais realizzate in differenti regioni e con diversi approcci, principalmente negli anni '80. Carte di attitudine alla coltivazione del mais sono state ad esempio realizzate da Magaldi et al., (1983), in Toscana; dalla regione Emilia Romagna in alcune zone della pianura (Regione Emilia Romagna, 1984; 1987). Un approccio di tipo "zone agroecologiche" della FAO (FAO, 1978-81) è stato utilizzato per realizzare una carta di attitudine di Italia a scala di riconoscimento (Ministero dell'Agricoltura e delle Foreste, 1983). I caratteri funzionali maggiormente considerati sono quelli legati alla disponibilità idrica e in elementi nutritivi.

Nella tabella 12.3 è riportato un esempio di valutazione compilata in base alle indicazioni presenti in letteratura (Sys et al., 1993; Magaldi, 1983; Baldoni e Giardini, 1981).

Tabella 12.3. Attitudine dei suoli alla coltura del mais.

Caratteristiche	Ottimale	Sub-ottimale	Marginale	Non adatta
Profondità, cm	> 75	50-75	20-49	< 20
Tessitura	A, AL, FLA, FA, L, FL, AS,, F, FAS	FS, SF	S	A _{massivo}
Pietrosità superficiale (%)	0-15	16-35	36-55	> 55
Salinità (dS m ⁻¹)	0-4	5-6	7-8	> 8
Gesso (%)	0-4	6-10	11-20	> 20
pH	6,5-7	6-6,4-7,1-8	< 6-> 8	
Somma cationi basici (Ca, Mg, K, Na) (cmol+ kg ⁻¹ suolo)	> 5	3,5-5	2-3,4	< 2
Saturazione basi (%)	> 50	35-50	20-34	< 20
Carbonio organico (%)	> 1	0,5-1	< 0,5	
Scheletro (%)	< 15	15-35	36-55	> 55
ESP (%)	< 15	15-20	21-25	> 25
Drenaggio (1)	da moderatamente ben drenato a ben drenato da moderatamente ben drenato a piuttosto mal drenato	piuttosto mal drenato ben drenato	da piuttosto eccessivamente ad eccessivamente drenato	da mal drenato a molto mal drenato
Rischio inondazioni (1)	assente	assente	lieve	moderato o alto
CaCO ₃ (%)	< 15	15-25	25-35	> 35

(1) Da: Sys et al., (1993) modificato in accordo alle classi di drenaggio riportate in appendice.

Bibliografia

- BALDONI, R., GIARDINI, L. (ED.), 1981. *Coltivazioni erbacee*. Patron editore, Bologna, 125-183.
- FAO, 1978-81. *Report on the Agro-ecological Zones project. Vol. 1. Methodology and results for Africa. Vol.2. Results for southwest Asia; Vol.3. Methodology and results for South and Central America; Vol. 4, Results for Southeast Asia*. World Soil Resources Report, 48/1, FAO, Roma.
- GARDIN, L., COSTANTINI, E.A.C., NAPOLI, R., 2002. *Guida dei suoli in campagna e descrizione delle loro qualità*. Istituto Sperimentale per lo Studio e la Difesa del Suolo, Regione Toscana, 101. <http://www.issds.it/files/atr-guidasuoliRT02.pdf>.

- MAGALDI, D., 1983. *Rilevamento del suolo e classificazione del territorio per usi agricoli e non agricoli*. Sviluppo Agricolo n.8-9 (agosto-settembre), 23-27.
- MAGALDI, D., BIDINI, D., CALZOLARI, C., RODOLFI, G., 1983. *Geomorfologia, suoli e valutazione del territorio tra la piana di Lucca e il Padule di Fucecchio*. Annali ISSDS, Vol.XIV, 21-108.
- MINISTERO DELL'AGRICOLTURA E DELLE FORESTE, GRUPPO DI LAVORO PER LA VALUTAZIONE DEL TERRITORIO A FINI AGRICOLI E FORESTALI, 1983. *Proposta metodologica di classificazione attitudinale del territorio (esemplificazione per la coltura del mais da granella)*. Suppl. a Annali Istituto Sperimentale Studio e Difesa del Suolo, Vol.XIV, 55.
- REGIONE EMILIA ROMAGNA, 1984. *Cartografia tematica per la valutazione del territorio del Comprensorio Bassa Pianura Modenese*. Pivetti, Mirandola, 123.
- REGIONE EMILIA ROMAGNA, 1987. *I suoli della Bassa Pianura Ravennate*. Gamma, Bologna, 83.
- SYS, C., VAN RANST, E., DEBAVEYE, I.R.J., BEERNAERT, F., 1993. *Land evaluation, part III. Crop requirements*. Agriculture publications n.7, General Administration for Development Cooperation, Brussels, Belgium, 166.

Ministero delle Politiche Agricole, Alimentari e Forestali
Osservatorio Nazionale Pedologico e per la Qualità del Suolo Agricolo e Forestale

In collaborazione con:
International Union of Soil Sciences
Società Italiana della Scienza del Suolo
Commissione VI - Uso e Conservazione del Suolo

CHISCI, G., 2006. *Riso*. In: Costantini, E.A.C. (Ed.), *Metodi di valutazione dei suoli e delle terre*, Cantagalli, Siena, pp. 922.

Collana dei metodi analitici per l'agricoltura diretta da Paolo Sequi, vol. 7

CRA - Consiglio per la Ricerca e la Sperimentazione in Agricoltura
Istituto Sperimentale per lo Studio e la Difesa del Suolo, Firenze

13. Riso

Giancarlo Chisci¹

13.1. Caratteristiche della coltura	2
13.2. Tecnica colturale	3
13.2.1 Avvicendamento	3
13.2.2 Sistemazione del terreno	3
13.2.3 Operazioni colturali	4
13.3. Requisiti colturali	8
13.3.1 Esigenze climatiche e adattamento ambientale	8
13.3.2. Suolo	8
13.4. Attitudine delle terre alla coltivazione del riso	9
13.5. Caratteri funzionali dei suoli e tabelle di valutazione	9
Bibliografia	10

13.1. Caratteristiche della coltura

Il riso (*Oryza sativa*, *L*) è originario dell'area monsonica del sud-est asiatico ed è specie di palude, sebbene nella sua filogenesi si siano differenziati genotipi capaci di svolgere il loro ciclo in terreni non sommersi con il solo ausilio delle piogge. Per la grande ricchezza di forme la specie ha grandi possibilità di adattarsi a svariati ambienti, ma ha esigenze termiche molto elevate.

Coltivato dalle zone tropicali e sub-tropicali di origine fino a quelle temperate (da 37° di latitudine S a 50° di latitudine N), quando si allontana dalle condizioni ambientali più favorevoli, al riso viene a mancare il regime termico caratterizzato da alte temperature non soggette a brusche variazioni. Diviene pertanto necessario, per un tempo sempre più lungo fino ad interessare l'intero ciclo colturale, predisporre uno strato di acqua di conveniente spessore a sommergere il terreno ed in parte la pianta. Questa acqua accumula calore durante il giorno e lo cede al terreno, alla pianta e all'ambiente immediatamente circostante durante la notte o, comunque, quando la temperatura si abbassa,

¹ Università degli Studi di Firenze.

svolgendo una funzione di volano termico importante ai fini produttivi, durante le fasi che vanno dalla differenziazione delle infiorescenze alla fioritura.

La pianta di riso sopporta bene le condizioni asfittiche che si vengono così a determinare in quanto nel mesofillo e nello strato corticale del culmo è presente un parenchima aerifero collegabile alla idrofilia della specie. Anche l'assenza di peli radicali in terreno saturo di acqua e, forse, la comparsa di canali aeriferi longitudinali nelle radici, favoriscono l'adattamento alle condizioni asfittiche. Soltanto dove la temperatura è sufficientemente elevata, con modeste variazioni tra il giorno e la notte e le precipitazioni raggiungono un minimo di 1.000 mm, concentrate nel periodo di 3-5 mesi di durata della coltura, il riso può essere coltivato senza sommersione del suolo come gli altri cereali.

13.2. Tecnica colturale

13.2.1 *Avvicendamento*

Il riso non avrebbe particolari esigenze di successione colturale, tanto è vero che può essere coltivato in monosuccessione. La necessità di costose sistemazioni per attuare la sommersione del terreno con uno strato di acqua di altezza uniforme, rende necessario ricorrere, nelle zone risicole italiane, a successioni colturali nelle quali il riso si ripete sullo stesso terreno da un minimo di 2-3 fino a 5-6 anni consecutivi per evitare frequenti e costosi lavori di risistemazione. Al riso possono avvicinarsi il grano, i prati oligofiti di trifoglio ladino o trifoglio pratense e loiessa, gli erbai estivo-autunnali ed autunno-vernini, il mais. Oggi, motivi agronomici, economici, strutturali e organizzativi hanno spinto verso la monosuccessione colturale contribuendo a fare di questo cereale una coltura industriale ad altissima specializzazione nelle aree italiane a vocazione risicola. Tuttavia, anche se la monosuccessione è possibile, si avverte l'esigenza di ritornare a qualche forma di avvicendamento per superare una situazione che si è creata per il massiccio impiego di diserbanti e disalganti chimici.

13.2.2 *Sistemazione del terreno*

In relazione alla necessità della sommersione del terreno con uno strato di acqua di altezza uniforme, la coltura del riso richiede superfici perfettamente piane e orizzontali delimitate da arginature. Si possono avere risaie di collina dove le arginature seguono le curve di livello sempre realizzando camere di sommersione piane sia pure di forma irregolare, oppure risaie di pianura come la quasi generalità delle risaie italiane.

A seguito delle differenze della natura, dell'orografia e dell'altimetria originarie del suolo, delle differenze climatiche e anche delle dimensioni

aziendali, le sistemazioni delle risaie italiane di pianura sono caratterizzate da due modelli fondamentali: nelle province nord-occidentali le aziende di dimensioni medie adottano appezzamenti, il cui perimetro è delimitato da argini detti ripe, suddivisi in unità colturali dette camere (0,5 - 5 ha) separate da arginelli che vanno dall'una all'altra ripa, all'interno delle quali la superficie è sistemata a prose piane separate da solchi acquai che hanno il compito di facilitare sommersioni e asciutte. Nelle province nord-orientali, dove le aziende sono generalmente più grandi, su terreni naturalmente in piano, le unità colturali, coincidenti con gli appezzamenti, prendono il nome di bacini (9 - 12 ha), aventi forme regolari e perimetro delimitato da grandi argini su cui trovano sede le capezzagne. Questi bacini sono serviti da adacquatori che corrono lungo le testate e immettono l'acqua in adacquatrici di servizio interne ai bacini stessi. Scoline longitudinali di grande sezione (0,8 - 1,5 m²) suddividono poi i bacini in piane o pezze, ognuna suddivisa da uno o più solchi detti gambini.

13.2.3 Operazioni colturali

Preparazione del terreno

La lavorazione principale del terreno viene realizzata con aratri polivomere, generalmente a modesta profondità ed eseguita a fine inverno-inizio primavera. In terreni caratterizzati da bassa portanza, ad esempio quelli torbosi, vengono usate vangatrici e/o zappatrici rotative. La profondità di lavoro può variare secondo la natura del terreno (in genere 20 - 25 cm), ma essa non deve determinare un aumento dell'infiltrazione dell'acqua in profondità, disturbando eventuali strati impermeabili capaci di contenere i consumi di acqua. La tecnica di aratura è in genere quella a colmare per non alterare il profilo piano del terreno. La lavorazione del terreno è in genere preceduta dal rifacimento o dal rafforzamento degli arginelli per assicurarne, con il riporto e il costipamento di terra, la perfetta efficienza. I lavori complementari per la preparazione del letto di semina consistono nell'erpicazione e nello spianamento del terreno. Nella maggior parte dei casi, quando la semina avviene in risaia inondata, segue il livellamento o slottatura ed eventualmente l'intasamento, eseguiti dopo aver sommerso il terreno con uno strato d'acqua di 2 - 3 cm al fine di ridurre l'infiltrazione e quindi il consumo d'acqua. In terreni particolarmente permeabili, all'intasamento si provvede anche con interventi supplementari mediante ripetuti passaggi di trattrici equipaggiate con ruote metalliche a gabbia ed eventualmente con l'ulteriore ausilio di un rullo metallico anch'essi a gabbia.

Concimazione

Un tempo basata sull'impiego del letame, oltre che sul sovescio totale di prati di leguminose, la concimazione del riso è andata aggiornandosi con l'impiego

di fertilizzanti minerali. Oggi la concimazione organica diretta al riso è una pratica che si conserva per tradizione. Infatti, letamazione e sovescio non sono essenziali per conseguire rese di riso elevate, ma possono avere effetti anche negativi, specialmente nei terreni limoso-argillosi, in quanto, in risaia sommersa, la degradazione della sostanza organica sottrae ossigeno in un ambiente che ne è già poverissimo, potendo dar luogo a irregolare e difettosa germinazione e radicazione, nonché alla formazione ed accumulo di sostanze tossiche.

La concimazione minerale, attuata con precisi adattamenti alle varie condizioni pedologiche, climatiche e culturali, appare più idonea a conseguire rese elevate. Essa deve essere basata sulle asportazioni della coltura e tenere conto delle sue esigenze nelle varie fasi di sviluppo e anche degli effetti della sommersione e delle asciutte sulle caratteristiche chimiche e sull'attività della microflora del terreno. Per azoto e fosforo, l'assorbimento maggiore avviene nel periodo tra le fasi di accestimento e di levata e poi tra la botticella e l'antesi. Le sommersioni hanno l'effetto di determinare un forte consumo d'ossigeno da parte dei microrganismi aerobi mineralizzatori della sostanza organica, cui subentrano gli anaerobi, che riducono i composti ossidati minerali e organici. In generale, si ha un abbassamento del potenziale ossido-riduttivo ed un innalzamento del pH, tanto più sensibile quanto più spinta è la riduzione. La sommersione determina anche denitrificazione: i nitriti sono tossici e, quindi, la presenza di grandi quantità di nitrati nel terreno è dannosa. Altri effetti che si riscontrano in risaia sono l'intensa ammonizzazione e l'aumento notevole della solubilità del fosforo, del silicio e del potassio.

Per la concimazione minerale azotata s'impiegano prevalentemente concimi ammoniacali come l'urea e la calciocianammide perché il riso sommerso assorbe l'azoto ammoniacale e soltanto in asciutta quello nitrico. La concimazione azotata può essere omessa nei terreni organici e torbosi ed anche quando la risaia è preceduta da un prato di leguminose. La concimazione azotata può essere anticipata per il 70 - 80% alla semina e la quota restante in copertura a fine accestimento - inizio levata in risaia prosciugata. Per la concimazione fosfatica s'impiegano perfosfati o scorie Thomas, queste ultime favorite dai risicoltori per l'impiego in terreni acidi.

La concimazione potassica non è comune a tutte le aree risicole perché non sembra influire direttamente sulla resa. Incide tuttavia favorevolmente sulla resistenza all'allettamento e agli attacchi parassitari, mentre favorisce la maturazione, correggendo gli eventuali effetti ritardanti di un eccesso d'azoto. I concimi organici e minerali fosfo-potassici vanno interrati all'aratura.

Irrigazione

Nei nostri ambienti temperati l'irrigazione del riso per sommersione è pressoché continua con acqua in lento flusso, interrotta da temporanei

prosciugamenti della risaia (asciutte) variabili per numero e per durata secondo le circostanze.

L'irrigazione della risaia è pratica complessa, differenziandosi da un anno all'altro e richiedendo adattamenti tempestivi, detti governo dell'acqua, collegati all'andamento climatico stagionale, alle caratteristiche termiche e alla quantità d'acqua disponibile, all'eventuale necessità di ossigenare il terreno, alla necessità di contrastare lo sviluppo di alghe, delle erbe infestanti, dei parassiti vegetali e animali e, al momento opportuno, di favorire la maturazione del riso. Il governo dell'acqua assume caratteristiche profondamente diverse nei vari ambienti. In particolare, in Italia, nelle due zone risicole principali del vercellese e nel ferrarese, si riscontrano due modelli di risaia e di governo dell'acqua assai diversi.

Come regola generale, ad eventuali abbassamenti di temperatura dell'aria si sopperisce mantenendo o portando la sommersione a livelli più alti o, semplicemente, rallentando il flusso dell'acqua o ricorrendo ad ambedue queste manovre contemporaneamente. Non tutte le acque impiegate per la sommersione del riso hanno lo stesso valore. Se sono troppo fredde richiedono accorgimenti di preriscaldamento prima di essere immesse in risaia (caldane). I consumi d'acqua variano in funzione della permeabilità dei terreni. Sono minori nelle risaie "vecchie" dove i pori del terreno risultano intasati dalle particelle più fini trascinate dall'acqua di infiltrazione, mentre, nelle risaie "nuove", è maggiore. I consumi d'acqua in portata continua vanno da un minimo di $1 \text{ L sec}^{-1} \text{ ha}^{-1}$, nei terreni meno permeabili, ad un massimo di circa $5 \text{ L sec}^{-1} \text{ ha}^{-1}$ in quelli sciolti e più permeabili.

Semina e trapianto

L'epoca di semina del riso nelle nostre aree risicole è compresa fra la prima decade di aprile e la seconda decade di maggio. In passato era diffusa la pratica del trapianto, che presupponeva la costituzione di un vivaio su una superficie pari a 1/9 di quella da trapiantare eseguita su un terreno preparato con estrema cura. Le piantine venivano estirpate e messe a dimora definitiva in risaia sommersa quando avevano raggiunto un'altezza di almeno 15 cm..

Oggi, la quasi totalità delle risaie italiane viene impiantata mediante semina diretta in terreno sommerso: a) a spaglio, a mano o mediante impiego di spandiconcime centrifughi, usando risone previamente ammollato per appesantirlo e assicurarne la migliore distribuzione e il pronto affondamento; b) a macchina con seminatrice a file, su terreno non sommerso, ma saturo di acqua od anche su terreno asciutto. La sommersione segue immediatamente la semina o, se il seme è stato interrato, s'inonda la risaia ad emergenza avvenuta 20 – 25 giorni dopo la semina. La quantità di risone da impiegare varia molto: dai $170 - 190 \text{ kg ha}^{-1}$ può arrivare sino ai $200 - 250 \text{ kg ha}^{-1}$ quando si tema una difficoltosa germinazione o uno scarso accestimento.

Lotta alle malerbe

A parità di altre condizioni, si ritiene che il diserbo del riso contribuisca per l'80% alla realizzazione di una buona produzione. Infatti, nelle risaie si sviluppano numerose infestanti che si differenziano in funzione della natura del terreno, della qualità delle acque, delle tecniche di coltivazione e dell'avvicendamento colturale.

La particolare tecnica di coltivazione mediante lunghi periodi di sommersione fa sì che le infestanti abbiano caratteristiche del tutto peculiari. Oltreché a varie specie di alghe, crittogame e fanerogame emergenti, le infestanti comprendono specie idrofile vere e specie idrofile occasionali che possono iniziare lo sviluppo solo in terreno non sommerso.

In passato, il diserbo della risaia veniva eseguito a mano a mezzo di manodopera avventizia prevalentemente femminile (mondine), ma oggi si ricorre nella maggioranza dei casi al diserbo chimico abbinato, specialmente per quanto riguarda le alghe, ad un sapiente governo delle asciutte e, per i risi crodi, ricorrendo all'avvicendamento della risaia. L'impiego massiccio di diserbanti chimici in risaia desta non poche preoccupazioni in relazione alla possibilità di inquinamento. Ne consegue la necessità di impiegare soprattutto diserbanti biodegradabili.

Raccolta, essiccamento e conservazione del risone

La raccolta viene attuata alla maturazione agronomica del riso, tra inizio settembre (cv. precoci) e la fine di ottobre (cv. tardive). La raccolta, che in passato veniva realizzata a mano, in Italia è oggi attuata prevalentemente a macchina. La raccolta a mano, di contro, è ancora usata nelle aree risicole dell'Asia e dell'Africa, dove di frequente si raccolgono le sole pannocchie.

Dato che il contenuto di umidità del risone alla raccolta si aggira tra il 22 e il 28%, mentre il livello ottimale per la conservazione è intorno al 14%, nei nostri ambienti è necessario provvedere all'essiccamento artificiale. Il risone essiccato e pulito è conservato in magazzini o in silos, fino a quando è ceduto all'industria trasformatrice. Per trasformare il risone in riso commestibile si debbono asportare meccanicamente le glumette e gli strati superficiali della cariosside (sbiancatura) con procedimento tradizionale o mediante il processo detto *parboiling*. Con il progredire della lavorazione, che comporta successive operazioni di pulitura, sbramatura e sbiancatura, si ottiene il riso mercantile o riso raffinato. Il riso raffinato può subire ulteriori trattamenti di brillatura o di oleatura. In Italia, la valutazione commerciale del riso si basa sulla dimensione della granella lavorata, suddividendo le categorie in risi comuni (< 5,2 mm); semifini (5,2 - 6,4 mm); fini (> 6,4 mm); superfini (superiori caratteristiche di aspetto).

13.3. Requisiti colturali

13.3.1 Esigenze climatiche e adattamento ambientale

Per il suo polimorfismo, il riso ha grande attitudine ad adattarsi a differenti ambienti, ma in ogni caso ha sempre esigenze termiche molto elevate. Coltivato nelle aree tropicali e sub-tropicali d'origine fino a quelle temperate e a differenti altitudini, quando al riso viene a mancare il regime termico caratterizzato da alte temperature non soggette a brusche variazioni di temperatura, diviene indispensabile, per un periodo sempre più lungo fino all'intero ciclo di coltivazione, coprire il riso con uno strato di acqua di conveniente spessore. Quest'acqua accumula calore durante il giorno e lo cede al terreno, alla pianta e all'ambiente circostante durante la notte quando la temperatura si abbassa. Solo laddove la temperatura è sufficientemente elevata con modeste escursioni termiche tra il giorno e la notte e le precipitazioni raggiungono un minimo di 900 – 1.000 mm nei 3 - 5 mesi del ciclo colturale, il riso può essere coltivato senza sommersione del suolo. La somma termica (zero di vegetazione 10 °C) in ambienti tropicali è compresa tra i 1.760 °C e i 3.300 °C e nelle zone temperate tra i 704 °C e i 2.760 °C.

Tra gli altri elementi del clima, il vento può avere effetti nocivi nelle prime fasi del ciclo colturale, quando il moto ondoso dell'acqua può determinare lo sradicamento delle piantine. Nelle fasi più avanzate di sviluppo, il vento può ostacolare la fecondazione e determinare l'allettamento. La pioggia ha effetti utili poiché favorisce l'ossigenazione dell'acqua, ma anche dannosi per l'abbassamento della temperatura dell'aria che determina. Le esigenze idriche, legate al trofismo della pianta, non si discostano molto da quelle di altri cereali poiché il coefficiente di traspirazione oscilla da meno di 500 a 800 L kg⁻¹ di sostanza secca.

13.3.2. Suolo

Il riso non è molto esigente nei confronti della natura fisico-meccanica del terreno e, come abbiamo visto, non sembra avvantaggiarsi di elevate dotazioni di sostanza organica. Il riso si adatta anche a suoli decisamente acidi e, in minor misura, a quelli alcalini (pH da 3,5 a 8,4). Entro certi limiti si adatta anche a terreni salini e poco profondi, ma in questi ultimi va più soggetto all'allettamento a causa dello scarso sviluppo radicale.

Può considerarsi terreno ideale quello a reazione sub-acida, limoso o limoso-argilloso, profondo 30 - 40 cm, poggianti su uno strato impermeabile, che consenta un buon sviluppo dell'apparato radicale e riduca al minimo le perdite di acqua per percolazione.

13.4. Attitudine delle terre alla coltivazione del riso

In tabella 13.1 sono riportati in sintesi i requisiti per la coltura del riso.

Tabella 13.1. Requisiti colturali del riso.

REQUISITI	CONDIZIONI
Climatici	
Temperatura dell'aria	alta
Escursioni termiche	modeste
Umidità dell'aria	alta
Colturali	
Tessitura del terreno	limosa, limoso argillosa
Profondità del suolo	30-40 cm
Permeabilità del suolo	bassa
Sostanza organica nel suolo	medio-bassa
Reazione del suolo	da acida a sub-alcalina
Gestionali	
Trafficità	buona
Lavorabilità e meccanizzazione	buona

13.5. Caratteri funzionali dei suoli e tabelle di valutazione

Data la peculiarità della coltivazione del riso, questo viene coltivato in Italia in zone circoscritte, così che anche le esperienze di valutazione delle terre sono limitate. In tabella 13.2 è riportata uno schema per la valutazione.

Tabella 13.2. Attitudine dei suoli alla coltura del riso.

Caratteristiche	Ottimale	Sub-ottimale	Marginale	Non adatta
Profondità (cm)	30-60	> 60	20-29	< 20
Tessitura	AL, L, FL, FA, AS,F, FLA	A, torboso	FS, SF	S
Permeabilità	bassa - molto bassa	moderatamente bassa	moderata	alta – molto alta
Scheletro (%)	< 5	5-7	8-10	> 10
Salinità (dS m ⁻¹)	< 5	5-8	9-12	> 12
pH	5-7	4-4,9; 7,1-8	3,5-3,9; 8,1-8,4	< 3,5; >8,4
Carbonio organico (%)	1-1,5	1,6-3	> 3	
Scheletro (%)	< 5	5-10	> 10	
ESP (%)	< 10	10-15	16-20	> 20
CSC (cmol+ kg ⁻¹ suolo)	> 10	5 – 10	< 5	
Sostanza organica (%)	< 2	2 - 3	> 3	
rH	elevato	medio	basso	asfittico
Drenaggio ⁽¹⁾	da mal drenato a molto mal drenato	da piuttosto mal drenato a moderatamente ben drenato	ben drenato	da piuttosto eccessivamente ad eccessivamente drenato

⁽¹⁾ Sys et al., (1993) modificato in accordo alle classi di drenaggio riportate in appendice al presente manuale.

Bibliografia

- GARDIN, L., COSTANTINI, E.A.C., NAPOLI, R., 2002. *Guida dei suoli in campagna e descrizione delle loro qualità*. Istituto Sperimentale per lo Studio e la Difesa del Suolo, Regione Toscana, 101. <http://www.issds.it/files/atr-guidasuoliRT02.pdf>.
- SYS, C., VAN RANST, E., DEBAVEYE, I.R.J., BEERNAERT, F., 1993. *Land evaluation, part III. Crop requirements*. Agriculture publications n.7, General Administration for Development Cooperation, Brussels, Belgium, 166.

Ministero delle Politiche Agricole, Alimentari e Forestali
Osservatorio Nazionale Pedologico e per la Qualità del Suolo Agricolo e Forestale

In collaborazione con:
International Union of Soil Sciences
Società Italiana della Scienza del Suolo
Commissione VI - Uso e Conservazione del Suolo

VENUTI, L., CHISCI, G., 2006. *Erba medica*. In: Costantini, E.A.C. (Ed.), *Metodi di valutazione dei suoli e delle terre*, Cantagalli, Siena, pp. 922.

Collana dei metodi analitici per l'agricoltura diretta da Paolo Sequi, vol. 7

CRA - Consiglio per la Ricerca e la Sperimentazione in Agricoltura
Istituto Sperimentale per lo Studio e la Difesa del Suolo, Firenze

14. Erba medica

Letizia Venuti¹, Giancarlo Chisci²

14.1. Caratteristiche della coltura	2
14.2. Tecnica colturale	3
14.2.1 Avvicendamento.....	3
14.2.2 Operazioni colturali.....	3
14.3. Requisiti colturali	6
14.3.1 Clima.....	6
14.3.2 Suolo.	7
14.3.4 Esigenze idriche.....	7
14.3.5 Elementi nutritivi	8
14.4. Attitudine delle terre alla coltivazione dell'erba medica.....	8
14.5. Caratteri funzionali dei suoli e tabelle di valutazione.....	9
Bibliografia	10

14.1. Caratteristiche della coltura

L'erba medica (*Medicago sativa*, L.) è originaria dell'Asia sud occidentale. Attualmente essa ha una notevole diffusione ed una adattabilità elevata alle più diverse condizioni ambientali, poiché, nel corso dei secoli, si è differenziata in tipi caratterizzati da differente tolleranza al freddo e sensibilità nei confronti del fotoperiodo. In Italia è ampiamente diffusa, ad eccezione che nelle pianure acide e nelle regioni meridionali più aride, dove è soppiantata dalla sulla o dalla lupinella. È una pianta poliennale, con durata fino a 4-5 anni e più, anche se attualmente supera di rado il terzo anno, spesso per una gestione non attenta.

¹ CNR-IRPI - Istituto Ricerca Protezione Idrogeologica, Unità di Firenze - Pedologia Applicata

² Università degli Studi di Firenze

14.2. Tecnica colturale

14.2.1 *Avvicendamento.*

L'erba medica è una coltura miglioratrice ed è quindi solitamente inserita nella rotazione dopo un cereale autunno-vernino e prima di una coltura primaverile, anche se attualmente ha perso la sua importanza fondamentale nella rotazione, a causa delle moderne tecniche colturali e della concimazione minerale. Ha un notevole potere rinettante nei confronti delle infestanti e, inoltre, arricchisce il terreno di elementi nutritivi grazie sia alla simbiosi che instaura con i microrganismi del terreno con produzione di azoto simbiotico, sia alla quantità di residui che essa stessa lascia in campo. La successione della medica a se stessa ha invece delle controindicazioni, poiché determina fallanze e scarso sviluppo delle piante.

14.2.2 *Operazioni colturali*

Preparazione del terreno

Le tecniche di semina dell'erba medica sono fondamentalmente due: la bulatura, vale a dire la trasemina entro una coltura autunno-vernina (generalmente frumento, ma anche segale, orzo o avena), oppure, più comunemente, può essere seminata in purezza su un terreno appositamente preparato per l'impianto del medicaio.

Nel caso della bulatura, nessuna speciale lavorazione preparatoria viene richiesta, ma eventualmente, quando la trasemina viene fatta precocemente entro una coltura di frumento allo stato di plantula, può essere opportuno eseguire una erpicatura leggera, seguita da una rullatura leggera. In questo caso, le concimazioni di impianto sono quelle eseguite alla coltura autunno-vernina che precede. Nel caso più razionale e comune di semina specializzata, è opportuno anzitutto eseguire una lavorazione piuttosto profonda da rinnovo per favorire l'approfondimento della radice fittonante della medica. Tale lavoro deve essere eseguito precocemente nell'estate dell'anno precedente, per dare la possibilità di ottenere un perfetto affinamento del letto di semina a seguito dell'azione degli agenti atmosferici sul suolo, condizione necessaria per favorire il buon esito della semina di una coltura caratterizzata da seme relativamente minuto.

Per il perfezionamento del letto di semina, le estirpature e le erpicature dovrebbero essere attuate in autunno-inverno, sospendendole prima della semina (da eseguire quasi generalmente a fine inverno inizio primavera) per dar modo agli agenti atmosferici, soprattutto al gelo, di strutturare perfettamente il terreno e anche per favorire la simbiosi con il rizobio. La semina può essere eseguita a spaglio o a macchina. Nel primo caso, l'interrimento del seme viene

realizzato con una leggera erpicatura seguita da una rullatura. Nel secondo caso, la semina è generalmente eseguita a file distanti 0,15-0,17 m con apposita seminatrice munita di organi per l'interrimento del seme a non più di 1-2 cm di profondità e fatta seguire da una rullatura per mettere ben a contatto il seme con le particelle del terreno.

Semina

Per avere le 350-400 piante m^{-2} , che si considerano il miglior investimento iniziale, si deve ritenere che, curando la preparazione del letto di semina, risultati soddisfacenti potrebbero essere ottenuti con l'impiego di 15-20 kg ha^{-1} di seme. Tale dose deve essere progressivamente aumentata in terreni non ben preparati, o in terreni argillosi con struttura del letto di semina grossolana e/o zollosa, ed anche nel caso di bulatura della medica nel grano, fino ad arrivare a 40 kg ha^{-1} di seme.

Concimazione

Al momento dell'impianto della coltura specializzata, un'adeguata concimazione fosfo-potassica risulta assai importante, da distribuire parte all'aratura e parte prima dei successivi lavori di amminutamento del terreno, anche per costituire riserve nel terreno atte a sopperire alle necessità della rotazione. Una modesta concimazione azotata all'impianto può anche essere utile per sopperire alle esigenze dello sviluppo iniziale della medica che successivamente provvede autonomamente alla nutrizione azotata, quando si instaura la produzione simbiotica dell'azoto. Le elevate esigenze di fosforo e potassio del medicaio richiedono che tali elementi vengano somministrati anche in copertura, soprattutto nei medicai più produttivi sottoposti ad interventi irrigui. Le somministrazioni in copertura vengono generalmente attuate a fine inverno e, raramente, anche dopo i tagli.

Lotta alle infestanti

Generalmente, il medicaio ha una durata a 3-4 anni soprattutto perché, dall'investimento iniziale di almeno 300-400 piante m^{-2} , i cespi di medica scendono sotto 80-100 piante m^{-2} , ciò che rende conveniente la rottura del prato in quanto l'entità della produzione e la qualità del foraggio prodotto (nel quale si riduce molto la componente erba medica ed aumenta il contributo alla massa di altre specie spontanee anche infestanti) non giustificano più i costi unitari della raccolta e della conservazione. Le cause che, accanto a quelle fitopatologiche e agli stress abiotici, determinano il diradamento dei medicai sono principalmente rappresentate dalla competizione di specie infestanti diverse, soprattutto nel taglio primaverile, anche perché l'erba medica è piuttosto lenta nella ripresa primaverile rispetto alle monocotiledoni e dicotiledoni spontanee che competono con essa.

Già nell'anno di impianto le infestanti più comuni del prato di erba medica sono alcune dicotiledoni annuali (*Stellaria*, *Capsella*, *Sinapis*, *Chenopodium*, *Amaranthus*, ecc.) ed anche monocotiledoni annuali (*Digitaria*, *Setaria*, *Echinochloa*). In seguito fanno la loro comparsa alcune dicotiledoni poliennali come *Taraxacum*, *Rumex*, *Plantago*, o monocotiledoni come *Alopecurus*, *Avena*, *Lolium*, *Agropyron* che, seppure non prive di un certo valore foraggero, sono comunque da considerare infestanti rispetto alla medica. Il mantenimento in purezza del medicaio è garanzia sia di longevità del prato sia della qualità del foraggio.

Le tecniche di diserbo del prato di erba medica sono legate alle caratteristiche peculiari di questa coltura, come, ad esempio, la sua durata poliennale, per cui si deve distinguere l'anno di impianto da quelli successivi. Nel corso del ciclo produttivo si deve distinguere un periodo di riposo invernale e una stagione produttiva, durante la quale il medicaio è sottoposto a ripetuti sfalci di utilizzazione e successivi ricacci.

Nell'anno di impianto è necessario contenere le infestanti finché le piantine di medica, che hanno un lento sviluppo iniziale, non sono ben sviluppate. L'intervento diserbante può essere fatto in pre-semina con Benfluralin, in pre-emergenza con Neburon o in post-emergenza con un'associazione di Imazetapir e 2,4 DB. Sul medicaio impiantato, durante il riposo vegetativo si possono usare anche erbicidi ad assorbimento radicale, mentre alla ripresa vegetativa, finché la medica non supera gli 80-100 cm di altezza, si può usare ancora la miscela Imazetapir con 2,4 DB. Per quanto riguarda la cuscuto, infine, che determina gravi diradamenti a chiazze sui medicai fin dal primo anno, la lotta specifica è quella localizzata da fare con il Propizamide, da impiegare dopo uno sfalcio.

Raccolta

Nell'anno di semina la produzione del medicaio è scarsa, specialmente nel caso di semina mediante bulatura. La piena produttività si consegue nel secondo anno mentre al terzo anno la produzione comincia e a ridursi per il progressivo diradamento dei cespi di medica. Nel momento in cui si scende sotto 100-80 cespi m⁻² il medicaio deve essere rotto in quanto la sua resa comincia a essere compromessa. Nel corso della stagione produttiva il medicaio fornisce il prodotto in diversi tagli, da un minimo di due nel caso di clima arido, a 4-5 in condizioni irrigue o di notevole freschezza. Nei casi limite di colture irrigue in ambiente sub-tropicale, il prolungamento della stagione vegetativa per tutto l'anno può consentire fino a 10-12 tagli di erba giovane. Lo stadio vegetativo ottimale per il taglio è l'inizio della fioritura, quando si realizza il miglior rapporto tra quantità e qualità del foraggio e, allo stesso tempo, un accumulo ottimale di riserve di carboidrati nelle radici per consentire il miglior ricaccio del taglio successivo. L'erba medica viene in genere utilizzata per foraggiamento verde o affienata. L'insilamento è poco utilizzato date le

notevoli difficoltà di conservazione dell'erba ricca di proteine. Il pascolamento deve essere fatto con prudenza perché può provocare nei ruminanti il meteorismo. L'erba medica è un foraggio particolarmente adatto alla disidratazione per la preparazione di farine di erba medica. La resa media annua in fieno di un ottimo prato di erba medica può giungere fino a 13 t ha⁻¹, ma in condizioni normali si aggira intorno a 8-10 t ha⁻¹, con il 15% di umidità. La fienagione e la raccolta del fieno devono essere fatte con molta cura per evitare che eccessive manipolazioni del foraggio secco diano luogo a perdite di foglie e conseguentemente della parte più pregiata del prodotto. Un fieno di erba medica di ottima qualità ha un contenuto di protidi grezzi del 18-22% (su sostanza secca), mentre il valore nutritivo è di circa 0,6 U.F. kg⁻¹ di sostanza secca.

14.3. Requisiti colturali

14.3.1 *Clima.*

La temperatura ottimale per la coltivazione della medica è compresa fra 15 e 25°C durante il giorno e 10-20°C durante la notte. Il cardinale minimo di germinazione è di 5°C; l'attività fisiologica della pianta si blocca al di sotto dei 5°C e al di sopra dei 35°C. Ciò nonostante, la tolleranza della medica nei confronti della temperatura è molto alta: resiste infatti piuttosto bene anche a temperature di -10/-15°C o di 35/40°C durante la fase di riposo vegetativo. La resistenza alle basse temperature è un carattere variabile in funzione della varietà. Ovviamente, sotto i 5°C e sopra i 30°C la resa nell'assimilazione decresce in modo consistente. Inoltre, la pianta può subire danni da freddo invernale o primaverile precoce (Baldoni et al., 1974). Dal punto di vista della piovosità la medica, essendo originaria di zone temperato-calde e tendenzialmente calde, sopporta molto meglio la siccità piuttosto che i ristagni di acqua. Infatti in periodi di siccità prolungata la pianta entra in dormienza, mentre il ristagno idrico porta all'asfissia radicale e alla morte della pianta stessa, soprattutto nella stagione calda. Se il ristagno si verifica durante i mesi invernali, quando la pianta è in stasi vegetativa, la tolleranza è ben maggiore. Può essere coltivata anche in climi aridi, purché ci sia disponibilità idrica nel terreno (Baldoni et al., 1974).

Tabella 14.1. Requisiti climatici della medica.

	Ottimale	Sub-ottimale	Marginale	Non adatto
Temperatura media durante il ciclo vegetativo (°C)	20-30	15-20, 30-33	10-15, 33-40	< 10, > 40
Precipitazione media annua durante il ciclo vegetativo (mm)	800-1.400	600-800, 1.400-1.600	400-600, > 1.600	< 400

14.3.2 Suolo.

Come accennato sopra, la medica ha scarsa tolleranza nei confronti del ristagno idrico, specie al di fuori della stagione invernale. Soprattutto, la specie ha scarsa tolleranza a bassi valori di pH, mentre resiste bene all'alcalinità, specialmente se non eccessiva. L'erba medica richiede suoli profondi per un adeguato approfondimento dell'apparato radicale e una buona dotazione di sostanza organica, ma non eccessiva, a causa della conseguente acidificazione del suolo. Ha una buona tolleranza nei confronti della salinità, ad eccezione che nel periodo giovanile. Richiede una adeguata dotazione di calcio per dare buone produzioni; anche una moderata quantità di gesso è associata a produzioni elevate. Dal punto di vista della tessitura, l'erba medica si adatta bene ai terreni argillosi, grazie all'elevata forza di penetrazione delle radici (Baldoni et al., 1974). Per questa coltura per quanto riguarda le caratteristiche del suolo, sono preferibili:

- suoli profondi affinché le radici fittonanti possano estendersi in profondità (Baldoni e Giardini, 1981);
- tessitura da franca ad argillosa, anche se può essere coltivata con buoni risultati in terreni ricchi di sabbia, purché sufficientemente dotati di calcare e di potassio. La medica può tollerare la siccità anche per periodi prolungati, ma è da sottolineare che i terreni argillosi, in tali condizioni, tendono a formare crepe che possono danneggiare gli apparati radicali delle piante.
- suoli calcarei e/o gessosi;
- suoli ben drenati per limitare il rischio di ristagno idrico;
- suoli ricchi di sostanza organica, ma non in eccesso;
- suoli aventi pH neutro o alcalino, ma non fortemente alcalino; la medica non tollera invece i terreni a reazione acida, con valori di pH inferiori a 6-6,5, poiché la simbiosi rizobica si instaura con difficoltà e viene compromessa la durata del prato.

La coltura della medica ha i seguenti effetti positivi sulle caratteristiche fisico-chimiche del terreno:

- aumento del contenuto in sostanza organica;
- restituzione dell'azoto fissato per via simbiotica;
- aumento della microflora e microfauna del terreno;
- azione rinettante dalle malerbe;
- miglioramento strutturale proprio del sistema sodivo inerbito.

14.3.4 Esigenze idriche

Le esigenze idriche dell'erba medica sono elevate anche a causa del periodo vegetativo prolungato. La profondità dell'apparato radicale e la capacità di

rallentare sino a sospendere l'attività vegetativa durante il periodo siccitoso rendono la medica capace di adattarsi a periodi di mancanza idrica.

L'eccesso d'umidità del suolo risulta invece maggiormente limitante. Il drenaggio difficoltoso o la presenza di falda troppo superficiale causano deperimento della pianta con conseguente diradamento del medicaio a favore delle malerbe. L'irrigazione è quindi generalmente di soccorso nelle annate siccitose o nell'anno di primo impianto per favorire il rapido sviluppo ed una buona densità d'investimento. Il metodo irriguo generalmente utilizzato per la medica, in considerazione della sporadicità degli interventi e della sensibilità al ristagno, è quello per asperzione.

Nell'anno d'impianto si dovrà prestare molta attenzione, nell'esecuzione degli interventi irrigui, ad evitare il più possibile l'effetto battente della pioggia per non scalzare o danneggiare le giovani piante.

14.3.5 Elementi nutritivi

L'erba medica richiede un'elevata fertilità del terreno, con adeguati contenuti di fosforo e potassio in particolare. La medica è una pianta azoto-fissatrice. Grazie alla simbiosi con *Rhizobium meliloti* è in grado di soddisfare le proprie esigenze azotate catturando questo elemento direttamente dall'atmosfera. Questo significa che, per quanto riguarda la nutrizione azotata, l'erba medica può considerarsi autosufficiente. Risponde invece bene agli apporti di fosforo e potassio. Richiede elevate quantità di calcio, necessitando di calcitazione laddove la dotazione in carbonato di calcio sia scarsa. Riassumendo:

- N: ha scarse esigenze relativamente all'azoto, in quanto la pianta lo ricava dal rapporto simbiotico con i microrganismi azoto-fissatori. Un apporto eccessivo di azoto, al contrario, favorisce lo sviluppo delle infestanti;
- P: l'asportazione è in media di 50 Kg di P_2O_5 100 kg⁻¹ di fieno;
- K: il fabbisogno di potassio è elevato nelle piante giovani.

14.4. Attitudine delle terre alla coltivazione dell'erba medica

In sintesi, l'erba medica si adatta bene a terreni neutri o alcalini, senza ristagno idrico, come ad esempio molti terreni calcarei del nostro ambiente. Ha una discreta resistenza alla siccità.

Tabella 14.2. Requisiti colturali della medica.

REQUISITI	CONDIZIONI
Climatici	
temperatura dell'aria	media
umidità dell'aria	medio-bassa
Colturali	
tessitura	da franca ad argillosa
disponibilità di ossigeno	elevata
disponibilità idrica	media
profondità del suolo (falda idrica, orizzonti impenetrabili dalle radici)	elevata
disponibilità di nutrienti	elevata di P e K
salinità del suolo	media
reazione del suolo	da neutra ad alcalina
Gestionali	
trafficeabilità	buona
lavorabilità e meccanizzazione	buona
Fattori di rischio	
Rischio di erosione	basso
Rischio di inquinamento delle falde	basso

14.5. Caratteri funzionali dei suoli e tabelle di valutazione

In Italia esistono diverse esperienze di valutazione dell'attitudine dei suoli alla coltivazione dell'erba medica, realizzati soprattutto negli anni '80 (Magaldi et al., 1983; Regione Emilia Romagna, 1984; 1987). I caratteri funzionali maggiormente considerati sono quelli legati alle caratteristiche fisiche del suolo. Nella tabella 14.3 è riportato un esempio di schema di valutazione compilato in base alle indicazioni della letteratura (Sys et al., 1993; Magaldi, 1983; Baldoni e Giardini, 1981).

Tabella 14.3. Attitudine dei suoli alla coltura della medica.

Caratteristiche	Ottimale	Sub-ottimale	Marginale	Non adatta
Profondità, cm	> 75	50-75	30-49	< 30
Tessitura	FS, FAS, AS, F, FA, FAL, A, AL, FL, L	FS	SF	AL _{massivo} , A _{massivo}
Salinità (dS m ⁻¹)	< 5	5-9	10-12	> 12
Gesso (%)	< 5	5-10	11-20	> 20
pH	6,5-8	6-6,4; 8,1-8,3	5,9-6; 8,4-8,5	< 5,5; > 8,5
Somma cationi basici, (Ca, Mg, K, Na) (cmol+ kg ⁻¹ suolo)	> 5	3,5-5	2-3,4	< 2
Saturazione basi (%)	> 35	20-35	< 20	
Carbonio organico (%)	> 1,2	0,8-1,2	< 0,8	
Scheletro (%)	< 15	15-35	36-70	> 70
ESP (%)	< 20	20-35	36-50	> 50
Drenaggio (1)	da moderatamente ben drenato a ben drenato da moderatamente ben drenato a piuttosto mal drenato	piuttosto mal drenato ben drenato	da piuttosto eccessivamente ad eccessivamente drenato	da mal drenato a molto mal drenato
Rischio inondazioni (1)	assente	assente	lieve	moderato o alto
CaCO ₃ (%)	2-15	0-2; 15-25	25-35	> 35
AWC (mm)	> 112	56-112	< 56	
CSC (cmol+ kg ⁻¹ suolo)	> 10	> 10	5-10	< 5

(1) Sys et al., (1993) modificato in accordo alle classi di drenaggio riportate in appendice al presente manuale.

Bibliografia

- BALDONI, R., GIARDINI, L., (ED.), 1981. *Coltivazioni erbacee*. Patron editore, Bologna, 823-856.
- BALDONI, R., KOEKENY, B., COVATO, A., 1974. *Le piante foraggere*. Edizioni Reda, Roma, 290.
- GARDIN, L., COSTANTINI, E.A.C., NAPOLI, R., 2002. *Guida dei suoli in campagna e descrizione delle loro qualità*. Istituto Sperimentale per lo Studio e la Difesa del Suolo, Regione Toscana, 101. <http://www.issds.it/files/atr-guidasuoliRT02.pdf>.
- MAGALDI, D., 1983. *Rilevamento del suolo e classificazione del territorio per usi agricoli e non agricoli*. Sviluppo Agricolo n.8-9 (agosto-settembre), 23-27.
- MAGALDI, D., BIDINI, D., CALZOLARI, C., RODOLFI, G., 1983. *Geomorfologia, suoli e valutazione del territorio tra la piana di Lucca e il Padule di Fucecchio*. Annali ISSDS, Vol.XIV, 21-108.

- REGIONE EMILIA ROMAGNA, 1984. *Cartografia tematica per la valutazione del territorio del Comprensorio Bassa Pianura Modenese*. Pivetti, Mirandola, 123.
- REGIONE EMILIA ROMAGNA, 1987. *I suoli della Bassa Pianura Ravennate*. Gamma, Bologna, 83.
- SYS, C., VAN RANST, E., DEBAVEYE, I.R.J, BEERNAERT, F., 1993. *Land evaluation, part III. Crop requirements*. Agriculture publications n.7, General Administration for Development Cooperation, Brussels, Belgium, 166.

Ministero delle Politiche Agricole, Alimentari e Forestali
Osservatorio Nazionale Pedologico e per la Qualità del Suolo Agricolo e Forestale

In collaborazione con:
International Union of Soil Sciences
Società Italiana della Scienza del Suolo
Commissione VI - Uso e Conservazione del Suolo

LULLI, L., PALCHETTI, E., VECCHIO, G., 2006. *Patata*. In: Costantini, E.A.C. (Ed.),
Metodi di valutazione dei suoli e delle terre, Cantagalli, Siena, pp. 922.

Collana dei metodi analitici per l'agricoltura diretta da Paolo Sequi, vol. 7

CRA - Consiglio per la Ricerca e la Sperimentazione in Agricoltura
Istituto Sperimentale per lo Studio e la Difesa del Suolo, Firenze

15. Patata

Luciano Lulli¹, Enrico Palchetti², Giuseppe Vecchio³

15.1. Caratteristiche generali	2
15.2. Requisiti colturali	3
15.3. Tecnica colturale	5
15.4. Pratiche colturali	7
15.5. Valutazione delle relazioni suolo produzione	9
15.6. Valutazioni sulla qualità del prodotto	11
15.7. Considerazioni sulla sperimentazione suolo/qualità della patata	14
Bibliografia di riferimento	15

15.1. Caratteristiche generali

La patata (*Solanum tuberosum*, L.) è una pianta erbacea perenne a coltura annuale, provvista di fusti sotterranei carnosi trasformati, detti stoloni, gli ingrossamenti dei quali, i tuberi, costituiscono il prodotto commestibile: le patate. I tuberi sono provvisti di gemme (dette occhi) da cui prende avvio lo sviluppo della parte aerea della pianta. Le foglie sono di un bel colore verde, imparipennate, glabre nella pagina superiore e pelose in quella inferiore. I fiori, riuniti a grappoli, hanno calice verde formato da cinque sepali uniti, e corolla bianca o rosea formata da cinque petali, in parte concresciuti a formare un breve tubo che si apre in un largo lobo. Il frutto è una bacca carnosa, prima verde e poi scura, tondeggiante, contenente numerosi semi piccoli, appiattiti. La patata ha un fusto aereo di colore verde bruno ricoperto di peli, lungo da 50 a 100 cm circa, in posizione eretta nella fase iniziale dello sviluppo e prostrato verso il suolo a crescita avvenuta. La patata è conosciuta circa da 8000 anni, come testimoniano alcuni reperti storici. Gli Spagnoli la conobbero durante la conquista dell'America del Sud. La pianta era invece sfuggita a Cristoforo

¹ Già CRA - Istituto Sperimentale per lo Studio e la Difesa del Suolo, Firenze

² Università degli Studi di Firenze - Facoltà di Agraria, Dipartimento di Scienze Agronomiche e Gestione del Territorio Agroforestale

³ CRA - Istituto Sperimentale per lo Studio e la Difesa del Suolo, Catanzaro

Colombo, perchè la sua coltivazione veniva fatta solo sulle Ande, ma ebbe modo di gustare e di vedere altre piante da radice e tuberi come la manioca e l'igname, specie di aree litoranee, con maggiore esigenze termiche

La patata è originaria del Messico e dell'America meridionale, dove è diffusa fino alle estremità meridionali del Cile. Le antiche popolazioni della Cordigliera delle Ande hanno addomesticato questa pianta da tempo immemorabile, più di 4000 anni fa, selezionandone un numero enorme di varietà adatte in pratica a tutti i climi. Il suo nome attuale deriva da batata, voce *quechua*. Nella nostra mente "patata" è associata a "montagna". In montagna le patate sono più saporite, più sane, perché meno soggette ai parassiti, alla peronospora, ai batteri ed alle virosi trasmesse dagli afidi che, a causa delle basse temperature, hanno un minor numero di generazioni.

Portata in Europa dagli Spagnoli nel 1570, solo nel 1586 arrivò in Irlanda, dove venne immediatamente accettata come importante prodotto agricolo ed entrò nella dieta della gente povera. In Italia la patata si diffuse agli inizi dell'Ottocento per merito del veneziano Vincenzo Dandolo. Oggi la sua coltivazione è diffusa in tutto il mondo ed è tra i più importanti alimenti del genere umano. Il suo alto contenuto di amido e il suo discreto contenuto di proteine, oltre alla vitamina C, la rendono un cibo ideale. La patata produce più energia dei cereali per unità di superficie coltivata.

I tuberi si conservano preferibilmente in locali privi di luce per limitare la germogliazione ed è buona norma, di tanto in tanto, eliminare i germogli che si sviluppano. Le patate che diventano verdi contengono degli alcaloidi velenosi (solanina).

In generale, le patate a pasta gialla, compatte e semicompatte, sono adatte per essere lessate, arrostiti, fritte, cotte al forno. Le patate a pasta bianca e farinosa sono invece adatte per preparare impasti (gnocchi, puré, ecc.). Tuttavia, molto dipende dal contenuto in sostanza secca delle varietà.

Le varietà coltivate in Italia sono molto numerose, per la maggior parte si tratta di genotipi selezionati dalle ditte sementiere del Nord Europa e solo recentemente sono state selezionate delle varietà commerciali italiane. Inoltre, attualmente, su superfici limitate, vengono coltivati genotipi italiani di antica costituzione su cui è stato effettuato un paziente lavoro di risanamento e recupero. Tali vecchie varietà sono generalmente molto apprezzate sui mercati locali (di nicchia).

15.2. Requisiti culturali

La patata richiede durante tutte le fasi fenologiche condizioni climatiche prive di variazioni brusche della temperatura o deficienze di umidità.

Il clima

Le indicazioni della Regione Emilia Romagna ai coltivatori si riferiscono alle condizioni che devono essere presenti per una corretta coltivazione della patata (tabella 15.1). Si ricorda che le temperature vicino allo 0°C (1-2°C), provocano allessamenti della parte aerea della pianta, con ritardo della produzione.

La patata si sviluppa in un *range* di temperature molto limitato (15°C per la germogliazione, 20°C per la fioritura, 18°C per la maturazione del tubero), per cui sono temibili sia gli eccessi di caldo in carenza di acqua, sia i ritorni di freddo tardivi. Questo vale per tutte le tipologie di patate.

Tabella 15.1. Valori dei parametri climatici per la coltivazione della patata (Regione Emilia-Romagna - 2004).

Parametri climatici	Valori consigliati
Temperatura di germogliazione	14-16°C
Temperatura minima biologica	Temperature inferiori a 2°C pregiudicano la sopravvivenza delle piante; evitare zone caratterizzate da gelate tardive
Temperatura ottimale di maturazione	18-20°C
Temperature massime	Prolungate temperature superiori a 30°C impediscono l'accumulo dei carboidrati nel tubero con diminuzione del peso specifico; aumenta il rischio di tuberomania
Piovosità	L'alternanza di periodi piovosi e siccitosi porta gravi deformazioni ai tuberi; indispensabile disporre di impianti di irrigazione

Il suolo

La Regione Emilia Romagna indica anche i parametri relativi al suolo (tabella 15.2). Parametri che debbono essere meglio definiti per poter estendere le considerazioni sui suoli idonei per ogni ambiente di coltivazione. Il suolo è un fattore importante per la crescita della patata in quanto determina una condizione o stato favorevole o meno alla respirazione degli stoloni e dei tuberi. L'indicazione agronomica di una tessitura del suolo franco o franco sabbiosa non è sufficiente per definire una buona condizione di crescita. In Tunisia, sulle antiche superfici terrazzate che sostengono suoli molto argillosi, ma che producono una struttura superficiale granulare (*self mulching*) è possibile coltivare, con l'aiuto dell'irrigazione, patate con ottime qualità organolettiche e merceologiche. Questo è uno dei tanti esempi di suoli con caratteristiche lontane da quelle che sono standardizzate nella valutazione d'idoneità e si riferiscono a condizioni locali non estensibili a tutti gli ambienti suolo possibili. Così come è possibile avere buoni risultati sui suoli pseudo

sabbiosi di natura vulcanica che tuttavia hanno una buona capacità d'acqua e sono decisamente aerati.

Tabella 15.2. Valori ottimali dei parametri pedologici per la coltivazione della patata secondo il disciplinare dell'Emilia Romagna.

Parametri pedologici ⁽¹⁾	Condizioni
Tessitura	franco, franco-sabbioso
Drenaggio	buono ⁽²⁾
Profondità ⁽³⁾ (cm)	60-70
pH	> 6-6,5; < 6
Salinità (dS m ⁻¹)	< 4
Dotazione S.O.	buona
Calcare totale e attivo (%)	< 10

(1) Riferiti allo strato esplorato dalle radici.

(2) Drenaggio buono: l'acqua è rimossa dal suolo prontamente e/o non si verificano durante la stagione vegetativa eccessi di umidità limitanti lo sviluppo della coltura.

(3) Intesa come profondità a strati limitanti gli apparati radicali.

15.3. Tecnica colturale

La patata è una coltura da rinnovo che necessita di lavorazioni medio profonde, quindi per creare un buon franco di coltivazione si ara alla profondità di circa 30-35 cm. Dopo l'aratura ed una successiva erpicatura, si procede alla concimazione di fondo e all'interramento del tubero seme. Se la semina è fatta meccanicamente è indispensabile effettuare anche un livellamento del terreno; se invece è manuale si procede con l'assolcamento. In occasione delle operazioni preparatorie si possono effettuare trattamenti disinfestanti al terreno con prodotti specifici (geo-disinfestanti). È buona norma evitare il ritorno della coltura di patata sullo stesso appezzamento prima di 2 anni durante i quali si sono fatte altre colture; è sconsigliata anche la successione ad altre solanacee.

Scelta della varietà

Nella scelta delle varietà dobbiamo come sempre fare considerazioni d'ordine pratico, soprattutto in merito alla resistenza alle virosi e alla durata del ciclo, in funzione del tipo di ambiente in cui andremo ad attuare la nostra coltura. Le varietà della patata sono numerose ed alcune, come la Spunta, sono molto diffuse in tutto il mondo.

Scelta della semente

Nella scelta della semente abbiamo a disposizione varie classi di tubero seme, il cui prezzo varia in funzione della categoria e della pezzatura. Le classi di tubero seme sono:

- super elite (SE, virosi 1-3%); Ø 28-35 mm;
- elite (E, virosi 3-5%); Ø 35-45 mm;
- certificata di tipo A (CA, virosi 5-9%); Ø 45-55 mm;
- certificata di tipo B (CB, virosi 10%); Ø 55-65 mm.

Quest'ultima categoria è spesso utilizzata previo taglio del tubero seme, poiché essendo di grande pezzatura, ha anche numero elevato di occhi e da un tubero seme si possono ricavare anche 4 porzioni con più occhi ciascuno. Pratica però alquanto rischiosa, perché in questa classe è ammessa la presenza percentuale di virosi fino ad un 10%, per cui anche se un solo tubero su dieci è malato, la possibilità che il virus si diffonda è quattro volte maggiore.

Sesto di coltivazione

I sestini di coltivazione sono di 60-70 cm tra le file e di 25-35 cm sulla fila per una densità di semina di 5-6 tuberi a m². In genere si procede alla semina con seminatrici meccaniche o semimeccaniche (sono meccanici i processi d'assolcamento, piantamento e ricopertura).

Concimazione

Le concimazioni necessarie alla patata non sono molto elevate. Gli asporti per 1 t di tuberi prodotti con la corrispondente quantità di steli e foglie sono: 4 Kg di N; 2 Kg di P₂O₅; 6 kg di K₂O. La patata è una pianta potassofila e si giova, soprattutto la primaticcia, di letamazioni. Ha una bassa efficienza d'uso nei confronti dell'azoto (60%), anche perché essendo coltivata quasi sempre in terreni permeabili e non avendo un apparato radicale molto sviluppato, tende a perderlo nel terreno.

Le esigenze azotate sono maggiori nei primi 50-60 giorni e per evitare che l'azoto vada perduto si praticano tre interventi di concimazione: il primo, per 1/3 della quantità, localizzato alla semina e in forma ammoniacale; il secondo intervento si fa alla sarchiatura; il terzo alla rincalzatura.

Il fosforo viene distribuito all'80% in presemina, ed il restante alla semina, per rinforzare le strutture meccaniche della pianta, ed in particolar modo favorire l'ispessimento della "buccia" (periderma) del tubero, aumentandone la conservabilità. Il fosforo è un catalizzatore del metabolismo glucidico e quindi particolarmente importante per le produzioni primaticce.

Il potassio non è mai carente nei terreni italiani ma, poiché la patata ne assimila tantissimo e, come il P, partecipa a rinforzare le strutture meccaniche della pianta e favorisce la tuberizzazione, viene comunque distribuito. Tale operazione si fa totalmente in presemina.

Le dosi per ettaro consigliate sono: 120-150 Kg di N per la patata primaticcia e 150-180 Kg per la comune, di preferenza ammoniacale, per la lenta cessione e il non dilavamento, 120 Kg di P₂O₅ e 150 Kg di K₂O. Per le patate primaticce la dose di azoto non deve superare i 150 Kg ha⁻¹ distribuiti in due frazioni: alla semina e alla tuberizzazione.

15.4. Pratiche colturali

La messa a dimora dei tuberi si effettuerà a 8-12 cm di profondità con tuberi seme pregermogliati alla luce diffusa (questo permette di scartare quei germogli che risultino anomali e accorcia il ciclo di 10-15 giorni per consentire la formazione di forma idonea al consumo). Poco dopo l'emergenza (15 giorni) si procede ad una prima rinalzatura-sarchiatura per favorire lo sviluppo di stoloni e per ridurre le infestanti.

Una quindicina di giorni dopo si pratica una seconda rinalzatura-sarchiatura per favorire la tuberizzazione, impedire l'inverdimento dei tuberi, distruggere eventuali infestanti e distribuire l'ultima dose di concimazione azotata e fosfatica.

Dopo questi interventi, le piante inizieranno a chiudere la fila, quindi non ci sarà più rischio di competizione con le infestanti e gli unici interventi che si devono fare saranno le irrigazioni, diversificate in funzione del periodo di coltivazione.

Acqua e patata

La patata, avendo generalmente un apparato radicale poco sviluppato ed essendo per lo più coltivata in terreni sciolti e piuttosto permeabili, è sensibile alla carenza idrica che ritarda la differenziazione e la crescita dei tuberi.

In ogni caso, per ottenere l'*optimum* sia della tuberizzazione che dello sviluppo dei tuberi, sono necessarie condizioni di accrescimento regolari, legate ad un equilibrato sviluppo vegetativo della parte aerea della pianta. Tutti gli eccessi sono negativi e si ripercuotono come tali sia sulla quantità che sulla qualità delle produzioni. Uno stress idrico che si manifesti durante la fase iniziale di sviluppo degli stoloni, può ridurre sensibilmente il numero di tuberi che si formeranno.

Lunghi periodi di siccità interrotti da interventi di irrigazione portano a malformazione dei tuberi, mentre se si verifica un raffreddamento del suolo (un adacquamento con acque fredde, nella patata bisestile, o un improvviso calo delle temperature, nella patata primaticcia) vi può essere l'inibizione della tuberizzazione degli stoloni già iniziata. Dopo il ripristino delle condizioni favorevoli, lo stolone riprende l'accrescimento e inizia a formare un'altro tubero poco oltre quello abortito, formando così una corona di tuberi (catenelle) senza alcun valore commerciale. Lo stress idrico può verificarsi quando il tubero è già formato e si sta accrescendo; in questo caso, se interrompiamo bruscamente lo stress, con un adacquamento improvviso o una concimazione inopportuna, possiamo provocare escrescenze, anomalie, fenditure e fisiopatie sui tuberi. Tutti gli inconvenienti appena descritti possono essere evitati mantenendo il terreno costantemente umido per il 65-75% della sua capacità idrica, ad eccezione delle ultime fasi della maturazione. È opportuno, quando ormai il tubero è vicino alla maturazione fisiologica, evitare

ritorni di vegetazione che andrebbero sicuramente a scapito della qualità del prodotto. Indicativamente, si potrà procedere alla distribuzione di quantitativi d'acqua, variabili in funzione della tipologia di prodotto che vorremo ottenere, seguendo alcune linee guida:

- per la patata comune a semina primaverile, nelle regioni mediterranee occorrono almeno $450 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ distribuiti durante tutto il periodo di sviluppo;
- per la patata precoce a semina invernale, può essere sufficiente un apporto supplementare per un volume totale di circa, $150 - 200 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ in quanto buona parte del ciclo si svolge durante l'inverno; a questo proposito, in questo tipo di coltivazione, se le temperature scendono troppo sotto 0°C , c'è il rischio di congelamento del tubero, con perdita della pianta;
- per la patata a semina estiva (di controstagione) l'adacquamento ammonterà ad una quantità intermedia tra i volumi sopra citati ($200 - 450 \text{ m}^3$) per garantire il superamento dell'estate;
- per la patata da industria, la disponibilità di acqua gioca un ruolo fondamentale sia sulla produttività sia sulla qualità dei tuberi.

Il controllo dell'umidità

Diversi sistemi si possono adoperare per controllare le riserve idriche del terreno e per formulare un bilancio che consenta uno sviluppo senza stress alla coltura. Uno dei più diffusi è il calcolo dell'evapotraspirazione potenziale (Etp). Con questo sistema, si utilizza il dato dell'evaporazione giornaliera di una vasca, corretto con opportuni coefficienti culturali (Kc), diversi a seconda della latitudine, della coltura e della fase di sviluppo.

L'intervento irriguo viene praticato quando sono evaporati 30 mm di acqua. Da prove sperimentali dell'Istituto di Agronomia della facoltà di Agraria di Firenze è risultato che per permettere a varietà di ciclo medio precoce di esprimere la loro massima capacità produttiva, si deve intervenire con un'irrigazione circa ogni 12-15 giorni al Nord per un totale di 2-6 irrigazioni, e circa ogni 6 giorni al Sud per un totale di 8-9 irrigazioni.

Lotta antiparassitaria

Un altro aspetto agronomico importante nella coltivazione della patata è la lotta agli insetti. Si è già detto della disinfestazione del terreno in presemina. Occorre inoltre tenere sotto controllo un coleottero fillofago molto dannoso: la Dorifora (*Leptinotarsa decemlineata*), i cui attacchi in massa sono in grado di defogliare nel giro di pochi giorni interi appezzamenti. Così come bisogna evitare attacchi di crittogame, in particolare della Peronospora (*Phytophthora infestans*), la malattia fungina che distrusse tutte le patate irlandesi a metà del XIX secolo, procedendo ad eventuali trattamenti specifici qualora si presentassero le condizioni ambientali favorevoli ad un attacco (elevate temperature e umidità). Occorre tenere sotto controllo anche le virosi, tramite il contenimento degli afidi e la scelta di varietà resistenti.

La raccolta

La raccolta è in genere praticata quando i primi palchi di foglie iniziano a disseccare. Risulta comunque difficile parlare di maturazione delle patate, tanto è vero che anche i tuberi raccolti molto presto (è il caso delle patate primaticcie) sono comunque commestibili e di buon sapore; questo fenomeno non avviene per nessun altro organo di piante erbacee che, difatti, deve normalmente raggiungere un livello minimo di maturazione prima di essere raccolto.

L'epoca di raccolta delle patate novelle è in primavera, a partire da marzo e fino a giugno; il momento esatto viene deciso valutando la consistenza del periderma e le dimensioni dei tuberi. La raccolta di quelle comuni avviene da luglio a settembre. Secondo il disciplinare della Regione Emilia Romagna del 2004: “per le patate destinate al mercato per il consumo fresco e all'industria il parametro primo da considerare ai fini della raccolta è il contenuto di sostanza secca. La regione consiglia di raccogliere le patate quando questo valore sia rispettivamente $\geq 18\%$ per le patate destinate al mercato per il consumo fresco e $\geq 20\%$ per le patate destinate all'industria di trasformazione. È sottinteso che il periderma deve essere completamente formato e ben consistente. Occorre altresì limitare, dopo l'estirpazione e durante la successiva movimentazione, l'esposizione dei tuberi alla luce, in quanto questo determina inverdimenti ed accumulo di alcaloidi tossici”. In dicembre – gennaio si raccolgono le patate bisestili o di controstagione.

Le rese sono variabili in funzione dell'ambiente di coltivazione e della tipologia di patata prodotta. Si va da 10-15 t ha⁻¹ nelle zone marginali o per le produzioni primaticce, a 35-45 t ha⁻¹ nelle zone emiliane a coltura intensiva di patata comune. Le medie in ogni caso sono, come già detto, intorno ai 24 t ha⁻¹.

15.5. Valutazione delle relazioni suolo produzione

Le valutazioni di attitudine secondo la metodologia FAO (1976), elaborata per tutti le fasi di suolo trovate nella Sila, è espressa nella tabella 15.3, alla quale è stato modificato il valore limitante del pH per adattarlo a tutti i suoli destinati a patata ed è stato aggiunto il parametro “contenuto di ossigeno” per correggere le imprecisioni che derivano dalle definizioni di tessitura.

Per quanto concerne la tessitura, bisogna tenere conto che i raggruppamenti di classi tessiturali, effettuati per definire una classe di attitudine, sono indicativi. Tali raggruppamenti si riferiscono allo scostamento da una distribuzione granulometrica (terreno franco) ritenuta equilibrata, ma non tengono conto delle reali condizioni ambientali dello strato interessato dalle radici (*root zone*).

La profondità, è facilmente intuibile, influisce sull'abitabilità per le radici delle piante e sulla quantità d'acqua ed aria disponibili. Il pH influisce sull'attività biologica e sulle popolazioni animali e microbiologiche del suolo, oltre che sulla disponibilità di nutrienti per le piante superiori. Si noti che a pH inferiori o intorno a 4, l'alluminio tende a divenire solubile e tossico per la patata, oltre che a dare probabilmente un certo gusto metallico alla polpa. Lo

scheletro può avere sia un effetto negativo che positivo, quando in quantità moderata favorisce la circolazione dell'acqua e dell'aria. Più lo scheletro aumenta e meno le patate assumono forme regolari. In assenza di irrigazione, l'acqua utilizzabile dalle piante (AWC), determina differenze consistenti nella produzione di patata. Un buon drenaggio è importante per evitare ristagni d'acqua ed il conseguente marciume del tubero. La pendenza diventa un problema soprattutto se, col diminuire della profondità del suolo, induce l'affioramento del tubero e il relativo inverdimento, che è associato alla produzione di sostanze tossiche, principalmente la solanina. A questi caratteri abbiamo voluto aggiungere la disponibilità di ossigeno che, indipendentemente dalla tessitura, influenza la respirazione dei tuberi. In un suolo argilloso come una Terra Rossa o in un suolo sabbioso come in un Andosuolo vitrico, le caratteristiche tessiturali non contano nel determinare la classe d'appartenenza, per cui è necessario agire con una certa accortezza nell'assegnare una classe di attitudine ai suoli destinati alla coltivazione della patata.

Tabella 15.3. Attitudine dei suoli alla produzione di patata.

Caratteri del suolo	CLASSI DI ATTITUDINE			
	S1	S2	S3	N
Tessitura*	F-FS-FA-FL-FSA-FLA-SF	S-AS-AL	A-L	
Profondità del suolo cm	(> 100)	(100 – 50)	(50 – 20)	(< 20)
pH	(5,1–6,5)	(6,6–7,3) (4,5–5)	(< 4,5) (> 8,5)	
Scheletro	(0-35%) (< 50 mm)	(10-35%) (50-150 mm)	(10-35%) (150-250 mm)	(> 35%) (150–250 mm)
AWC (mm, profondità 1 m)	elevata (> 100)	moderata (100–50)	bassa (< 50)	
Drenaggio	buono	moderato	eccessivo o imperfetto	
Pendenza %	(< 20)	(21–35)		(> 35)
Disponibilità ossigeno	buona	moderata	scarsa	imperfetta

* A=argilloso; F= franco; L=limoso; S=sabbioso.

I suoli fondamentalmente sabbiosi dell'altipiano della Sila hanno la peculiarità di avere metalli amorfi nella roccia madre, probabilmente di origine pedologica, che facilitano l'accumulo di sostanza organica legata alla frazione minerale e di conseguenza la formazione di strutture granulari che facilitano l'aerazione del suolo, la capacità di trattenere acqua utilizzabile per le piante ed

una facile lavorabilità. In questo caso la definizione di suolo sabbioso, e quindi limitante per le produzioni agricole, è impropria.

Ulteriori valutazioni per i suoli coltivati a patata sono state effettuate sui suoli nella Sila Grande. Un metodo, sviluppato da Aramini (in Lulli e Vecchio, 2000) sulla base delle relazioni tra costi e benefici ha consentito di effettuare un confronto sulla redditività delle serie di suolo che insistono sull'altipiano silano, come si vede in tabella 15.4.

Tabella 15.4. Redditività.

Classi Attitudine *	PRODUZIONE LORDA VENDIBILE			Costo di produzione	Reddito netto	Redditività
	t	Prezzo unitario in lire (valore medio 1997-1999)	Totale			
S ₁	33	60.000	19.800.000	10.970.000	8.830.000	100
S _{2w}	31	60.000	18.600.000	12.238.000	6.362.000	72
S _{2ws}	30	60.000	18.000.000	12.688.000	5.312.000	60
S _{3d}	27	60.000	16.200.000	12.688.000	3.512.000	40

Elaborazione effettuata da Aramini ERSAT Calabria (Lulli e Vecchio, 2000).

* S = classe d'attitudine; 1,2,3: prima, seconda, terza; w,s,d: limitazioni di acqua, suolo, drenaggio.

La redditività decresce in base ai caratteri del suolo ed ambientali e quindi, in prima istanza, in base alla classe di attitudine dei suoli. Tuttavia, anche suoli che appartengono alla stessa classe di attitudine possono influire sulla produttività. È stato osservato che le due serie di suolo che appartengono alla classe di maggiore redditività S1 (Sila e Cecita) differiscono in maniera significativa non solo nella capacità produttiva, ma anche per il numero di adacquamenti necessari per raggiungere un livello remunerativo, per cui costa di più produrre patata sulla serie Sila piuttosto che sulla Cecita.

La brevissima analisi sulla produttività e sulla redditività nella Sila Grande in Calabria dimostra un effetto suolo sulla produzione di patata. Il concetto può essere esteso a molte altre situazioni ambientali o contesti pataticoli.

15.6. Valutazioni sulla qualità del prodotto

Interessa ora trattare un aspetto a nostro avviso ancora più importante della produzione: le qualità organolettiche e merceologiche della patata da pasto. Una serie di prove sono necessarie per definire la qualità della patata, sia essa

cotta in acqua o fritta, ed è necessario definire alcuni descrittori per le sensazioni gustavo-tattili (*flour*) come si può vedere in tabella 15.5.

Tabella 15.5. Analisi sensoriale (valutazione parametri cinestetici).

Valutazione	1	2	3	4	5
Consistenza (durezza della polpa)	molto tenera	abbastanza tenera	abbastanza soda	soda	molto soda
Umidità (presenza di liquido sulla superficie di taglio e al palato)	molto secca	abbastanza secca	abbastanza umida	umida	molto umida
Granulazione (presenza di granuli alla masticazione della polpa)	molto grossolana	abbastanza grossolana	abbastanza fine	fine	molto fine
Gusto tipico (presenza del gusto tipico di patata responsabile della bontà del sapore)	senza gusto		→		gusto tipico molto pronunciato
Crocantezza (sensazione percepita al momento della frattura crock del prodotto)	non croccante		→		molto croccante
Aspetto tipico (riferito al tipico aspetto di french fries)	non tipico		→		molto tipico
Off flavors (riferito alla presenza di sensazioni retroolfattive con connotazione negativa non tipiche del prodotto)	molto pronunciati		→		assenti

Inoltre, si devono analizzare le sensazioni olfattive e retroolfattive (aroma) quali: intensità olfattiva, amido, castagna, cotto, erba, fruttato, metallo, terra, muffa. Devono anche essere definiti: il colore della buccia (colorimetro CR-300); la lavabilità eseguita con la valutazione delle principali alterazioni superficiali; la sostanza secca percentuale; il glucosio; l'imbrunimento dopo friggitura; l'ACB (annerimento dopo cottura a vapore). Per queste caratteristiche faremo riferimento ad una ricerca sperimentale in campo effettuata proprio nelle stesse località, sugli stessi suoli che sono state analizzati in funzione della semplice produzione. Sulle serie di suolo Cecita, Croce della Palma e Sila sono state scelte tre parcelle sperimentali le quali sono state monitorate dal momento della semina fino alla raccolta. Come varietà è stata utilizzata Agria.

Dall'elaborazione dei dati emerge che la maggior parte dei parametri rilevati non mostrano differenze significative tra i tre pedotipi messi a confronto, mentre alcuni evidenziano un probabile effetto suolo sulla crescita e sviluppo della pianta. In particolar modo, l'inizio della tuberizzazione avviene prima nella serie Sila, poi nella serie Cecita ed infine nella Serie Croce della Palma. Anche il peso dei tuberi effettuato su dieci piante al momento della defogliazione (a 38 giorni dalla semina) mostra differenze significative tra i tre pedotipi. Altra differenza sostanziale sta nel numero di interventi irrigui: ne

sono stati necessari 7 nei suoli Croce della Palma, 6 interventi nei suoli Sila e 5 nei suoli Cecita.

Sui dati delle analisi sensoriali ed organolettiche è stata eseguita una elaborazione statistica che ha evidenziato differenze significative ($P < 0,05$) tra le provenienze dei tuberi riferite alle tre serie di suolo, per quanto riguarda i parametri di colore, lavabilità, sostanza secca, imbrunimento, consistenza, granulazione e dolcezza (tabelle 15.6 e 15.7). Inoltre, tra le caratteristiche fisiche persistenti risulta che le variabili: consistenza, granulazione e dolcezza, rappresentano la discriminante tra le diverse serie di suoli (tabella 15.7).

Tabella 15.6. Confronto tra caratteristiche sensoriali ed organolettiche per le tre serie Cecita, Sila e Croce della Palma.

Serie di suolo	Caratteristiche sensoriali ed organolettiche								
	L	a*	b*	C*	h°	Lavabilità*	s.s.* (%)	VAVI*	Glucosio (mg dl ⁻¹)
Croce della Palma	60,63	-3,12	29,62	29,78	96,04	5,0	24,2	1,5	<20
Sila	61,31	-2,61	32,09	32,20	94,67	4,5	23,9	1,3	<20
Cecita	58,50	-1,31	30,00	30,03	92,50	2,0	23,3	2,0	<20

* Confronto significativo per $P < 0,05$ per le tre serie di suolo considerate.

La valutazione del colore è stata effettuata utilizzando un colorimetro Minolta CR – 300. Lo strumento converte i colori in un codice numerico che permette la definizione delle tre principali grandezze fisiche che li caratterizzano, cioè luminosità, tinta e saturazione (rappresentati dagli indici L, a*, b* nello spazio C.I.E). La caratterizzazione organolettica e sensoriale viene effettuata su un lotto di tuberi di calibro commerciale, dopo un periodo di conservazione di circa 6 mesi a basse temperature (3-4°C; UR 90%). Per la caratterizzazione organolettica si definiscono i seguenti parametri oggettivi:

- lavabilità: consiste in una valutazione visiva che tiene conto dell'incidenza delle principali alterazioni superficiali dovute a fenomeni di tipo fisiologico o parassitario. Il campione (minimo 30 tuberi) è stato confrontato con una scala di riferimento che varia da 4 a 9 e messa a punto dal CNIPT – ITCF;
- sostanza secca (%): determinata attraverso il calcolo del peso specifico in acqua. Questo parametro consente di differenziare le varietà in funzione della loro destinazione d'uso: mercato fresco (17-20%), prefritti (19-21%) e chips (21-25%);
- grado di imbrunimento dopo frittura: effettuato su stick di dimensioni 10x10 mm estratti dalla parte centrale di 20 tuberi, lavati, asciugati e poi fritti in olio di arachide per 5' a 180°C. La valutazione del grado di imbrunimento è stata effettuata con la scala di riferimento colorimetrica Munsell (VAVI).
- grado di annerimento dopo cottura a vapore: si tratta di un difetto dovuto alla formazione di composti melaninici per effetto della complessazione dei polifenoli (ac. clorogenico) con il ferro durante il raffreddamento dei tuberi cotti a vapore o fritti e surgelati (in inglese After Cooking Blackening - ACB).

Tabella 15.7. Confronto tra le caratteristiche fisiche persistenti tra le tre serie di suolo Cecita, Sila e Croce della Palma (valori medi).

Serie di suolo	Cecita	Sila	Croce della Palma
	valore medio	valore medio	valore medio
consistenza*	3,21	3,50	2,82
umidità	1,79	2,25	1,91
granulazione*	3,00	3,59	3,71
gusto	2,96	2,82	2,50
dolce*	3,21	2,59	2,79

* Confronto significativo per $P < 0,05$ per le tre serie di suolo considerate.

15.7. Considerazioni sulla sperimentazione suolo/qualità della patata

Al momento, si può affermare che per la patata si hanno caratteristiche qualitative diverse in funzione del pedotipo. Infatti, i suoli della Cecita, caratterizzati da un elevato contenuto in sostanza organica, con una capacità di ritenuta idrica maggiore rispetto agli altri suoli, necessitano di un numero minore d'interventi irrigui e producono tuberi di media consistenza e granulazione con una bassa umidità, con un gusto tipico abbastanza pronunciato e un retrogusto di castagna a fronte dei suoli Sila, che hanno un basso contenuto di materia organica. I tuberi sono caratterizzati da una polpa più consistente e una granulazione più fine, il gusto tipico è abbastanza pronunciato con un lieve retrogusto di terra.

La serie Croce della Palma, per la sua variabilità nello spessore degli orizzonti, mostra anche una elevata variabilità delle caratteristiche organolettiche ed inoltre presenta differenze sostanziali nella crescita e nello sviluppo delle piante. Infatti, la polpa varia da poco consistente ad abbastanza consistente, la granulazione varia da abbastanza fine a fine, il gusto tipico varia da poco ad abbastanza pronunciato. Nel campione analizzato non sono stati rilevati retrogusti particolari. Infine, si può ipotizzare che i suoli Sila danno una patata con migliori caratteristiche di consistenza e granulazione. Da qui emerge che esiste un effetto suolo sulla qualità dei tuberi. Altro effetto suolo si ha sulla tuberizzazione che si verifica prima nella serie Sila, poi nella serie Cecita ed infine nella Serie Croce della Palma. Ancora, se vediamo le relazioni tra suoli tenendo conto di due ambienti diversi, seppure simili, l'uno a Camigliatello sull'altopiano nella Sila Grande in provincia di Cosenza, e l'altro a Decollatura in provincia di Catanzaro a quote inferiori nel massiccio granitico, notiamo che vi sono differenze significative ($P < 0,05$) in quel di Camignatello tra le tre serie di suolo in quanto a colore, lavabilità, sostanza secca e imbrunimento, per i

quali i suoli Sila risultano i migliori. Così come risultano migliori a Decollatura per quanto riguarda la croccantezza e il contenuto di sostanza secca.

I suoli Sila, sia a Camigliatello che a Decollatura, esaltano il gusto tipico e non presentano sensazioni retrofatti pronunciate tali da penalizzare la qualità del prodotto. Al contrario, i campioni di patata provenienti dai suoli Cecita in entrambi i pedoambienti (Camigliatello e Decollatura) presentano un gusto tipico basso dovuto a sentori di terra e metallo. Tuttavia, se si osservano i profili organolettici tra i due ambienti si nota che le caratteristiche negative si esaltano a Decollatura piuttosto che sull'altopiano della Sila. Infine, si può ipotizzare una correlazione tra le caratteristiche chimico fisiche del suolo e la qualità della patata: infatti, i suoli ricchi in sostanza organica e con tessitura tendenzialmente franca producono patata con profilo organolettico inferiore rispetto ai suoli con tessitura franco sabbiosa con un contenuto in sostanza organica medio-basso. Da tutto ciò si può ipotizzare che elevati contenuti di materia organica, associati ad un pH tendenzialmente acido e a contenuti anche molto limitati di alluminio solubile incidono negativamente sulla qualità della patata.

Bibliografia di riferimento

- COSTANTINI, E.A.C., 1991. *Valutazione del territorio per la produzione di tabacco di tipo Virginia Bright: uno studio interdisciplinare nel comprensorio veronese (Italia settentrionale)*.
- FALCETTI, M., COSTANTINI, E., PINZAUTI, S., 1995. *Il contributo della pedologia nella zonazione delle aree vitate. Il maso del trentino*. Atti del Convegno, "L'informazione pedologica nella prospettiva di un servizio regionale del suolo", Milano.
- FAO, 1976. *A framework for land evaluation*. Bollettino n.32.
- FERRARO, S.G., VECCHIO, V., 1992. *Composizione, caratteristiche organolettiche e valore nutritivo della patata*. Relazione presentata al Convegno nazionale Valore della dieta mediterranea, Qualità delle produzioni, Educazione alimentare nella scuola Rovito (Cs) 29/30/31 ottobre 1990, Firenze.
- LULLI, L., COSTANTINI, E.A.C., MIRABELLA, A., GIGLIOTTI, A., BUCELLI, P., 1989. *Influenza del suolo sulla qualità della Vernaccia di San Gimignano*. Vignevini, 1/2, 53-62.
- LULLI, L., DELOGU, F., GREGORI, E., MICLAUS, N., 1980. *Cartografia di base per la programmazione degli interventi in aree marginali (area rappresentativa dell'Alta Valdera-Botro dell'Alpino e Renaglio). II memorie illustrative della carta dei suoli: Carta dei suoli; Attitudine dei suoli alla produzione del frumento duro; Attitudine dei suoli alle colture legnose*. Annali Istituto Sperimentale per lo Studio e la Difesa del Suolo, XI, Firenze.
- LULLI, L., LORENZONI, P., ARRETINI, A., 1980. *Esempi di cartografia tematica e di cartografia derivata (Sezione Lucignano, Foglio Firenze). La carta dei suoli, la loro capacità d'uso, l'attitudine dei suoli all'olivo e al Sangiovese. Messa a punto di metodologie di rilevamento e di rappresentazione*. Istituto Sperimentale per lo studio e la difesa del suolo - C.N.R., Progetto Finalizzato Conservazione Suolo, Pubblicazione 56, Firenze.

- LULLI, L., VECCHIO, G., 2000. *I suoli della tavoletta "Lago Cecita" nella Sila Grande in Calabria. La geomorfologia e l'idoneità alla produzione di tubero seme*. Monografia ISSDS, sez. Tecnologia. Progetto PANDA, sottoprogramma 2, Serie 1, n.150.
- MANRIQUE, L.A., 1982. *Development of a land suitability classification for potatoes (Solanum tuberosum)*. Ph.D. Diss. Dep. of Agronomy and Soil Science University of Hawaii, Univ. Microfilms Ann Arbor, MI.
- MANRIQUE, L.A., UEHARA, G., 1984. *A Proposed Land Suitability Classification for Potato: I.Methodology; II.Experimental*. Soil Sci. Soc. Am. J., 48, 843-847.
- VECCHIO, V., CASINI, P., 1989. *Patata da seme: effetto della concimazione sui caratteri vegetativi e produttivi*. Verona.
- VECCHIO, V., CASINI, P., FERRARO, S.G., 1991. *Impiego di microtuberi di patata nel sistema di produzione del tubero-seme*. Verona.
- VECCHIO, V., CASINI, P., PAESE, F., 1992. *Evaluation of NPK application for potato seed-tuber production in Southern Italy*. Abstract of the 11th Triennial Conference of the European Association for Potato Research (EAPR) Edinburgh, UK, 8-13th July 1990, Firenze.
- VECCHIO, G., LULLI, L., PAESE, F., BRAGATO, G., ARAMINI, G., 2000. *Attitudine dei suoli alla coltivazione della patata da seme in Sila Grande - Calabria*. In: *I suoli della tavoletta Lago di Cecita*, Monografia, Progetto PANDA, sottoprogramma 2, Serie 1, n.150.

Ministero delle Politiche Agricole, Alimentari e Forestali
Osservatorio Nazionale Pedologico e per la Qualità del Suolo Agricolo e Forestale

In collaborazione con:
International Union of Soil Sciences
Società Italiana della Scienza del Suolo
Commissione VI - Uso e Conservazione del Suolo

CASTELLI, F., COSTANTINI, E.A.C., 2006. *Tabacco*. In: Costantini, E.A.C. (Ed.),
Metodi di valutazione dei suoli e delle terre, Cantagalli, Siena, pp. 922.

Collana dei metodi analitici per l'agricoltura diretta da Paolo Sequi, vol. 7

CRA - Consiglio per la Ricerca e la Sperimentazione in Agricoltura
Istituto Sperimentale per lo Studio e la Difesa del Suolo, Firenze

16. Tabacco

Fabio Castelli¹, Edoardo A.C. Costantini²

16.1. Caratteristiche	2
16.2. Tecnica colturale	4
16.2.1. Semenzaio	4
16.2.2. Avvicendamento	4
16.2.3. Preparazione del terreno	5
16.2.4. Trapianto.....	5
16.2.5. Cimatura	5
16.2.6. Raccolta e cura	6
16.3. Requisiti colturali	6
16.3.1. Clima.....	6
16.3.2. Suolo	7
16.3.3. Esigenze idriche.....	8
16.3.4. Elementi nutritivi.....	9
16.4. Attitudine delle terre alla coltivazione del tabacco.....	11
16.5. Caratteri funzionali dei suoli e tabelle di valutazione.....	12
Bibliografia	15

16.1. Caratteristiche

Nel tabacco, il prodotto commerciale è rappresentato dalle foglie. La foglia è probabilmente l'organo più dinamico della pianta. Proprio per questo, la quantità e specialmente la qualità del prodotto finale risentono fortemente delle condizioni in cui la pianta stessa cresce e si sviluppa. Purtroppo, le condizioni migliori per la quantità spesso non lo sono altrettanto per la qualità (Papenfus e Quin, 1984).

I diversi tipi di tabacco sono divisi in gruppi varietali (*flue cured*, *light* e *dark air cured*, *fire cured* e *sun cured*) che si contraddistinguono per le

¹ CRA - Istituto Sperimentale per il Tabacco, Bovolone (VR)

² CRA - Istituto Sperimentale per lo Studio e la Difesa del Suolo, Firenze

caratteristiche ed esigenze pedoclimatiche proprie di ciascuna varietà e per la diversa tecnica d'essiccazione o cura a cui le foglie devono essere sottoposte per ottenere un prodotto commercialmente accettabile e conservabile (tabella 16.1).

Tabella 16.1. Classificazione UE delle varietà di tabacco in gruppi varietali in base al metodo di cura ed esigenze pedoclimatiche (Regolamento (CEE) n. 2075/92; Davis e Nielsen, 1999).

Gruppo UE	Tipo	Metodo di cura	Varietà	Esigenze pedoclimatiche
I	Flue cured	Tabacchi chiari essiccati in forni, con circolazione d'aria, temperatura e grado igrometrico sotto controllo	Virginia, Virgin D e ibridi derivati, Bright	Terreni da franco sabbiosi a sabbioso franchi, poveri; temperatura e umidità dell'aria mediamente elevate
II	Light air cured	Tabacchi chiari essiccati all'aria, al coperto, senza lasciarli fermentare	Burley, Badischer Burley e ibridi derivati, Maryland	Terreni da franco limosi (Burley) a franco sabbioso fini (Maryland), fertilità medio alta; temperatura media e umidità elevata
III	Dark air cured	Tabacchi scuri essiccati all'aria, al coperto, e lasciati fermentare naturalmente prima di essere commercializzati	Badischer Geudertheimer, Pereg, Corso, Paraguay e ibridi derivati, Dragon vert e ibridi derivati, Philippin, Petit Grammont (Flobecq), Semois, Appel terre, Nijkerk, Misionero e ibridi derivati, Rio Grande e ibridi derivati, Forchheimer Havanna IIc, Nostrano del Brenta, Resistente 142, Godano, Ibridi di Geudertheimer, Beneventano, Brasile Selvaggio e varietà simili, Burley fermentato, Havana	Terreni da franco argillosi a franco limosi, fertilità medio alta; temperatura media e umidità elevata
IV	Fire cured	Tabacchi scuri essiccati a fuoco diretto	Kentucky e ibridi derivati, Moro di Cori, Salento	Terreni da franco argillosi a franco limosi e franco sabbiosi, fertilità medio alta; temperatura media e umidità elevata
V	Sun cured	Tabacchi essiccati al sole, orientali o levantini	Xanti-Yakà, Perustitza, Samsun, Erzegovina e varietà simili, Myrodata Smyrna, Trapezous e Phi 1, Kaba Koulak non classico, Tsebelja, Mavra	Terreni argilloso sabbiosi, poco profondi, poveri, privi di sostanza organica; temperatura elevata, clima secco

Il gruppo *flue cured* è rappresentato dal Bright di tipo cimato. Ai *light air cured* appartengono il Burley (di tipo neutro nell'Italia meridionale e aromatico o americano altrove) e, in misura molto minore, il Maryland. Il Burley aromatico e il Maryland prevedono la cimatura, mentre nel caso del Burley neutro l'infiorescenza non viene rimossa.

Tra i *dark air cured* vi sono il Badischer Geudertheimer, il Forchheimer Havanna IIc e il Paraguay. Pur occupando ancora una superficie consistente, nell'insieme è un gruppo in declino per la sempre minore richiesta di tabacchi scuri da parte del mercato.

Tra i *fire cured* troviamo esclusivamente il Kentucky, che attualmente gode di una significativa ripresa per l'accresciuto consumo di sigari di tipo Toscano.

I tabacchi *sun cured*, detti anche orientali o levantini, sono utilizzati sempre meno nella produzione di sigarette a causa della minore richiesta da parte del mercato e di uno scadimento qualitativo complessivo. Le varietà tradizionalmente coltivate sono Erzegovina, Perustitza e Xanti-Yakà.

In Italia i tabacchi più importanti, sia per diffusione, sia per rilevanza economica, sono il Bright per i *flue cured* (Umbria e Veneto), il Burley per gli *air cured* (Campania) e il Kentucky per i *fire cured* (Campania e Toscana).

16.2. Tecnica colturale

16.2.1. Semenzaio

Considerate le particolari esigenze climatiche e le dimensioni minute, il seme di tabacco è posto in vassoi di polistirolo (sistema *float-system*), verso la fine del mese di febbraio, su un substrato mantenuto umido e in condizioni di temperatura elevata. La piantina è pronta per il trapianto quando ha raggiunto lo stadio di 7-8 foglie vere.

16.2.2. Avvicendamento

L'alto reddito ottenibile con il tabacco, l'elevata specializzazione delle aziende tabacchicole e la limitata disponibilità di suoli vocati, hanno portato ad un loro intenso sfruttamento. Largamente dominante è la pratica di coltivare il tabacco in modo continuativo per tre anni, interrompendo la monosuccessione al quarto anno con un cereale autunno-vernino (frumento o orzo). Interruzioni così brevi non sembrano in grado di contenere il fenomeno della "stanchezza del terreno" e, specialmente nel caso del Bright, di limitare l'infestazione di parassiti, quali i nematodi terricoli, favoriti dalle condizioni d'elevata permeabilità dei terreni più idonei. Nel caso del Bright o degli orientali, occorre evitare in ogni caso di far seguire il tabacco a colture che possono rilasciare grandi quantità d'azoto come, ad esempio, medicai o prati, mentre per gli altri tipi ciò non rappresenta un inconveniente.

16.2.3. Preparazione del terreno

La preparazione del terreno in pieno campo consiste in un'aratura poco profonda, finalizzata principalmente all'eventuale interrimento del letame, seguita da lavorazioni d'affinamento (erpatura). La ripuntatura può essere utile quando si hanno problemi di ristagno dovuti alla presenza di uno strato compatto, come accade frequentemente nei suoli franco sabbiosi fini. La fumigazione è una pratica corrente, anche se costosa e di notevole impatto ambientale, nei terreni più vocati destinati alla coltivazione del tabacco *flue cured* dove, per l'alto contenuto di sabbia e per l'insufficiente rotazione, sono presenti più facilmente i nematodi galligeni. Il terreno viene successivamente arieggiato mediante leggere arature ed erpature per eliminare il prodotto disinfestante residuo (altamente fitotossico), interrare i concimi minerali, preparare il terreno al diserbo pre-trapianto e garantire un adeguato letto per il trapianto.

16.2.4. Trapianto

Il trapianto comincia a fine aprile ed è completato entro la prima metà di maggio. La messa a dimora delle piantine, in piano o più spesso su colmo per evitare o ridurre i danni per eccesso idrico, è realizzata di solito con l'ausilio di macchine trapiantatrici. Le distanze di trapianto, e quindi il numero di piante ad ettaro, dipendono dal gruppo varietale, dalla varietà, dall'epoca di trapianto, dalla fertilità del suolo e dal livello di meccanizzazione. Dopo un periodo di latenza di 2-3 settimane, durante il quale, in condizioni favorevoli, si sviluppano nuove radici, ricomincia l'emissione di nuove foglie. L'apparato radicale si sviluppa rapidamente, influenzato dalla temperatura e dall'umidità del terreno, raggiungendo una profondità di circa 40 cm nelle prime 5 settimane e arrivando fino a 90 cm al termine del ciclo colturale. La massima superficie fogliare è raggiunta in circa 3 settimane. L'allungamento del fusto termina con la comparsa dell'infiorescenza al centro delle ultime foglie apicali.

16.2.5. Cimatura

In alcuni tipi di tabacco (Bright, Burley aromatico, Maryland e Kentucky) all'inizio della fioritura si procede all'asportazione dell'infiorescenza. La rimozione degli organi riproduttivi e delle foglie immediatamente sottostanti porta ad un accrescimento delle dimensioni e del peso delle foglie, aumenta le rese unitarie, stimola lo sviluppo di nuove radici e migliora la qualità del tabacco in quanto induce un incremento del contenuto in nicotina e di altri costituenti chimici aromatici, stimola lo sviluppo di nuove radici. La cimatura disattiva la dominanza apicale e induce la rapida emissione di germogli ascellari,

il cui sviluppo viene contenuto mediante l'applicazione di prodotti antigerminoglianți.

16.2.6. Raccolta e cura

Nella generalità dei casi, la raccolta avviene scalarmente, mano a mano che le foglie maturano. Comincia poco dopo la cimatura, ad iniziare dalle foglie più basse, e si completa in 3-4 passaggi, di solito entro settembre. Un'altra tecnica di raccolta, utilizzata in particolare per il Burley tipico e per il Maryland, prevede la raccolta, e quindi anche la successiva cura, a pianta intera. Una terza alternativa prevede di raccogliere a foglia solo la corona inferiore e il resto a pianta (raccolta mista). Appena raccolte, le foglie sono sottoposte alla cura durante la quale, oltre ad essiccare, il tabacco subisce inizialmente numerosi processi biochimici (degradazione a carico di clorofilla, proteine e polisaccaridi, cambiamento del colore e parziale perdita di sostanza secca). Il prodotto finale è rappresentato dalle foglie raccolte e curate, confezionate e pressate in balle o in cartoni. Il valore d'ogni singola partita è valutato mediante la perizia, che consiste nello stimarne la composizione qualitativa e il valore commerciale. Il tabacco è utilizzato principalmente come prodotto da fumo e solo in minima parte come prodotto da mastico o da fiuto. Per quanto riguarda i prodotti da fumo, quasi il 99% è rappresentato dalle sigarette, con un netto calo dei tabacchi per pipa e una significativa ripresa, negli ultimi anni, di sigari e sigaretti.

16.3. Requisiti colturali

16.3.1. Clima

La pianta di tabacco richiede condizioni climatiche che permettono un rapido e ininterrotto sviluppo della pianta. È molto sensibile sia sotto l'aspetto quantitativo sia qualitativo alle fluttuazioni, anche relativamente modeste, delle condizioni ambientali e del livello nutritivo. In generale, predilige temperature ad andamento regolare, piuttosto alte, con umidità dell'aria elevata (> 75%), specialmente durante la maturazione delle foglie (Papenfus e Quin, 1984), eccetto il *sun cured*, che necessita di un clima secco.

Cresce quasi ovunque (il limite di coltivazione si estende tra il 60° parallelo Nord e il 50° Sud) purché la stagione colturale sia libera da gelate per almeno 120-140 giorni, a seconda del tipo di tabacco (Davis e Nielsen, 1999). Nelle giovani piantine, la temperatura influenza sensibilmente il passaggio dell'apice dalla fase vegetativa (produzione di foglie) a quella riproduttiva (formazione dell'infiorescenza). Le variazioni repentine di temperatura, invece, portano ad una fioritura precoce, grave inconveniente che pregiudica fortemente i risultati

produttivi (Papenfus e Quin, 1984). La temperatura ottima per un buon accrescimento è approssimativamente di 27°C: sotto i 15°C lo sviluppo è molto lento, mentre sono dannose temperature superiori a 35°C (Jacks, 1936). Sopporta bene la siccità, a condizione che non si prolunghi troppo. In generale, una piovosità insufficiente è da preferire ad una piovosità eccessiva. In primavera, piogge frequenti rendono difficili la sterilizzazione e la preparazione del terreno per il trapianto, mentre precipitazioni intense e ripetute tra la fine di maggio e primi di giugno, accompagnate da fenomeni di ristagno e da consistenti abbassamenti di temperatura, possono influire negativamente sui risultati produttivi. Nelle condizioni climatiche italiane, dove le precipitazioni estive sono solitamente limitate e concentrate in pochi eventi e l'evapotraspirazione nei mesi più caldi può superare i 7-8 mm al giorno, il tabacco, ad eccezione dei tipi *sun cured*, che dovrebbero essere coltivati in asciutta, deve essere frequentemente irrigato, con turni che in luglio e agosto possono essere di soli 5-6 giorni. Il fabbisogno idrico stagionale del Bright negli ambienti della Pianura Padana è stimabile tra i 400 e i 700 mm (Castelli et al., 1991). Il forte vento rappresenta un notevole inconveniente perché può causare lo scalzamento delle piante, danni da freddo o forte disidratazione nelle giovani piantine. Altro grave problema è la grandine, con danni che possono arrivare alla totale perdita del prodotto.

16.3.2. Suolo

Il suolo può influire fortemente sulle caratteristiche del tabacco come, ad esempio, le dimensioni, la tessitura e il colore delle foglie. I terreni di colore chiaro, con basso contenuto di sostanza organica e di nutrienti (in particolare azoto), sono generalmente ritenuti adatti per i tabacchi chiari, mentre quelli di colore scuro sono adatti ai tabacchi scuri (Jacks, 1936). I terreni sabbiosi tendono a produrre foglie relativamente larghe, di colore chiaro, di corpo leggero, di tessuto fine, che sviluppano un aroma contenuto durante la combustione, mentre quelli più pesanti, con maggior presenza di limo e argilla, inducono la formazione di foglie piccole, di colore scuro, corpo robusto e alto contenuto in nicotina, che liberano un forte aroma durante la bruciatura (Gisquet e Hitier, 1961). In ogni caso, i suoli devono essere ben drenati e permettere così il libero movimento d'acqua e aria. Il ristagno idrico, anche se temporaneo, provoca una considerevole diminuzione di produzione (Davis e Nielsen, 1999). La pianta di tabacco è, infatti, tra le più sensibili alla mancanza d'ossigeno nel terreno e necessita di una capacità minima per l'aria del 15%. Un'indagine condotta su suoli coltivati a tabacco nel veronese ha permesso di evidenziare la forte relazione tra l'attitudine alla coltivazione del Bright, la capacità d'aria e il contenuto d'acqua disponibile (Costantini et al., 1992). Mentre la parte più superficiale del suolo ha più importanza per l'assorbimento dell'acqua e il mantenimento di un'adeguata umidità, il buon drenaggio

dipende fortemente dalle caratteristiche del sottosuolo. La profondità del suolo rappresenta un fattore limitante quando la falda permanente o strati impenetrabili dalle radici sono più superficiali di circa 100 cm. I terreni tipici per i tabacchi di tipo *flue cured* sono quelli profondi, limitatamente fertili, sabbiosi, sciolti e porosi, anche se, in assenza d'interventi irrigui, sono esposti agli effetti della siccità con conseguente minor sviluppo della pianta e ispessimento della lamina fogliare. Questi terreni inducono un maggior approfondimento dell'apparato radicale con conseguente aumento della stabilità della pianta e della capacità di sopportare brevi periodi di siccità, e consentono inoltre un facile accesso ai mezzi meccanici anche dopo piogge protratte. I terreni sabbiosi si comportano in pratica come un substrato inerte e pertanto manifestano un elevato grado di risposta agli interventi dell'agricoltore (Morgan et al., 1938). La possibilità di ottenere da questi suoli tabacco di tipo *flue cured* d'elevata qualità, nonostante la loro bassa fertilità naturale, e di apportare i nutrienti con le modalità e nelle quantità desiderate, ha portato alcuni a considerare la coltivazione del tabacco Bright come una forma di coltivazione idroponica (Akehurst, 1981). I tipi *light air cured*, *dark air cured* e *fire cured* si adattano meglio a terreni di medio impasto tendente allo sciolto e buona fertilità, ad eccezione del Maryland, che predilige terreni fertili, ma preferibilmente sabbiosi e profondi. Il *sun cured* è tradizionalmente coltivato su terreni leggeri, poveri di sostanza organica e poco profondi.

16.3.3. Esigenze idriche

Una buona disponibilità d'acqua consente il trasporto dei nutrienti, assicura un'adeguata turgidità dei tessuti e una buona espansione cellulare, con conseguente formazione di foglie poco ispessite, larghe ed estese. Queste foglie bruciano generalmente bene, hanno un colore chiaro, un più elevato potere di riempimento, un aroma poco marcato (minor contenuto in sostanze resinose e gommose), un buon contenuto in zuccheri e un tenore in nicotina relativamente leggero. Al contrario, condizioni di stress idrico prolungato riducono la produzione di foglie e ne peggiorano la qualità (foglie difficili da curare, di superficie meno estesa, più ispessite, più grossolane, di tessuto cartaceo, di colore scuro, più ricche in nicotina ma meno in zuccheri, aroma più accentuato) (Davis e Nielsen, 1999; King, 1990).

Un buon livello d'umidità nel terreno al momento del trapianto crea un ambiente ospitale per l'apparato radicale, perciò una contenuta irrigazione permette una maggior sopravvivenza delle giovani piantine (King, 1990). Durante la successiva fase di attecchimento, fino a circa 4-6 settimane dal trapianto, il fabbisogno idrico è piuttosto contenuto e, anzi, un limitato deficit idrico favorisce lo sviluppo in profondità delle radici e la pianta acquista maggiori capacità di superare eventuali successivi periodi d'insufficiente disponibilità idrica. Inoltre, un limitato stress idrico in questa fase provoca

piccole modifiche chimiche e strutturali all'interno delle foglie che inducono un miglioramento qualitativo delle stesse, senza tuttavia interferire negativamente sulla quantità di prodotto ottenibile (Papenfus e Quin, 1984).

Nella successiva fase di rapido e intenso sviluppo fogliare, la coltura esige frequenti irrigazioni. Un eventuale stress idrico prolungato riduce la produzione di foglie, ne peggiora la qualità, può provocare un forte ritardo nei processi di senescenza e impedire l'assorbimento e la mobilità dell'azoto tra le foglie. Nell'ultimo periodo, durante il quale le foglie mano a mano che maturano sono raccolte, il fabbisogno d'acqua è più contenuto, sia perché con le raccolte la superficie traspirante si riduce, sia per la minore conducibilità stomatica delle foglie senescenti.

Quando invece il contenuto d'acqua del terreno eccede il fabbisogno, si possono avere numerosi inconvenienti, quali il dilavamento dei nitrati, che sono rapidamente trasportati al disotto del limite di sviluppo dell'apparato radicale, e uno stato di sofferenza complessivo della pianta. Nei casi più gravi, vale a dire in presenza di ristagno idrico, l'apparato radicale viene a trovarsi in condizioni d'anaerobiosi e perde così gran parte delle proprie funzionalità, tra cui la capacità di assorbire acqua, mentre alcuni microrganismi possono distruggere le radici e occludere lo xilema a livello del colletto (Davis e Nielsen, 1999). Se ciò avviene all'inizio della fase di rapida crescita, le piante appaiono appassite, senza vigore, con perdite di produzione che, quando il fenomeno persiste per più di 48 ore, possono arrivare al 40%. Quando l'inconveniente occorre durante la fase di maturazione e raccolta delle foglie, i danni sono più contenuti e si assiste, in genere, ad un'accelerazione dei fenomeni di senescenza (King, 1990).

16.3.4. Elementi nutritivi

L'azoto rappresenta l'elemento chiave della nutrizione del tabacco. Adeguali apporti azotati consentono di ottenere una quantità remunerativa di prodotto e, nello stesso tempo, di garantire buoni standard qualitativi. Un'elevata disponibilità nella prima fase di sviluppo della pianta permette un rapido accumulo di sostanza secca e una buona espansione fogliare. Una quantità insufficiente causa, invece, uno sviluppo stentato della pianta, una diminuzione della dimensione delle foglie che assumono, ad iniziare dalle posizioni più basse, una colorazione pallida (McCants e Woltz, 1967). Dopo la cura, il tessuto appare scadente, con basso contenuto di nicotina e scarso aroma. Condizioni di carenza possono determinarsi per un'insufficiente concimazione accompagnata da forti piogge o da apporti irrigui troppo elevati. Specialmente nel caso dei tipi *flue cured*, al termine della prima fase l'azoto a disposizione della pianta deve ridursi rapidamente in quanto, se in eccesso, può indurre un peggioramento della qualità (ritardo di maturazione, ispessimento delle foglie, colore eccessivamente carico, diminuzione della combustibilità, fumo di sapore

pungente) (McCants e Woltz, 1967), un aumento dei costi di produzione (più interventi per il controllo dei germogli ascellari, maggior consumo di combustibile per l'allungamento dei tempi di cura) e un accumulo di nitrati nelle foglie, oltre a generare fenomeni d'inquinamento delle acque superficiali e profonde. Indicativamente, una coltivazione di tabacco ben sviluppata asporta dal terreno tra i 60 e i 100 kg ha⁻¹ d'azoto. Questa quantità, per le ragioni sopra esposte e specie nei tabacchi *flue cured*, non sempre è fornita interamente attraverso le concimazioni, anche in considerazione della dotazione organica naturale di molti terreni, che in seguito a mineralizzazione può rendere disponibile una grande quantità di azoto in forma nitrica.

Il fosforo, anche se assorbito in quantità più contenute rispetto all'azoto (12-20 kg ha⁻¹), deve essere prontamente disponibile nella prima parte del ciclo colturale in quanto un'eventuale insufficienza in questa fase causa nelle foglie una limitata espansione cellulare, una colorazione eccessivamente intensa, la formazione di macchie necrotiche nelle foglie inferiori e uno sviluppo e una maturazione stentati e ritardati, con conseguente scadimento della qualità delle foglie curate e della produzione. In seguito, lo sviluppo dell'apparato radicale e la conseguente esplorazione da parte delle radici di un maggior volume di terreno, escludono fenomeni di carenza. La dose di fosforo non supera in generale gli 80-100 kg ha⁻¹ distribuiti in pre-trapianto, preferibilmente localizzato e non troppo profondo (McCants e Woltz, 1967). Occorre considerare che, nelle zone tradizionali di coltivazione, le ripetute e abbondanti applicazioni di quest'elemento, a fronte di asportazioni limitate e perdite per lisciviazione ridotte o assenti, hanno portato ad un suo generale incremento nel terreno che, normalmente, risulta perciò più che sufficientemente dotato. Tuttavia, in considerazione del fatto che l'assorbimento del fosforo, piuttosto costante durante tutto il ciclo colturale, ma particolarmente importante nella prima fase di sviluppo delle giovani piantine, è fortemente limitato dalle basse temperature del terreno e da pH diversi dalla neutralità, l'effetto positivo della concimazione è comunque significativo (McCants e Woltz, 1967).

L'elevato contenuto di potassio nelle foglie curate, variabile tra 1,5 e 8%, è considerato come parametro di buona qualità e, infatti, è universalmente apportato al tabacco in tutte le aree di produzione (McCants e Woltz, 1967). È l'elemento assorbito in maggiore quantità dalla pianta di tabacco (110-140 kg ha⁻¹) (Papenfus e Quin, 1984) e il suo consumo cresce linearmente con la disponibilità nel suolo, fino a valori che possono raggiungere i 250 kg ha⁻¹.

L'azoto sotto forma ammoniacale e alti livelli di magnesio, calcio e zolfo possono interferire negativamente sul suo assorbimento. L'entità della concimazione dipende solo in parte dalla dotazione del terreno e dalla quantità realmente asportata dalla pianta, a causa dell'effetto benefico sulle qualità del prodotto finale che è riconosciuto a quest'elemento, quali la maggior combustibilità, elasticità e intensità del colore (McCants e Woltz, 1967). Si possono raggiungere i 200 kg ha⁻¹ distribuiti in buona parte in pre-trapianto e il resto in copertura.

Anche il calcio è assorbito in grandi quantità (1,5-2,0% del peso fogliare) e in valore assoluto si colloca subito dopo il potassio. Tuttavia, in considerazione della larga disponibilità nei nostri terreni e degli apporti indiretti con i concimi fosfatici, i fenomeni di carenza sono estremamente rari, se non del tutto assenti, e possono manifestarsi solo nei terreni particolarmente sabbiosi e acidi (McCants e Woltz, 1967).

Scarsamente deficitario nei nostri terreni, il magnesio è solo in rari casi disponibile in quantità insufficiente per le esigenze della pianta di tabacco (terreni molto sabbiosi, piogge particolarmente intense), mentre il limitato assorbimento è dovuto all'antagonismo con altri ioni (terreni molto ricchi di calcio, eccessive concimazioni potassiche). In quest'ultimo caso, ad esempio, è stato dimostrato che quando il rapporto fra potassio e magnesio è superiore a 8, possono apparire sintomi d'insufficienza. Se in eccesso, può, invece, influire negativamente sulla combustibilità (McCants e Woltz, 1967).

Tra i microelementi, un ruolo importante è svolto dal cloro, in quanto ha effetti positivi se presente in piccole quantità e, al contrario, riduce fortemente la combustibilità del tabacco curato quando in eccesso, forse perché provoca un aumento del contenuto in acqua dei tessuti fogliari. Questo inconveniente può insorgere nei terreni salini o quando s'impiegano acque salmastre per irrigare, allorché la salinità è dovuta alla presenza di sodio cloruro. I fenomeni di carenza sono molto rari (il cloro è sufficientemente presente nel terreno e in ogni caso è apportato come prodotto secondario con le normali concimazioni), mentre si osservano effetti negativi per eccesso quando s'impiegano concimi (ad esempio, il potassio cloruro) ricchi in quest'elemento (McCants e Woltz, 1967).

L'insufficiente disponibilità di boro, in normali condizioni di coltivazione, è assai rara. Si può occasionalmente verificare in terreni grossolani e sabbiosi a reazione alcalina, e in conseguenza di forti piogge, specie nella fase di maggior accrescimento (McCants e Woltz, 1967).

Lo zolfo è assorbito in quantità modeste ed è raro assistere a sintomi per deficienza. Ciò può avvenire in terreni profondi e grossolani, poveri di sostanza organica, con scarsa disponibilità idrica e in assenza di concimazioni (Reich, 1985).

Il manganese è assorbito in quantità relativamente alte, tanto che si può parlare di un consumo di lusso. Situazioni di carenza sono alquanto rare nei nostri terreni, mentre la tossicità da manganese si può verificare quando il tabacco è coltivato in terreni acidi (McCants e Woltz, 1967).

16.4. Attitudine delle terre alla coltivazione del tabacco

Le caratteristiche del clima e del suolo, le condizioni idriche e le esigenze nutritive, concorrono a definire l'attitudine di un dato ambiente alla coltivazione del tabacco. Alcune di queste esigenze sono comuni ai diversi tipi

di tabacco coltivati in Italia. Per quanto riguarda il suolo, in particolare, elementi essenziali sono la falda freatica profonda, l'assenza di suola d'aratura e di fenomeni di ristagno idrico, una capacità d'aria elevata (vale a dire una macroporosità tessiturale o strutturale elevata) e un contenuto in sostanza organica modesto o esiguo; tra i requisiti climatici, una temperatura dell'aria costante e regolare durante tutto il ciclo colturale è considerata condizione necessaria per un buon sviluppo della coltura. Altrettanto importante è la disponibilità idrica che, non essendo soddisfatta nei nostri ambienti di coltivazione dagli apporti meteorici, va sempre assicurata tramite irrigazione. Per questo motivo il tabacco, ad eccezione del tipo *sun cured*, è coltivabile solo dove vi sono disponibilità irrigue sufficienti e continue (tabella 16.2). Altre caratteristiche (tessitura, fertilità del suolo, temperatura, umidità dell'aria), pur all'interno di un intervallo relativamente ristretto, possono differire sensibilmente tra i vari gruppi varietali.

Tabella 16.2. Requisiti per la coltivazione del tabacco.

REQUISITI	CONDIZIONI
<i>Climatici</i>	
Temperatura dell'aria	da media a elevata
Umidità dell'aria	da bassa a elevata
<i>Colturali</i>	
Tessitura	da sabbiosa a franco argillosa
Disponibilità d'ossigeno	elevata e costante
Disponibilità idrica	da bassa a media
Profondità del suolo (falda idrica, orizzonti impenetrabili dalle radici)	elevata
Accrescimento radicale	rapido
Disponibilità di nutrienti	da bassa a medio alta
Torba	assente
Salinità del suolo	bassa
Reazione del suolo	da neutra a moderatamente alcalina
<i>Gestionali</i>	
Traffocabilità	tempestiva
Lavorabilità e meccanizzazione	facile

16.5. Caratteri funzionali dei suoli e tabelle di valutazione

L'unica esperienza di valutazione delle terre per l'attitudine alla coltivazione del tabacco realizzata in Italia, di cui si è a conoscenza, è quella realizzata da

Costantini et al. (1992) nel comprensorio veronese di coltivazione del *flue cured*. In questa ricerca, i dati di nove anni di rese produttive di tabacco curato in 49 appezzamenti appartenenti a sette diverse aziende agricole, per un totale di 151 osservazioni, sono stati elaborati e messi in relazione con le caratteristiche di nove suoli interessati dalla coltivazione. I caratteri funzionali e le tabelle di valutazione 16.3, 16.4, 16.5 e 16.6 che vengono di seguito proposti, provengono da questo studio. L'elevata macroporosità del suolo sembra essere il fattore principale per il successo produttivo della coltura. L'indagine ha evidenziato, infatti, una relazione lineare molto significativa tra capacità d'aria e la produzione di tabacco. Nel tabacco *flue cured*, molto sensibile alla carenza d'ossigeno, i suoli dove si sono realizzati i migliori risultati sono stati quelli con capacità d'aria superiore al 30%. Risultati intermedi sono stati conseguiti con valori tra il 20 e il 30%, mentre scarsi sono stati quelli ottenuti in suoli con capacità d'aria inferiore al 20% (Costantini et al., 1992). Sempre nel caso del *flue cured*, i suoli con maggiore acqua disponibile si sono dimostrati quelli a minore attitudine produttiva (tabella 16.3). L'alta capacità d'aria soddisfa i due principali requisiti per la coltivazione del tabacco *flue cured*: l'elevata e costante disponibilità d'ossigeno (requisito colturale) e la tempestiva trafficabilità (requisito gestionale). La trafficabilità delle superfici assume un ruolo determinante per operare con frequenti e solleciti interventi colturali. I suoli, infatti, devono drenare rapidamente ed avere una buona portanza, in modo da consentire l'accesso ai mezzi meccanici anche dopo una pioggia. Devono anche avere una quantità limitata di ghiaia e pietre (pietrosità), perché sono di grave ostacolo alle macchine operatrici, in modo particolare durante le operazioni di trapianto.

Tabella 16.3. Capacità d'aria e acqua disponibile (% volume). Medie ponderate per l'intero profilo di suoli a diversa attitudine alla coltivazione del tabacco *flue cured* nel veronese.

Classe d'attitudine	Capacità d'aria	Acqua disponibile
Elevata (S1)	34,9	5,0
Moderata (S2)	26,3	8,8
Modesta (S3)	26,0	9,1
Bassa (N)	16,9	13,0

Dal punto di vista delle caratteristiche fisiche, quindi, il suolo ideale è quello che assicura una perfetta trafficabilità, un'ottima ossigenazione, un rapido drenaggio e un profondo radicamento. Quest'ultimo è favorito da una modesta quantità d'acqua disponibile specifica, di modo che le radici, in primavera, all'inizio della coltivazione in pieno campo, sono indotte ad esplorare un elevato volume di suolo per assicurare alla pianta il necessario approvvigionamento idrico (tabella 16.4). Sono stati considerati, inoltre, la profondità del suolo e la presenza di torba, per le loro forti implicazioni sulla coltivazione del tabacco.

Le dotazioni in elementi nutritivi dei suoli del comprensorio oggetto d'indagine non sono state inserite tra i caratteri funzionali perché non è stato possibile metterle in relazione né con i livelli produttivi della coltura, né con il tipo di suolo. Si è potuto comunque constatare che le esigenze nutritive della coltura sono generalmente soddisfatte con le normali concimazioni effettuate dagli agricoltori. Per la valutazione di singoli appezzamenti valgono le indicazioni fornite nel paragrafo 16.3.4 sugli elementi nutritivi.

Per valutare l'attitudine delle terre alla coltivazione del tabacco, sono stati dunque considerati i caratteri funzionali, essenzialmente di carattere fisico, che si sono dimostrati particolarmente importanti per la coltivazione e la resa del tabacco, e che hanno evidenziato una variabilità spaziale tale da poter essere descritta tramite una cartografia pedologica di semidettaglio (scala 1:25.000).

Tabella 16.4. Classi dei caratteri del suolo (primi 90 cm circa) funzionali per la coltivazione del tabacco *flue cured* nel comprensorio veronese.

Caratteri funzionali	Classi
Capacità d'aria (% vol.)	a0 alta > 30
	a1 moderata 20-30
	a2 bassa < 20
Pietrosità (% vol.)	p0 da assente a comune (ghiaie, ciottoli e pietre < 35%)
	p1 frequente (ghiaie, ciottoli e pietre > 35%)
Profondità *	w0 profondo o molto profondo (> 100 cm dalla superficie)
	w1 poco profondo (< 100 cm dalla superficie)
Torba	t0 assenza di torba nei primi 100 cm dalla superficie
	t1 presenza di torba nei primi 100 cm dalla superficie

* Falda idrica od orizzonti impenetrabili dalle radici.

La guida per l'attribuzione delle classi d'attitudine alla coltivazione del tabacco *flue cured* indica con la classe S1 (suoli molto adatti) i suoli che non presentano limitazioni e sui quali sono state rilevate le maggiori rese (in media oltre 3,2 t ha⁻¹) (tabella 16.5); con la classe S2 (suoli adatti), i suoli con rese medie pluriennali di tabacco curato soddisfacenti, ma significativamente inferiori alle precedenti (in media circa 2,8 t ha⁻¹); con la classe S3 (suoli marginalmente adatti) i suoli dove sono state misurate rese ancora inferiori (in media meno di 2,3 t ha⁻¹) e molto variabili a seconda dell'azienda e dell'annata. Alla classe N appartengono i suoli normalmente esclusi dalla coltivazione del tabacco (tabella 16.6).

Tabella 16.5. Rese medie del tabacco *flue cured* per classe d'attitudine.

Classe d'attitudine	Categoria produttiva	Resa media (t ha ⁻¹)	P < 0,05 (*)	P < 0,001 (*)	Errore standard	Coefficiente di variazione (%)
S1	Molto elevata	3,2	a	A	140	21,4
	Elevata	3,0	ab	AB	241	24,2
S2	Discreta	2,6	abc	AB	117	14,1
	Moderata	2,4	bc	AB	179	25,7
S2	Modesta	2,3	c	B	61	26,6

* Le medie con lettere diverse differiscono significativamente alla probabilità indicata.

Tabella 16.6. Guida per l'attribuzione delle classi d'attitudine dei suoli alla coltivazione del tabacco *flue cured* nel comprensorio veronese.

CARATTERI FUNZIONALI	CLASSI			
	S1	S2	S3	N
	molto adatti	adatti	marginalmente adatti	non adatti
Capacità d'aria	a0	a1	a2	-
Pietrosità	p0	p0	p1	-
Profondità	w0	w0	w0	w1
Torba	t0	t0	t0	t1

Bibliografia

- AKEHURST, B.C., 1981. *Tabacco. Second edition*. Tropical Agriculture Series, Longman, London and New York.
- CASTELLI, F., CEOTTO, E., DONATELLI, M., 1991. *Consumi idrici del tabacco di tipo Virginia Bright: un quadriennio di prove nella Bassa Pianura Padana*. L'Inf. Agrario, 25, 63-67.
- COSTANTINI, E.A.C., CASTELLI, F., CASTALDINI, D., RODOLFI, G., NAPOLI, R., PANINI, T., BRAGATO, G., PELLEGRINI, S., ARCARA, P.G., CHERUBINI, P., SPALLACCI, P., BIDINI, D., SIMONCINI, S., 1992. *Valutazione del territorio per la produzione di tabacco di tipo Virginia Bright: uno studio interdisciplinare nel comprensorio veronese (Italia settentrionale)*. Supp. Annali ISSDS, vol. XX.
- DAVIS, D.L., NIELSEN, M.T., 1999. *Tobacco: production, chemistry and technology*. Blackwell Pub., Oxford, UK.
- GISQUET, P., HITIER, H., 1961. *La production du tabac*. J.-B. Baillière et Fils, Paris.

- JACKS, G.V., 1936. *Tobacco*. In: Tropical soils in relation to tropical crops. Imperial Bureau of Soil Science, Technical communication, 34, 41-46.
- KING, M.J., 1990. *Tobacco*. In: Irrigation of agricultural crops. Agronomy monograph 30, ASA-CSSA-SSSA, Madison, WI, USA, 811-833.
- MCCANTS, C.D., WOLTZ, W.G., 1967. *Growth and mineral nutrition of tobacco*. Advances in Agronomy, vol.19, Academic Press, New York and London, 211-265.
- MORGAN, M.F., GOURLEY, J.H., ABLEITER, J.K., 1938. *The soil requirements of economic plants*. Soils & Men, Yearbook of Agriculture, USDA, 753-776.
- PAPENFUS, H.D., QUIN, F.M., 1984. *Tobacco*. In: The physiology of tropical food crops. John Wiley & Sons, New York, 607-636.
- REICH, R.C., 1985. *Flue-cured tobacco field manual*. Reynolds Tob. Company, Winston-Salem, NC, USA.

Ministero delle Politiche Agricole, Alimentari e Forestali
Osservatorio Nazionale Pedologico e per la Qualità del Suolo Agricolo e Forestale

In collaborazione con:
International Union of Soil Sciences
Società Italiana della Scienza del Suolo
Commissione VI - Uso e Conservazione del Suolo

MICELI, F., BARBIERI, S., 2006. *Soia*. In: Costantini, E.A.C. (Ed.), *Metodi di valutazione dei suoli e delle terre*, Cantagalli, Siena, pp. 922.

Collana dei metodi analitici per l'agricoltura diretta da Paolo Sequi, vol. 7

CRA - Consiglio per la Ricerca e la Sperimentazione in Agricoltura
Istituto Sperimentale per lo Studio e la Difesa del Suolo, Firenze

17. Soia

Fabiano Miceli¹, Stefano Barbieri¹

17.1. Caratteristiche	2
17.2. Tecnica colturale	4
17.2.1 Avvicendamento	4
17.2.2 Lavorazioni e preparazione del terreno	4
17.2.3. Inoculazione	5
17.2.4. Semina.....	6
17.2.5. Gestione delle malerbe	6
17.2.6. Fabbisogni idrici.....	7
17.3. Requisiti colturali	8
17.3.1. Clima.....	8
17.3.2. Suolo	9
17.3.3. Elementi nutritivi	10
17.4. Attitudine delle terre alla coltivazione della soia	14
17.5. Caratteri funzionali dei suoli e tabelle di valutazione.....	15
Bibliografia	17

17.1. Caratteristiche

La soia (*Glycine max* L. Merr.) è una leguminosa annuale coltivata da millenni in Estremo Oriente. Forme spontanee della specie sono ancora oggi diffuse tra la Siberia meridionale e la Manciuria (Harlan, 1992). La specie fu introdotta in Europa nella seconda metà del XVIII secolo, originariamente in orti botanici. In America, il primo carico di soia giunse nel 1804 quale zavorra per bilanciare un vascello. La sua coltivazione, inizialmente per uso foraggero, fu condotta per granella dopo che il chimico Carver, nel 1904, precisò la composizione oleo-proteaginoso del seme. Attualmente, la coltura rappresenta il secondo più importante prodotto agricolo degli USA e, in generale, la produzione del

¹Università di Udine - Dipartimento di Scienze Agrarie e Ambientali

continente americano costituisce la prima fonte mondiale di soia. La composizione percentuale del seme è presentata in tabella 17.1.

Tabella 17.1. Composizione media del seme di soia e di sue parti (Cheftel et al., 1985, citato in Berk, 1992).

Parte del seme	% peso seme intero	% sulla sostanza secca			
		Proteine N x 6,25	Lipidi	Carboidrati (inclusa fibra)	Ceneri
Cotiledoni	90	43	23	43	5,0
Tegumenti	8	9	1	86	4,3
Ipocotile	2	41	11	43	4,4
Seme intero	100	40	20	35	4,9

Nel corso degli anni '80, la soia in Italia ebbe una straordinaria diffusione: dopo che in sede CEE fu introdotto il sostegno al prezzo della granella, l'ettarato crebbe da 317 ettari nel 1981 a 520.000 nel 1987. Nel contempo, all'interno del progetto "Oleaginose" del Ministero dell'Agricoltura e delle Foreste, fu messa a punto l'agrotecnica per il nostro Paese, attraverso una rete sperimentale di 18 località, per nove anni di prove (Mosca et al., 1991).

La granella prodotta in Asia, America ed Europa è largamente impiegata dall'industria della triturazione per l'estrazione dell'olio, ma le utilizzazioni sono molto più numerose (Snyder e Kwon, 1987; Berk, 1992). Dal seme integrale si ottengono, infatti, spezzati e farine per prodotti da forno, surrogato del caffè, germogli, latte di soia, shoyu (salsa di soia), tofu (formaggio di soia), tempeh e natto (soia bollita e fermentata da differenti lieviti), miso (derivato dal latte di soia) ed altri prodotti della tradizione orientale; dalla linea olio, si ricavano glicerolo, acidi grassi, steroli, olii raffinati, lecitine, agenti antischiuma, vernici, inchiostri, gomme e bagnanti; dal pannello proteico, concentrati ed isolati per usi edibili o tecnologici e farine zootecniche.

Per quanto attiene la rilevanza strategica della soia e dei suoi derivati nei flussi commerciali internazionali, l'olio non rappresenta l'elemento più importante poiché può essere facilmente rimpiazzato con quello di altre specie vegetali, mentre i pannelli e le farine proteiche rappresentano la vera componente strategica della filiera soia, essendo fondamentali componenti delle diete nei sistemi delle produzioni animali intensive.

Le varietà coltivate in America ed in Europa derivano da un ridotto numero d'accessioni d'origine cinese, introdotte agli inizi del ventesimo secolo negli USA. Le varietà sono state classificate in quindici Gruppi di maturazione (da 000 a 12), sulla base della durata del loro ciclo, in prove condotte a diverse latitudini dal nord al sud degli USA. La differente durata del ciclo delle varietà si deve alla spiccata sensibilità al fotoperiodo di questa specie (Cregan e Hartwig, 1984; Grimm et al., 1993). Per quanto riguarda l'Italia, le varietà più produttive in Pianura Padana sono riferibili, in genere, al Gruppo di maturazione I. Con semine quale coltura principale, infatti, le rese d'alcune

varietà più tardive sono simili, ma si conseguono in autunno più avanzato, con maggiori rischi per le frequenti precipitazioni. In secondo raccolto, sempre in Pianura Padana, si usano anche varietà di Gruppo 0 intermedie (0+). Nell'Italia Centro-meridionale, la scelta potrebbe essere più ampia (Gruppi II e III), ma la coltura è praticamente assente, in quanto necessita di ampio supporto irriguo, senza una valorizzazione sufficiente dei costi. Viceversa, a nord delle Alpi, diverse decine di migliaia di ettari sono seminati in coltura principale con varietà più precoci (Gruppi 00 e 0).

17.2. Tecnica colturale

17.2.1 *Avvicendamento*

La soia è coltivata in Italia da oltre vent'anni in Pianura Padana. La coltura è utile per interrompere la monosuccessione del cereale estivo (mais in Veneto e Friuli, riso o mais in Piemonte e Lombardia) e per distanziare il ritorno della bietola negli avvicendamenti delle aree emiliane in Destra Po. A favorire la diffusione della soia è l'ampiezza dell'epoca ottimale di semina, che può essere effettuata da aprile fino a tutto giugno, con contrazioni produttive non elevate. La flessibilità gestionale che ne deriva è apprezzata nelle aziende di maggiori dimensioni. Colture di secondo raccolto dopo un cereale vernino sono diffuse nelle aziende irrigue o nelle aree con precipitazioni estive abbastanza frequenti. Un recente problema nei seminativi del Nord Italia è la diabrotica (*Diabrotica virgifera virgifera*), coleottero crisomelide di origine americana che causa gravi danni agli apparati radicali del mais e richiede l'interruzione della monosuccessione. Comparsa in Europa nel 1992 ed in Italia nel 1998 (Furlan et al., 1998), nonostante i programmi di lotta obbligatoria condotti in Lombardia, Veneto e Friuli, purtroppo ad oggi la sua eradicazione è fallita. L'interruzione della monosuccessione di mais in molte aree del Nord Italia porterà ad una più ampia presenza della soia negli avvicendamenti.

17.2.2. *Lavorazioni e preparazione del terreno*

La soia non richiede arature profonde. Le lavorazioni sono condotte con attrezzi definiti in base alle effettive condizioni, adottando tecniche normalmente usate per il mais o la bietola. In coltura principale la preparazione del terreno prevede un'aratura di media profondità che su terreni tendenzialmente argillosi sarà generalmente effettuata in autunno, mentre le terre sabbiose o di medio impasto sono di solito preparate a fine inverno. All'aratura, sui terreni pesanti farà seguito la rottura delle zolle ed il livellamento delle superfici, al fine di evitare difformità di semina e successivamente perdite di raccolta dei baccelli sui palchi più bassi nelle

depressioni del terreno. Nella preparazione del terreno per le colture di secondo raccolto dopo orzo o frumento, è necessario operare tempestivamente al fine di non perdere umidità; ciò viene di norma ottenuto mediante appropriate tecniche di minima lavorazione. Guadagnare giorni alla semina è particolarmente importante, alla luce della stagione più breve e del peso relativo delle giornate d'inizio luglio, a forte insolazione. In genere, le tecniche di minima lavorazione, condotte con attrezzature di normale dotazione aziendale (erpice a dischi, erpice rotante, ecc.) non comportano riduzioni alle rese (Ciricofolo et al., 1992). È possibile anche la semina su sodo, con seminatrici appropriate, che però non sono in genere disponibili in azienda ma devono essere fornite da contoterzisti. Il cereale vernino lascia in genere il terreno in buone condizioni di struttura e, tuttavia, può essere necessaria la distruzione chimica della vegetazione avventizia. In questi ultimi casi, e a volte anche nelle semine di primo raccolto, la concimazione fosfo-potassica viene limitata al minimo, se non addirittura omessa. Stante l'autosufficienza per l'azoto ed i margini ridotti forniti attualmente dalla coltura, i coltivatori tendono a risparmiare sui fertilizzanti o si limitano a modesti apporti di fosforo localizzato alla semina, confidando nel residuo di fertilità legato alla precessione. Ciò a maggior ragione con le semine di secondo raccolto.

17.2.3. Inoculazione

Nei terreni dove la soia non è mai stata coltivata, o la sua coltivazione risale a più di 4-5 anni addietro, è opportuno procedere con la batterizzazione artificiale, mediante inoculazione della semente con colture del rizobio specifico (*Bradyrhizobium japonicum*). I preparati commerciali, costituiti da un solo ceppo o da miscele, devono presentare adeguate caratteristiche d'infettività, competitività, efficienza, resistenza e persistenza. L'infettività condiziona la capacità del rizobio di indurre la nodulazione, la competitività si riferisce alla capacità del ceppo di sopravanzare la microflora autoctona preesistente, l'efficienza segnala l'attitudine a fissare la maggior quantità d'azoto atmosferico nelle diverse condizioni ecologiche. Resistenza e persistenza, infine, si riferiscono rispettivamente al fatto di non subire danni rilevanti per azione di fattori abiotici o biotici ed alla capacità di rimanere vitali, infettivi ed efficienti nel suolo per anni (Venturi e Amaducci, 1984). Le tecniche d'inoculazione più praticate si basano su prodotti commerciali di tipo polverulento, nei quali il micro-simbionte è adsorbito su torba finemente macinata, dove deve raggiungere una concentrazione minima di 108 cellule per grammo. L'applicazione viene effettuata miscelando il prodotto commerciale e acqua in quantità sufficiente, quindi aggiungendo la miscela alla semente. Il seme inoculato deve essere seminato al più presto; qualora esso sia rimasto esposto alla luce, a temperature elevate o non seminato entro 3-4 ore, deve essere re-inoculato. Nonostante tutte le precauzioni, normalmente il numero di

batteri vitali nel corso delle diverse operazioni, si riduce di uno o due ordini di grandezza ed è per questo che vengono impiegati prodotti con una carica di cellule vitali molto alta.

17.2.4. Semina

In Pianura Padana, le semine delle colture di primo raccolto cominciano ad aprile e si completano entro maggio. È consigliabile una temperatura del suolo di almeno 12°C, quindi di norma la soia si semina in epoca successiva a quella del mais. La soia di secondo raccolto è seminata tra fine giugno ed inizio luglio, dopo la trebbiatura del cereale vernino. In coltura principale come in secondo raccolto, al Nord Italia si usano varietà di gruppo I; per i secondi raccolti si possono scegliere varietà più precoci (0+). Una durata del ciclo di circa 120 giorni (Centro-Nord, epoca principale) o 100 giorni (Centro-Nord in secondo raccolto e Sud) sono comunque ottimali (Mosca et al., 1991).

La densità di semina più praticata è attorno a 40 semi germinabili m⁻², per avere almeno 30 piante m⁻² alla raccolta; tuttavia, in letteratura si trovano indicazioni tra 30 e 60 semi m⁻². Va comunque notato che spesso è possibile conseguire rese soddisfacenti con densità inferiori, sino a 20-22 piante m⁻². La coltura adatta in maniera progressiva e precisa la capacità finale degli organi d'accumulo (aborto di fiori, cascola precoce di baccelli, logge vuote in baccelli sviluppati), commisurando il potenziale riproduttivo alla fotosintesi sostenibile nelle condizioni ambientali date (Egli e Crafts-Brandner, 1996). In condizioni di bassa densità, ad esempio, la coltura risponde alla ridotta competizione aumentando la ramificazione e ristabilendo alla raccolta un numero adeguato di semi per unità di superficie.

La distanza interfila dipende, tra l'altro, dalle macchine operatrici disponibili in azienda, in particolare per il controllo meccanico delle infestanti. Nelle aziende in Destra Po, ove l'avvicendamento è con la bietola ed il frumento, in genere si adottano distanze attorno a 45-50 cm e si sconsigliano distanze ridotte (20-25 cm), in quanto aumenterebbero i problemi fitosanitari. Nelle zone centrali degli USA con varietà di gruppi III e IV, la soia si coltiva a 76 cm tra le file, anche se vi è la tendenza a diminuire questa distanza sino a 19 cm, per ridurre la competizione tra le piante.

Più tardiva è la semina, minore dovrebbe essere la distanza tra le file, per far sì che l'apparato fogliare copra precocemente l'interfila ed intercetti l'elevato flusso radiativo di luglio.

17.2.5. Gestione delle malerbe

Il controllo delle malerbe, pur con insuccessi abbastanza frequenti, è essenziale: la taglia non elevata ed il modesto tasso d'accrescimento nelle prime fasi vegetative, fa sì che la soia subisca una forte competizione dalle infestanti per

l'acqua, i nutrienti e, soprattutto, la luce. I danni in assenza d'intervento possono essere molto elevati. Ad esempio, è stato osservato che la competizione esercitata da una pianta di Xantium su 1,5 m di fila per l'intero ciclo colturale riduceva la resa del 26%; una densità della stessa infestante pari a una pianta su 0,3 m di fila causava una contrazione del 60% (Scott e Aldrich, 1983). Il controllo delle malerbe si ottiene mediante interventi meccanici e chimici, ovvero solo chimici. In diversi Paesi, dal 1996 è possibile impiegare varietà geneticamente modificate (GM) per la tolleranza ad erbicidi non selettivi, tra i quali il Glyphosate. Comparativamente ad altre colture, il successo delle varietà transgeniche è particolarmente ampio in soia, coprendo queste oltre il 60% di tutto l'ettarato globale del 2003 (James, 2003). La semente è più onerosa e le rese non sempre superiori, tuttavia le varietà GM guadagnano sempre più spazio a livello mondiale. Ove la coltivazione delle varietà GM non sia consentita, il controllo delle malerbe si effettua prevalentemente con trattamenti di post-emergenza. Il diserbo di pre-emergenza è valido soprattutto nei terreni più sciolti, poiché riduce la scalarità delle nascite e pre-condiziona le infestanti, consentendo in post-emergenza di impiegare principi attivi più mirati e dosi meno fitotossiche. Negli ambienti della Pianura Padana, con infestazioni miste s'impiega in pre-emergenza un graminicida (S-Metolacolor), al quale viene abbinato un dicotiledonicida (Pendimetalin, Metribuzin o Oxadiazon), a seconda della composizione della flora infestante. Il controllo meccanico delle malerbe attraverso sarchiature ed erpici strigliatori è praticato in coltura biologica.

17.2.6. Fabbisogni idrici

La specie è coltivata frequentemente in asciutto nei terreni pesanti e profondi della bassa pianura veneta e friulana, terreni dotati di elevate capacità idriche ed in grado di capitalizzare le significative precipitazioni primaverili ed estive. In generale, le esigenze idriche della soia sono piuttosto elevate se rapportate alla biomassa prodotta. In quanto coltura estiva, i suoi consumi idrici vengono soddisfatti solo in parte dagli apporti idrici naturali. L'efficienza d'uso dell'acqua rispetto alla biomassa-seme prodotta dalla coltura si stima compresa tra 0,4 e 0,7 g kg⁻¹ (Smit, 2000). Posta un'efficienza attorno a 0,55 g kg⁻¹ con rese attorno a 3,5 Mg di granella ha⁻¹, si desume un consumo idrico stagionale attorno a 640 mm d'acqua. Parte di questa richiesta viene soddisfatta da apporti idrici naturali e variazione delle riserve del suolo: in funzione della profondità e delle caratteristiche fisiche del terreno, la riserva idrica massima è compresa frequentemente tra 50 e 120 mm per metro di profondità. In suoli acidi (pH < 5,5) la soia è più tollerante all'alluminio rispetto al mais, quindi può accedere a risorse idriche profonde, anche se presenti in orizzonti sottosuperficiali acidi: diversamente da quelli del cereale gli apparati radicali della leguminosa riusciranno a penetrarli (Smit, 2000).

Nella pratica irrigua, è bene non eccedere con gli apporti idrici nelle prime fasi. Se la specie può tollerare brevi periodi di sommersione in suoli a bassa capacità d'infiltrazione, uno scarso drenaggio porta a riduzioni di crescita e alla diffusione di fitopatie. Se, viceversa, l'acqua irrigua è scarsa, gli apporti vanno indirizzati alle fasi post-fioritura; qualora si possa effettuare un solo intervento, questo andrebbe riservato alla fase di riempimento del seme. Tuttavia, se come avviene frequentemente in questi casi, si impiegano irrigatori giganti semoventi, è necessario disporre di sistemi a media intensità di pioggia per non indurre allettamenti. Anche se la coltura dovrebbe essere salvaguardata da periodi con stress idrico severo nelle fasi vegetative, moderate carenze idriche prima della fioritura non pregiudicano di norma il potenziale produttivo e stimolano, al contrario, l'approfondimento dell'apparato radicale.

Oltre ad aprire la strada alle colture in secondo raccolto, l'irrigazione permette di stabilizzare le rese attraverso una migliore nutrizione azotata. La funzionalità azoto-fissatrice, infatti, si riduce sensibilmente sino ad annullarsi in presenza di uno stress idrico anche modesto (Bouniols et al., 1986; Sinclair et al., 1987).

17.3. Requisiti culturali

17.3.1. *Clima*

La precocità delle semine è determinata dalla temperatura del suolo e dal rischio di brinate tardive, mentre la probabilità dei primi geli autunnali definisce quanto ritardata può essere la semina di una varietà d'adatta precocità. Per una specie molto sensibile al fotoperiodo come la soia, l'effettiva durata della stagione di crescita dipende da complesse interazioni tra temperatura e fotoperiodo. La diversità genetica e la ricchezza varietale della coltura ne permettono la coltivazione dagli stati meridionali degli USA fino al Canada meridionale, ovvero dalle regioni tropicali del Brasile fino ai climi subartici della Svezia e della Siberia. La temperatura gioca un ruolo decisivo nel ritmo di crescita della soia. Se, in generale, temperature comprese tra 22 e 25°C possono essere considerate ottimali per il procedere delle varie fasi, i limiti minimi relativi a ciascuna fase sono: 7-10°C in germinazione ed emergenza, 16-18°C per fioritura e formazione dei baccelli, 13-14 °C per formazione e riempimento del seme, per ridursi di nuovo a 8-9°C in maturazione (Raper e Kramer, 1987). Limitazioni alle rese provengono sia da un andamento termico insufficiente, sia anormalmente alto. Con temperature inferiori a 13°C, si possono osservare anomalie nelle fasi riproduttive; a 40°C, in assenza di stress idrico, è facile la cascola di baccelli. Nelle colture da seme gli effetti della temperatura durante la maturazione modificano la qualità della semente nell'anno successivo: ottimali sono temperature 25/15°C (giorno/notte).

Lo sviluppo della soia in condizioni idriche non limitanti porta ad un'elevata fogliosità, con valori massimi dell'indice fogliare (LAI) compresi tra 5,5 e 7 in corrispondenza della fioritura piena (R2; Fehr e Caviness, 1977). Ciò non è necessariamente indice di produzioni record, poiché la fruttificazione può non essere, comparativamente, altrettanto abbondante. L'elevata fogliosità è una riserva che tutela la coltura da danni all'apparato fogliare d'origine biotica ed abiotica. Ad esempio, una grandinata non troppo intensa causa danni molto modesti, rispetto ad altre specie di pieno campo. All'opposto, è tipica la sensibilità della coltura, prossima alla raccolta, alle precipitazioni dei mesi autunnali. In tali condizioni i semi si reidratano e rigonfiano più volte, i tegumenti si lacerano ed i cotiledoni si alterano fino a marcire. Suoli che permettono una buona portanza, valutati i rischi di compattamento, possono consentire raccolte più tempestive. Interventi di miglioramento genetico rivolti a diminuire la permeabilità dei tegumenti del seme sono al momento senza successo, anche per non pregiudicare la germinabilità del seme.

17.3.2. Suolo

In generale, le esigenze della soia relativamente al suolo sono modeste e la specie può essere coltivata in terreni di varia composizione granulometrica. In terreni decisamente sabbiosi, il limite di coltivazione è dato dalle disponibilità idriche. Terreni argillosi ben strutturati garantiscono ottima capacità di ritenuta idrica, quindi più regolare accrescimento anche in assenza di irrigazione. Un elevato tasso di saturazione basica nelle terre argillose garantisce ottima disponibilità di nutrienti. I terreni limosi e debolmente strutturati sono meno indicati alla coltura, sia perché la modesta aerazione limita l'attività simbiotica, sia per i rischi di crosta superficiale all'emergenza. Tuttavia, una buona capacità di ritenuta idrica può compensare in parte questi svantaggi. È forse utile ricordare che rispetto alla densità definitiva della coltura, la soia può dirsi superiore rispetto al mais: le plantule manifestano in genere una spinta più vigorosa all'emergenza, mentre la capacità di ramificazione della specie compensa fino a valori elevati eventuali fallanze.

La soia può essere coltivata in terreni a diversa reazione (tra pH 5,2 e 8), anche se le rese maggiori si ottengono con terreni subacidi o neutri (pH 6-7,2). In terreni molto acidi (pH < 5,6), pur se problemi possono sorgere anche a pH compreso tra 5,6 e 6, la ridotta disponibilità in molibdeno limita l'azotofissazione. D'altro canto, terreni che contengano più del 15% di calcare attivo sono scarsamente adatti alla coltura.

In aree caratterizzate da terreni con capacità idrica modesta ed in annate con temperature massime superiori a 33°C per più giorni, è frequente notare una sintomatologia la cui eziologia è ancora incerta. La cosiddetta "sindrome del fusto verde" (*Green Stem Syndrome*) si riconosce dalle fasce più o meno ampie della coltura che mantengono i fusti e le foglie verdi in fasi avanzate del

ciclo. Le piante portano baccelli numerosi, ma spesso vuoti o con semi disorganizzati e marcescenti. I danni possono essere gravi, sino all'abbandono della coltura (Miceli e Tassan Mazzocco, 2000). Tale situazione sta limitando le semine della soia nei terreni superficiali dell'alta pianura, riservandone la diffusione nei suoli più profondi e freschi della bassa pianura veneta e friulana.

La soia è moderatamente tollerante alla salinità: riduzioni di produzione si osservano con valori di EC_e superiori a 5 mmhos cm^{-1} , fino a contrazioni del 100% nelle rese in corrispondenza di valori di 10 mmhos cm^{-1} . La risposta della soia a condizioni di ristagno idrico è complessa, anche per il ruolo e le funzioni del micro-simbionte, aerobio obbligato. Condizioni che facilitano il movimento dell'acqua e dell'aria, associate a sufficiente contenuto idrico, sono ottimali nelle prime fasi del ciclo e a sostegno della nodulazione, che deve trovare un film liquido per la mobilità dei rizobi. Condizioni d'ipossia e ristagno idrico in queste prime fasi vegetative (VE-V2) provocano diradamenti e ritardo nella nodulazione. Periodi di sommersione completa nel corso delle fasi riproduttive (R4-R6), non portano a morte le piante, che rispondono con adattamenti quali la differenziazione di nuove radici e noduli, situazioni che comunque prefigurano riduzioni delle rese (Miceli et al., 1993). Tuttavia, condizioni vicine alla saturazione idrica non sono affatto negative per la specie, che gradisce la completa assenza di deficit idrici, con rese in seme superiori al testimone ben irrigato: una particolare tecnica colturale (SSC, *Saturated Soil Culture*) è stata proposta in suoli soggetti a tali condizioni (Troedson et al., 1989).

17.3.3. Elementi nutritivi

La nutrizione azotata è centrale per la produttività della soia, ma se la coltura è ben nodulata, non necessita di apporti di azoto minerale. Con ampie disponibilità di azoto alla semina, la soia nodula poco o nulla e si comporta come una specie non azoto-fissatrice: per lo ione NO_3^- , la soglia tollerata è stimata dell'ordine di 250 mg kg^{-1} di terreno, che corrisponde grosso modo alle concentrazioni della soluzione circolante di un terreno non concimato. Se tuttavia dopo 30-35 giorni dall'emergenza il fogliame è verde pallido, le piante potrebbero non aver sviluppato noduli: estirpando alcune piante è facile capire se la nodulazione è fallita. In tal caso, diviene indispensabile apportare almeno 150 kg di azoto ha^{-1} in copertura, per conseguire una resa accettabile. Gli apporti si commisurano alle asportazioni (granella e parti vegetative), in un'ipotesi produttiva comunque inferiore del 15-20% rispetto a soia normalmente nodulata.

Ai fini della capacità azoto-fissatrice, alcuni eventi sono fondamentali: riconoscimento micro-macrosimbionte, completamento del processo d'infezione, sviluppo dei noduli, sintesi della leg-emoglobina. Tuttavia, è bene ricordare che nel corso del ciclo, la soia utilizza risorse azotate diverse,

dapprima le ingenti riserve proteiche nei cotiledoni (una concentrazione di 380-400 g kg⁻¹ di proteina grezza nella granella significa oltre 60 g kg⁻¹ di N, ovvero 20-24 mg di N per seme). È dal catabolismo delle proteine di riserva del seme che la plantula trae i materiali per completare l'emergenza e le primissime fasi vegetative. Nel frattempo, si attiva l'attività nitrato-riduttasica nella radice e nei tessuti fogliari, che permette l'assimilazione di azoto nitrico dalla soluzione circolante; quindi, la capacità di fissazione simbiotica d'azoto, che diventa importante da fasi fenologiche più avanzate, con un picco in corrispondenza della formazione dei baccelli (R3-R4). La gestione agronomica deve consentire dapprima un'abbondante nodulazione, propedeutica ad un'efficiente attività di azoto-fissazione. L'impiego agronomico di reflui zootecnici va evitato e rivolto invece ad altre colture (cereali e foraggere) con cui la leguminosa può essere avvicendata. Lo ione ammonio presente nei reflui è infatti il principale responsabile della morte del rizobio, se entra in contatto con le cellule del micro-simbionte (Ciafardini, 1992).

Il processo d'azoto-fissazione è molto sensibile a condizioni di deficit idrico, in misura ben maggiore di quanto non lo siano altre attività fisiologiche. Condizioni di stress moderato provocano la caduta quasi completa dell'attività nitrogenasica (Obaton et al., 1982; Sinclair et al, 1987).

Con il riempimento dei semi (R5), il flusso dei fotosintati viene indirizzato verso questi organi di accumulo e, conseguentemente, i noduli perdono funzione e competenze, fino alla senescenza.

In condizioni di rapido declino nell'attività nitrogenasica, un'efficiente redistribuzione delle sostanze azotate della pianta è indispensabile per conseguire un adeguato tenore proteico dei semi, quindi lo stesso complesso degli enzimi fotosintetici viene degradato. Ciò spiega la rapida senescenza ed abscissione delle lamine fogliari alla maturazione fisiologica (R7).

Alla luce di un positivo effetto di avvicendamento ("effetto soia") spesso riconoscibile a livello agronomico, il fatto che la soia residui o meno dell'azoto minerale per la coltura successiva è un argomento molto dibattuto. Nonostante un'elevata variabilità nelle stime dell'azoto fissato in differenti agro-ecosistemi, in ambienti temperati si trovano frequentemente valori inferiori alle quantità di N asportato (3500 kg di granella secca per una concentrazione media di 62 g N kg⁻¹ rappresentano asportazioni pari a circa 220 kg N ha⁻¹). Di tali quantitativi, la frazione dell'azoto d'origine simbiotica non è nota, tuttavia una coltura ben nodulata, in assenza di stress nutrizionali, residua azoto (fusti, radici, noduli, essudati) in forma organica facilmente mineralizzabile. Ciò appare compatibile con stime di 60-70 kg ha⁻¹ di N residuo, attribuiti quale contributo nutrizionale della soia sul cereale in avvicendamento. Al contrario, apporti azotati in post-fioritura sono stati proposti anche nelle colture normalmente nodulate, allo scopo di coprire un deficit che potrebbe verificarsi nelle fasi tardive del ciclo, con l'azoto-fissazione in rapido calo. Esperimenti in diverse condizioni ecologiche hanno tuttavia evidenziato risposte discordanti in termini quantitativi.

Con l'arachide, anche la soia ha fama di essere pianta poco esigente in fatto di concimazione, capace di giungere alla produzione sfruttando la fertilità residua delle colture precedenti. Ciò in parte deriva dal basso livello delle rese in molte aree extra-europee, in parte dalle ampie riserve di fosforo utilizzabile in molte aree del Nord Italia per le sovra-concimazioni attuate negli ultimi decenni. Se nel lungo periodo il bilancio dei nutrienti deve essere in pareggio, non tutti i fattori del bilancio sono noti: alcuni devono essere calcolati ed altri ancora possono essere solo stimati con larga approssimazione. La stima più incerta è, per l'appunto, la quantità in azoto fissato nel corso del ciclo: essa condiziona la resa e quindi le asportazioni dei principali nutrienti.

Come in generale nelle leguminose da granella, la soia risponde positivamente al fosforo e continua ad assorbirne sino a che il seme raggiunge la massima taglia. Tra le colture erbacee, la specie si può definire mediamente esigente in termini di dotazione fosfatica. Piante in carenza di fosforo si riconoscono per una ridotta espansione fogliare, un colore verde scuro delle lamine ed una taglia inferiore, dovuta ad un alterato rapporto tra biomassa epigea ed ipogea (Fredeen et al., 1989). Una dotazione normale può essere collocata tra 25 e 30 mg kg⁻¹ di P₂O₅, rispettivamente in suoli sabbiosi ed argillosi provvisti di calcare. La risposta produttiva ad apporti di fosforo diventa significativa nei suoli a dotazione insufficiente, ovvero inferiori a 18 mg kg⁻¹ di P₂O₅ (metodo Olsen) in suoli di medio impasto, 23 mg kg⁻¹ in suoli argillosi (Regione Emilia Romagna, 2004). Una larga parte dei terreni italiani sono ben dotati di fosforo e le analisi chimiche, da effettuare almeno ad intervalli di 5-6 anni, dovrebbero indicare come procedere. Fabbisogni ed asportazioni di fosforo risultano abbastanza limitate (circa 60 kg ha⁻¹ di P₂O₅ per una produzione di 4 t ha⁻¹ di granella), tuttavia se il terreno non è ricco in fosforo assimilabile, un apporto superiore alle asportazioni nei terreni calcarei compensa la retrogradazione dei fosfati. In aggiunta, il fosforo sembra favorire un alto numero e peso dei noduli e quindi una maggiore attività di fissazione dell'azoto atmosferico.

Nei disciplinari di produzione integrata (Regione Emilia Romagna, 2004), una dotazione di fosforo assimilabile elevata (superiore a 40 mg kg⁻¹) o molto elevata (superiore a 50 mg kg⁻¹), esclude apporti di fosforo; se la dotazione è normale, gli apporti di fosforo sono in genere commisurati alle asportazioni; se, infine, la dotazione è scarsa o insufficiente, si potrà pensare ad una concimazione di arricchimento (mai superiore a 250 kg ha⁻¹ di P₂O₅), eventualmente limitata per un certo numero di anni, in funzione del grado di insufficienza e del potere di fissazione del suolo. All'interno delle prescrizioni tecniche per le misure agro-ambientali (Regolamento CE 1257/1999) del Friuli Venezia Giulia, area che vale circa un quinto dell'ettarato a soia nazionale, non sono consentiti apporti superiori a 80 kg ha⁻¹ di P₂O₅ (Regione Autonoma Friuli Venezia Giulia, 2004). Nelle aree italiane interessate alla coltura, apporti attorno a 80-100 kg ha⁻¹ di P₂O₅, distribuiti in buona misura alla preparazione del terreno, in parte (20-30 kg) localizzati, sono comuni. Localizzare parte del

fosforo in terreni scarsamente dotati è utile ed importante nella prima fase di sviluppo delle giovani piantine, nelle quali l'assorbimento è limitato dalle basse temperature del terreno, dall'apparato radicale ancora ridotto e da pH diversi dalla neutralità.

Il fabbisogno della pianta in potassio è relativamente elevato (circa 140 kg per una produzione di 4 t ha⁻¹ di granella). Le asportazioni, pur non esigue, sono contenute, poiché l'elemento è restituito per circa il 38% con i residui colturali. Le asportazioni di potassio con il seme sono percentualmente molto più rilevanti in soia che in mais: 1 kg di seme di soia contiene 5 volte il potassio contenuto nella stessa quantità di granella di mais (Smit, 2000). In terreni sabbiosi e sabbioso limosi, con un tenore di argilla inferiore al 15%, la lisciviazione del potassio può essere significativa, ossia tra 30 e 60 kg di K₂O ha⁻¹ per anno, viceversa in terreni a maggiore contenuto in argilla la lisciviazione è modesta. In generale, la distribuzione del potassio, come quella del fosforo, viene effettuata alla preparazione del terreno; l'impiego di concimi complessi in copertura è sconsigliato poiché il fosforo ed il potassio non vengono pienamente utilizzati nel corso della stagione.

Rispetto a mesoelementi quali calcio, magnesio e zolfo, le informazioni sulle esigenze della soia sono limitate. Deficienze in Ca e S non sono riportate in letteratura, mentre carenze di Mg riconoscibili da clorosi internervale sulle foglie vecchie, sono visibili in suoli acidi in aree extra-europee e pressoché sconosciute nella pianura veneta e friulana, prossima a matrici calcaree dolomitiche. Solo in alcuni casi (terreni molto sabbiosi) il Mg potrebbe risultare insufficiente, mentre in terreni ricchi di calcio un limitato assorbimento è attribuito all'antagonismo con altri ioni. Anche le situazioni sub-carenti di S sono rare: la sintomatologia è legata ad ingiallimenti delle foglie giovani. La disponibilità di nuove varietà di soia rivolte al consumo umano (tofu, latte di soia), già presenti negli USA ed in Canada, forse porterà attenzione alla nutrizione solfatica in soia. Le caratteristiche reologiche del tofu richiedono, infatti, un preciso rapporto tra le due classi di proteine di riserva (glicinina e conglitinina), che a sua volta dipende sia dal genotipo, sia da adeguate disponibilità di solfato.

I microelementi sono tanto importanti in soia quanto nelle altre grandi colture erbacee. In generale, tuttavia, le sintomatologie da carenza che si osservano riguardano zinco, molibdeno e manganese. Le esigenze in Zn della soia sono inferiori rispetto ad una specie molto sensibile come il mais: la carenza, a volte osservata in suoli a pH elevato, è rivelata da ingiallimenti internervali ed aspetto bronzee delle foglie vecchie. In generale, abbondanti apporti di fosforo a terreni con modesto tenore in Zn disponibile possono indurre carenze del microelemento (Marschner, 1995). Situazioni di carenza in Mo possono eventualmente evolvere in suoli a pH basso. La sintomatologia generale più evidente è quella tipica delle carenze in azoto per effetto della scarsa attività di fissazione simbiotica, in quanto il molibdeno è essenziale per il processo. Non è in ogni caso facile attribuire l'aspetto stentato della

vegetazione alla mera carenza in Mo. La soia risulta tra le specie molto sensibili alle carenze in Mn (Marschner, 1995); esse possono emergere in suoli a reazione alcalina, soprattutto se l'andamento stagionale è secco. L'impiego di seme commerciale al posto della semente autoprodotta, garantisce a sufficienza i coltivatori. In generale, l'apporto di microelementi va visto comunque come intervento curativo a fronte di situazioni anomale e non come intervento di concimazione (Venturi e Amaducci, 1984).

17.4. Attitudine delle terre alla coltivazione della soia

In una valutazione che comprenda anche un giudizio economico e non solo elementi di natura biologica, l'attitudine di un comprensorio alla coltivazione della soia non può prescindere da fattori di natura climatica e pedologica, dalle condizioni idriche e dalla disponibilità di nutrienti (tabella 17.2).

Tabella 17.2. Requisiti per la coltivazione della soia.

REQUISITI	CONDIZIONI
<i>Climatici</i>	
Temperatura dell'aria	da media a elevata
Umidità dell'aria	da bassa a elevata
<i>Colturali</i>	
Tessitura	da franco sabbiosa a franco argillosa
Disponibilità di ossigeno	da media a elevata
Disponibilità idrica	da media a elevata
Profondità del suolo (falda idrica, orizzonti impenetrabili dalle radici)	da media a elevata
Radicabilità	facile
Disponibilità di nutrienti	da bassa a media
Torba	assente nei primi 50 cm
Salinità del suolo	da bassa a media
Reazione del suolo	da sub acida a moderatamente alcalina
<i>Gestionali</i>	
Trafficabilità	tempestiva
Lavorabilità e meccanizzazione	facile
<i>Per la conservazione del suolo e dell'ambiente</i>	
Rischio d'inquinamento delle falde	basso
Rischio di degradazione per costipamento	basso

La soia si sviluppa in maniera ottimale all'interno di un intervallo di temperature comunque compreso tra 15 e 25°C, con esigenze differenti a seconda della fase di crescita (vedi il paragrafo 17.3.1); temperature basse o

troppo elevate provocano stress e conseguenti sensibili diminuzioni delle rese. Climi caratterizzati da scarse precipitazioni limitano la gamma dei suoli utilizzabili o possono rendere necessaria l'irrigazione.

Tra i caratteri pedologici, un'elevata macroporosità, comune a suoli con tessitura media e fine ben strutturati, risulta fondamentale per lo sviluppo della coltura; tale carattere è legato alla necessità di aerazione adeguata per l'attività simbiotica. Una buona disponibilità idrica, inoltre, in particolare nelle fasi successive alla fioritura, è importante al fine di ridurre lo stress idrico, salvaguardare il processo di azoto-fissazione e conseguire ottimi risultati produttivi. Terreni poco profondi, a tessitura molto grossolana (sabbiosi o sabbioso franchi) o con elevata presenza di scheletro risultano, pertanto, non molto adatti alla coltura. Laddove la riserva è limitata e le precipitazioni ridotte, in particolar modo in epoca di semina normale e in secondo raccolto, per garantire l'emergenza, gli apporti irrigui divengono indispensabili.

Altri caratteri rilevanti sono la reazione (l'eccessiva acidità, in realtà poco comune nei terreni della Pianura Padana, può creare difficoltà nel processo di azoto-fissazione) e la presenza in quantità elevata di calcare attivo, che può risultare problematica rispetto alla disponibilità di elementi nutritivi. Suoli salini o molto salini, infine, possono provocare consistenti riduzioni delle rese.

17.5. Caratteri funzionali dei suoli e tabelle di valutazione

Una recente valutazione dell'attitudine delle terre per la coltivazione della soia è riportata nello studio condotto dal Joint Research Centre of European Commission (Bagli et al., 2003), dove si presenta una zonazione agro-pedo-climatologica dell'Italia relativa a nove colture, tra le quali è compresa la soia. Per l'individuazione dell'attitudine alla coltivazione della soia vengono utilizzati alcuni indici climatici, legati principalmente alla temperatura, mentre tra i caratteri fisici del suolo vengono considerati la profondità e la tessitura. La quantità d'acqua disponibile nelle varie fasi vegetative completa il quadro degli elementi discriminanti. Non vengono considerati, vista anche la scala dello studio, altri caratteri potenzialmente limitanti allo sviluppo della soia. Se la riserva idrica del terreno sembra essere il fattore principale per il pieno sviluppo della coltura, esistono alcuni ulteriori caratteri chimico-fisici in grado di modificare l'attitudine dei terreni alla coltivazione della soia. Terreni eccessivamente acidi, con contenuto in calcare attivo troppo elevato o con elevata salinità, risultano inadatti. Solo marginalmente adatti sono i terreni in cui la trafficabilità sia resa difficile da consistenti ristagni idrici di superficie legati ad un drenaggio difficoltoso: può, infatti, essere necessaria una tempestiva raccolta dopo gli eventi piovosi per evitare fenomeni di marcescenza dei semi. Un drenaggio eccessivamente rapido, per contro, ha effetti negativi sulla disponibilità d'acqua per la coltura. I suoli ideali sono perciò caratterizzati

da riserve idriche medio-elevate, buona struttura che favorisca l'ossigenazione, drenaggio e portanza tali da consentire una buona trafficabilità. In base a queste considerazioni, viene proposto un set di caratteri del suolo, relativi al primo metro, utilizzabile per una valutazione dell'attitudine delle terre alla coltivazione della soia (tabella 17.3); per ogni carattere sono state riportate due o più classi che risultano discriminanti nell'attribuzione dell'attitudine.

Tabella 17.3. Classi dei caratteri del suolo (primi 100 cm circa) funzionali per la coltivazione della soia.

Caratteri funzionali	Classi	
Capacità d'acqua disponibile (mm)	d0	alta > 150
	d1	moderata 50-150
	d2	bassa < 50
Pietrosità (% vol.)	p0	da assente a comune (ghiaie, ciottoli e pietre < 35%)
	p1	frequente (ghiaie, ciottoli e pietre > 35%)
	w0	profondo o molto profondo (> 100 cm dalla superficie)
Profondità *	w1	moderatamente profondo (50-100 cm dalla superficie)
	w2	poco profondo (25-50 cm dalla superficie)
	w3	sottile (< 25 cm dalla superficie)
Acidità	a0	pH > 6,0
	a1	5,2 < pH < 6,0
	a2	pH < 5,2
Calcare attivo	c0	calcare attivo < 15%
	c1	calcare attivo > 15%
Salinità (dS m ⁻¹)	s0	non salino (EC _e < 4)
	s1	salino (4 < EC _e < 6)
	s2	salino (EC _e > 6)
Drenaggio	i0	moderato, buono, talora moderatamente rapido
	i1	imperfetto o eccessivamente rapido
	i2	lento o molto lento

* *Falda idrica od orizzonti impenetrabili dalle radici.*

Le classi d'attitudine, infine, sono ottenute attraverso il confronto tra i caratteri individuati (tabella 17.4), indicando con la classe S1 (suoli molto adatti) i suoli che presentano le condizioni ottimali per la coltivazione; con la classe S2 (suoli adatti) i suoli in cui uno o più caratteri possono limitare le rese rispetto alla classe ottimale; con la classe S3 (suoli marginalmente adatti) i suoli

in cui le limitazioni diventano più severe, rendendo difficile la coltivazione e compromettendo la possibilità di ottenere rese elevate. Nella classe N (suoli non adatti) rientrano, invece, i suoli che presentano limitazioni tali da farli normalmente escludere dalla coltivazione della soia.

Tabella 17.4. Guida per l'attribuzione delle classi d'attitudine dei suoli alla coltivazione della soia.

CARATTERI FUNZIONALI	CLASSI			
	S1	S2	S3	N
	molto adatti	suoli adatti	marginalmente adatti	non adatti
Capacità d'acqua disponibile	d0	d1	d2	-
Pietrosità	p0	p0	p1	-
Profondità	w0	w1	w2	w3
Acidità	a0	a1	a1	a2
Calcare attivo	c0	c0	c0	c1
Salinità	s0	s0	s1	s2
Drenaggio	i0	i1	i1	i2

Bibliografia

- BAGLI, S., TERRES, J.M., GALLEG0, J., ANNONI, A., DALLEMAND, J.F., 2003. *Agro-Pedo-Climatological Zoning of Italy - Application to grain maize, durum wheat, soft wheat, spring barley, sugar beet, rapeseed, sunflower, soybean, tomato*. Monograph 20550 EN, European Communities, Italy.
- BERK, Z., 1992. *Technology of production of edible flours and protein products from soybeans*. FAO Agric. Services Bull. n.97.
- BOUNIOIS, A., CHALAMET, A., LAGACHERIE, B., MERRIEN, A., OBATON, M., 1986. *Nutrition azotée du soja: limites et améliorations de la fixation symbiotique*. Informations techniques CETIOM 94, supplement, 157-165.
- CIAFARDINI, G., 1992. *Contributo della ricerca microbiologica all'ottimizzazione del rapporto simbiotico della soia coltivata in Italia*. Agric. Ricerca 135, 35-40.
- CIRICIOFOLO, E., MOSCA, G., BENATI, R., BONARI, E., LAURETI, D., LOMBARDO, M.G., POMA, I., 1992. *Preparazione del terreno per semine di secondo raccolto in soia*. Agric. Ricerca 135, 49-58.
- HARTWIG, E.E., CREGAN, P.B., 1984. *Characterization of flowering response to photoperiod in diverse soybean genotypes*. Crop Sci. 24, 659-662.
- EGLI, D.B., CRAFTS-BRANDNER, S.J., 1996. *Soybean*. In: Zamski, E., and Schaffer, A.A (Ed.), Photoassimilate distribution in plants and crops. Marcel Dekker Inc, New York, 595-623.

- FEHR, W.R., CAVINESS, C.E., 1977. *Stages of soybean development*. Spec. Rep. 80, Iowa State Univ. Coop. Ext. Serv., Agric. and Home Econom. Ext. Stn. Ames, IA.
- FREDEEN, A.L., RAO, I.M., TERRY, N., 1989. *Influence of phosphorus nutrition on growth and carbon partitioning in Glycine max*. Plant Physiol. 89, 225-230.
- FURLAN, L., VETTORAZZO, M., ORTEZ, A., FRAUSIN, C., 1998. *Diabrotica virgifera virgifera è già arrivata in Italia*. Inf. Fitopat. 12, 43-44.
- GRIMM, S.S., JONES, J.W., BOOTHE, K.J., HESKETH, J.D., 1993. *Parameter estimation for predicting flowering date of soybean cultivars*. Crop Sci. 33, 137-144.
- HARLAN, J.R., 1992. *Crops and man. 2nd edition*. ASA-CSSA, Madison, Wisconsin (USA), 206.
- JAMES, C., 2003. *Global status of commercialized transgenic crops: 2003*. ISAAA Briefs n.30, ISAAA Ithaca, New York.
- MARSCHNER, H., (1995). *Mineral nutrition of higher plants. 2nd edition*. Academic Press, London, 324-364.
- MICELI, F., MARCHIOL, L., ZERBI, G., 1993. *Accrescimento, nodulazione ed azoto fissato in soia (Glycine max (L.) Merr.) soggetta a sommersione o a limitato rifornimento idrico post-antesi*. Riv. Agron. 4, 558-564.
- MICELI F., TASSAN MAZZOCCO, G., 2000. *La sindrome del fusto verde della soia*. L'Inf. Agrario 10, 47-50.
- MOSCA, G., DANUSO, F., BENATI, R., VENTURI, G., AMADUCCI, M.T., TONIOLO, L., MAZZONCINI, M., CIRICIOFOLO, E., LAURETI, D., CAMPIGLIA, E., MARZI, V., PRUNEDDU, G., LOMBARDO, G.M., POMA, I., 1991. *Risultati della rete nazionale di valutazione varietale soia (1981-1988): II. Risposta produttiva e stabilità della resa in granella*. Agric. Ricerca 117, 59-68.
- OBATON, M., MIQUEL, M., ROBIN, P., CONEJERO, G., DOMENACH, A.M., BARDIN, R., 1982. *Influence du déficit hydrique sur l'activité nitratre réductase et nitrogenase chez le soja (Glycine max Merr. cv Hodgson)*. C. R. Acad. Sci. 294, 1007-1012.
- RAPER, C.D., KRAMER, P.J., 1987. *Stress Physiology*. In: Wilcox, J.R. (Ed.), Soybeans: Improvement, Production, and Uses. 2nd edition, ASA-CSSA-SSSA, Madison, Wisconsin (USA), 589-598.
- REGIONE EMILIA ROMAGNA, 2004. *Disciplinari di Produzione Integrata 2004*. www.ermesagricoltura.it/documenti/p_vegetali/disc_p_int/norm_tecniche/erbacee/soia.pdf
- REGIONE AUTONOMA FRIULI VENEZIA GIULIA, 2004. *Piano di Sviluppo Rurale - Misure agroambientali - Prescrizioni tecnico produttive*. <http://www.regione.fvg.it/progcom/allegati/erbacee/soia04.pdf>
- SCOTT, W.O., ALDRICH, S.R., 1983. *Modern Soybean Production. 2nd edition*. S&A Publication Inc., Champaign, Illinois (USA), 137-139.
- SINCLAIR, T.R., MUCHOW, R.C., BENNET, J.M., HAMMOND, L.C., 1987. *Relative sensitivity of nitrogen and biomass accumulation to drought in field-grown soybean*. Agron. J. 79, 986-991.
- SMIT, M.A., 2000. *Soybeans – the Green Gold*. ARC-Grain Crops Institute, Potchefstroom (South Africa).
- SNYDER, H.E., KWON, T.W., 1987. *Soybean Utilization*. Van Nostrand Reinhold Company, New York.
- TROEDSON, R.J., LAWN, R.J., BYTH, D.E., WILSON, G.L., 1989. *Response of field-grown soybean to saturated soil culture. I. Patterns of biomass and nitrogen accumulation*. Field Crops Res. 21, 171-187.
- VENTURI, G., AMADUCCI, M.T., 1984. *La Soia*. Edagricole, Bologna, 104-108.

Ministero delle Politiche Agricole, Alimentari e Forestali
Osservatorio Nazionale Pedologico e per la Qualità del Suolo Agricolo e Forestale

In collaborazione con:
International Union of Soil Sciences
Società Italiana della Scienza del Suolo
Commissione VI - Uso e Conservazione del Suolo

BIANCARDI, E., STEVANATO, P., 2006. *Barbabietola da zucchero*. In: Costantini, E.A.C. (Ed.), *Metodi di valutazione dei suoli e delle terre*, Cantagalli, Siena, pp. 922.

Collana dei metodi analitici per l'agricoltura diretta da Paolo Sequi, vol. 7

CRA - Consiglio per la Ricerca e la Sperimentazione in Agricoltura
Istituto Sperimentale per lo Studio e la Difesa del Suolo, Firenze

18. Barbabietola da zucchero

Enrico Biancardi¹, Piergiorgio Stevanato¹

18.1. Caratteristiche	2
18.2. Tecnica colturale	4
18.2.1. Avvicendamento	4
18.2.2 Preparazione del terreno	5
18.2.3. Semina.....	5
18.2.4. Difesa.....	6
18.2.5. Raccolta	7
18.3. Requisiti colturali	7
18.3.1. Clima.....	7
18.3.2. Suolo	8
18.3.3. Esigenze idriche.....	8
18.3.4. Elementi nutritivi	9
18.4. Attitudine delle terre alla coltivazione della barbabietola da zucchero	12
18.5. Caratteri funzionali dei suoli e tabelle di valutazione.....	13
Bibliografia	16

18.1. Caratteristiche

La barbabietola (*Beta vulgaris* L. subsp. *vulgaris*) è coltivata per diverse destinazioni: come ortaggio (da foglia, da costa, da radice), come foraggio e come materia prima per l'estrazione dello zucchero (saccarosio). Per ciascuna attitudine produttiva sono stati selezionati genotipi che hanno acquisito caratteristiche morfologiche e fisiologiche molto diverse dal genitore ancestrale: la barbabietola marittima, (*Beta vulgaris* L. subsp. *maritima* (L.) Arcang). L'impiego alimentare delle foglie delle barbabietole, prima spontanee e poi coltivate, risale alla preistoria. Le varietà da radice si diffusero ai tempi dell'Impero Romano; attorno al 1500 comparvero varietà con fittoni radicali

¹ CRA - Istituto Sperimentale per le Colture Industriali, Sezione di Rovigo

molto sviluppati e adatti all'alimentazione del bestiame; alla fine del 1700, furono selezionati genotipi idonei alla produzione e all'estrazione dello zucchero (Biancardi, 1999a).

La destinazione industriale ha indirizzato la selezione anche verso il miglioramento delle caratteristiche qualitative, in modo da rendere possibile o agevolare il processo estrattivo. Tra queste qualità si citano: i) l'elevata concentrazione di saccarosio nella radice (grado polarimetrico); ii) le caratteristiche morfologiche del fittone atte a facilitare la raccolta e l'eliminazione del terreno aderente; iii) la ridotta presenza nella radice di sostanze con effetti negativi sulla cristallizzazione del saccarosio e, più in generale, sul processo industriale (composti azotati, sodio, potassio, zuccheri riduttori, fibra, ecc.). Per ridurre la concentrazione di tali sostanze (non-zuccheri) nella materia prima da avviare alla lavorazione, è necessario eliminare le foglie e l'epicotile (colletto). Particolare attenzione è dedicata ad allontanare tutti i materiali estranei (terra, sassi, malerbe, ecc.) mescolati alle radici da portare in zuccherificio (Winner, 1981).

Il seme di barbabietola è in natura costituito da un glomerulo contenente 2 o più embrioni. Ogni seme dà origine ad altrettante plantule che entrano in competizione dovendosi sviluppare in spazi limitati. Si rende quindi necessario il diradamento manuale per ottenere 8-10 piante al m² e regolarmente distanziate. L'operazione manuale è stata eliminata con lo sviluppo di varietà monogermi genetiche caratterizzate da semi contenenti un solo embrione (Biancardi, 1999b). Seminate con macchine di precisione, tali varietà non richiedono interventi manuali per ottenere l'investimento richiesto.

Dato che il seme monogerme ha forma irregolare, è di norma sottoposto a confettatura per renderlo più adatto alla semina di precisione. Nei paesi a bieticoltura evoluta, ad iniziare dal 1960, le varietà monogermi genetiche hanno rapidamente sostituito i materiali multigermi. Sensibili incrementi produttivi sono stati in seguito raggiunti con lo sviluppo delle varietà ibride e con l'introduzione delle resistenze genetiche verso alcune gravi malattie (Wilson et al., 2001).

La barbabietola fornisce un quarto del fabbisogno mondiale di saccarosio (circa $145 \cdot 10^6$ t per anno), per la restante parte estratto dalla canna. Mentre quest'ultima coltura presenta le maggiori produzioni nelle regioni con clima caldo-umido, come il Brasile, l'India e Cuba, la barbabietola trova gli ambienti più favorevoli e fornisce le rese maggiori in zone continentali caratterizzate da temperature moderate e da piogge ben distribuite, come il nord della Francia, la Germania e la Danimarca.

Ordinati per importanza economica, i sottoprodotti degli zuccherifici di barbabietola sono: i) il melasso usato per la produzione di alcool etilico, glutammato, lieviti ed altro; ii) le polpe per impiego zootecnico; iii) la calce di defecazione impiegata per correggere i suoli acidi. L'utilizzo zootecnico delle foglie e dei colletti ottenuti alla raccolta è oggi molto ridotto.

18.2. Tecnica colturale

Si farà prevalente riferimento all'ambiente di coltivazione italiano, nel quale la barbabietola è seminata su circa 95.000 ettari che alimentano 6 zuccherifici: 4 nel Settentrione, 1 nel Centro e 1 nel Meridione. Nelle regioni settentrionali, le semine iniziano verso la seconda metà di febbraio, con le raccolte di solito organizzate dai primi giorni d'agosto a metà ottobre. Nel Meridione ed in alcune zone del Centro, le temperature invernali più miti rendono possibile la semina autunnale. Grazie al migliore utilizzo delle piogge, questa pratica consente di anticipare la raccolta ed evitare i periodi di più intensa siccità estiva. Nelle stesse zone sono possibili anche le semine invernali o primaverili, ma le rese sono inferiori (Casarini et al., 1999).

La coltivazione della barbabietola è integralmente meccanizzata e si svolge con l'impiego esclusivo di varietà monogermi genetiche a diversa attitudine. I due più importanti parametri produttivi, il peso delle radici ed il grado polarimetrico, sono tra loro inversamente correlati. In genere, per le prime raccolte si usano varietà a prevalente produzione ponderale di radici (tipo E), mentre quelle ad alto grado polarimetrico (tipo Z) sono più adatte alle raccolte tardive. Le varietà con caratteristiche intermedie (tipo N) vanno bene per le altre situazioni. In realtà, il periodo di raccolta è deciso in base ad altre esigenze, come la presenza di stress biotici ed abiotici, l'adozione di varietà resistenti e, soprattutto, le necessità organizzative degli zuccherifici. Le varietà tipo Z, di norma inferiori come produzione areale di saccarosio, possiedono una migliore attitudine alla trasformazione industriale data dal più alto grado polarimetrico e dal minore contenuto di non-zuccheri.

18.2.1. Avvicendamento

La barbabietola richiede un'attenta preparazione del terreno per agevolare l'emergenza delle plantule e per lo sviluppo di radici regolari ed uniformi. Ciò comporta che la coltura segua di norma il frumento, in modo da permettere tutte le lavorazioni richieste col terreno nelle opportune condizioni d'umidità. Inoltre, il frumento riduce lo sviluppo di molte specie di malerbe e permette efficaci interventi di diserbo meccanico e chimico sulle stoppie (Scott e Jaggard, 1993).

Le rotazioni inferiori alla triennale sono da evitare per il pericolo di diffusione di malattie gravi, come il nematode a cisti (*Heterodera schachtii*), la rizoctonia ed altri marciumi radicali. Con cicli più lunghi possono essere risolti i problemi legati al controllo delle infestanti più difficili e all'insorgenza di fitopatie latenti. Le rotazioni anche decennali hanno trascurabili effetti sulla limitazione della rizomania e dello sclerozio. Per la sensibilità della barbabietola agli eccessi d'azoto, si sconsiglia di farla seguire a leguminose e a

colture che richiedono elevate quantità dell'elemento, come ad esempio il mais e le ortive.

18.2.2 Preparazione del terreno

Il numero e le modalità delle operazioni di preparazione del terreno da destinare a barbabietola dipendono dalle situazioni locali ed ammettono numerose varianti. In genere, le stoppie di frumento sono lasciate inerbire prima d'intervenire con sarchiature o erbicidi totali. L'aratura è di norma eseguita a profondità superiori ai 45 cm, con eventuale utilizzo di ripuntatori per raggiungere profondità maggiori, ed è preceduta dalla distribuzione di concimi fosfatici e potassici da incorporare nello strato arato. Le tecniche tendenti a ridurre la profondità d'aratura non hanno dato risultati soddisfacenti. Col procedere delle operazioni d'affinamento, va evitata la compattazione superficiale con l'impiego di macchine di piccole dimensioni o fornite di pneumatici a bassa pressione. L'ultimo passaggio eseguito nell'imminenza della semina si limita ad una leggera sarchiatura per muovere il letto di semina ed interrare i concimi azotati. I ristagni d'acqua in superficie sono particolarmente dannosi in tutte le fasi della coltura; si possono evitare ponendo cura al livellamento e alla sistemazione idraulica del terreno.

18.2.3. Semina

Si usano seminatrici meccaniche o pneumatiche a 6 file, provviste normalmente di: i) microgranulatori per distribuire insetticidi nel solco di semina; ii) distributori per concimi fuori o dentro il solco; iii) attrezzature per il diserbo localizzato sulla fila. L'impiego del seme monogerme, come si è detto, ha reso la semina una fase fondamentale per ottenere buone produzioni. Bisogna distribuire una quantità di seme necessaria a garantire un investimento definitivo di 8-10 piante per m². Considerando che si semina su file distanti 45-50 cm, la distanza tra i semi sulla fila è di 14-16 cm, corrispondenti nell'ordine a 16 e 14 piante teoriche per m². Si ottiene l'investimento richiesto se le percentuali d'emergenza sono nella norma (60-80%). I danni maggiori si hanno con nascite scarse (figura 18.1): vanno quindi valutate e combattute tutte le cause che riducono l'emergenza. Fondamentale, a questo proposito, è la qualità germinativa del seme, che deve assicurare un rapido sviluppo della più alta percentuale possibile di semi (Wilson et al., 2001).

In buona parte degli ambienti di coltivazione, la densità di 8-10 piante per m² assicura la migliore produzione di saccarosio per ettaro e la maggiore regolarità nella forma e nelle dimensioni delle radici in funzione della raccolta meccanica. Con densità inferiori, aumentano le fallanze sulle quali è difficile il controllo delle malerbe e che causano variabilità dimensionale alle radici e perdita di superficie assimilante. Con densità superiori, come mostra la figura

18.1, la produzione di saccarosio rimane stabile e migliora l'uniformità delle radici, ma queste sono più piccole; c'è quindi maggiore competizione ed aumentano sia le perdite alla raccolta, sia la quantità di terra aderente.

Il tempo tra la semina e l'emergenza dipende dalle condizioni d'umidità e di temperatura del terreno e dalla profondità di semina. Quest'ultima è normalmente regolata a 1,5-3 cm. Le sarchiature dell'interfila, eseguite prima della copertura del terreno da parte delle foglie, sono utili sia per limitare le perdite d'acqua per evaporazione, sia in caso di crosta o di presenza di malerbe.

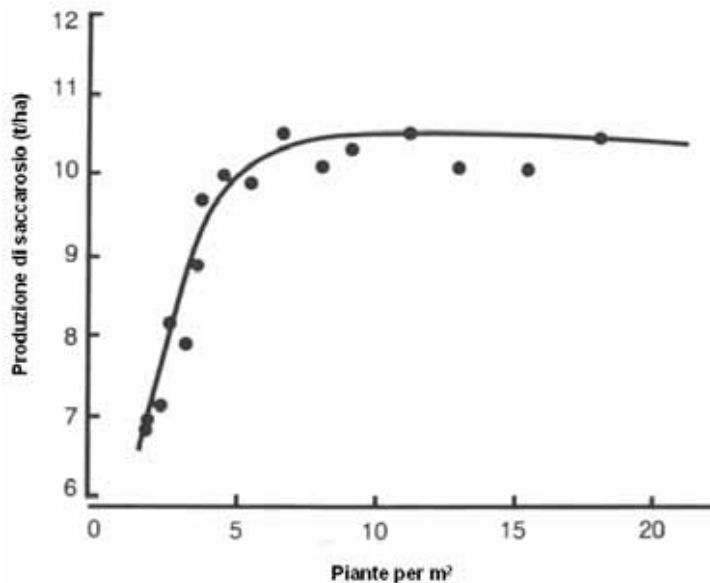


Figura 18.1. Relazione tra la densità di piante per m² e la produzione di saccarosio (da Scott e Jaggard, 1993).

18.2.4. Difesa

Il confetto che ricopre il seme monogerme serve anche per incorporare principi attivi per la protezione delle plantule da diverse specie di funghi e d'insetti. I primi sono responsabili del cosiddetto "mal del piede", un marciume dell'ipocotile che causa la morte della plantula. Tra gli insetti che attaccano precocemente la coltura, si citano l'altica, l'atomaria, gli elateridi, ecc. I parassiti che danneggiano le foglie nelle fasi successive (cercospora, oidio, nottue, afidi, ecc.) sono controllati con fitofarmaci distribuiti all'occorrenza o a calendario.

Più difficile è la lotta contro le malattie radicali. I danni causati da nematodi possono essere ridotti con rotazioni superiori a 3-4 anni e con l'utilizzo di colture intercalari come la senape ed il rafano. Sono anche disponibili varietà resistenti che trovano ancora limitato impiego. Contro la rizomania, una virosi diffusa nella maggior parte delle zone di coltivazione,

l'unico metodo di lotta efficace è la semina di varietà resistenti. Si possono così ridurre buona parte dei danni produttivi in presenza di infezioni di media intensità.

18.2.5. Raccolta

La raccolta si svolge con macchine configurate per eseguire nell'ordine le seguenti operazioni: defogliatura, scollettatura, estirpamento, sterratura, scarico a terra (in cumulo, in andana) o più raramente sui mezzi di trasporto (Wilson et al., 2001). Il ciclo completo può essere eseguito da una o più macchine. Di solito, quelle del primo tipo (a cantieri riuniti) operano su 1 o 2 file e sono adatte per la loro manovrabilità ad appezzamenti piccoli o declivi. Le altre (a cantieri separati) lavorano su 6 file e richiedono ampie superfici e grosse moli di lavoro. Per queste ultime situazioni, si stanno recentemente diffondendo macchine a 6 file con cantieri riuniti.

Nel carico delle radici sui mezzi per il trasporto in zuccherificio, si pone particolare attenzione all'eliminazione della terra aderente o mescolata e talvolta sono usate speciali macchine sterratrici-caricatrici. La cosiddetta "tara-terra" crea problemi notevoli se si considera che in uno zuccherificio di medie dimensioni possono arrivare, mescolate alle radici, oltre 2000 t di terra per giorno. Per facilitare le operazioni di pulizia, le raccolte sono eseguite con terreni al giusto grado d'umidità, specialmente in presenza di elevate percentuali d'argilla o limo. Il tempo tra l'estirpamento e l'inizio della trasformazione deve essere ridotto al minimo per evitare le perdite di saccarosio (per inversione o respirazione) e la riduzione della qualità estrattiva e meccanica delle radici.

18.3. Requisiti culturali

18.3.1. Clima

La coltura è diffusa nell'emisfero nord tra i 30 gradi di latitudine dell'Egitto ed i 60 gradi della Finlandia. Solo il 2% della superficie mondiale è coltivata a sud dell'equatore. La specie possiede buone doti d'adattamento a situazioni climatiche molto diverse; tuttavia, i migliori rendimenti produttivi sono raggiunti in paesi a clima temperato e con regolare distribuzione delle piogge durante lo sviluppo vegetativo. Più a nord, il freddo limita la durata del ciclo produttivo, mentre a sud le temperature superano frequentemente i limiti fisiologici della coltura e le piogge sono insufficienti.

Temperature inferiori a -1°C possono danneggiare le plantule allo stadio cotiledonare (Scott e Jaggard, 1993). Con lo sviluppo del primo paio di foglie, la resistenza al freddo aumenta ed i casi di danni da gelo sono più rari. Basse

temperature nelle fasi successive possono indurre la prefioritura, ossia il passaggio alla fase riproduttiva, con emissione dello scapo e produzione di fiori e di seme. Il fenomeno, oggi relativamente ridotto grazie alla selezione, causa cali produttivi e soprattutto problemi dovuti alla diffusione di polline e di seme. Il polline trasmette la tendenza alla prefioritura e può quindi inquinare le moltiplicazioni di seme commerciale; mentre il seme delle bietole prefiorite può dare origine ad infestazioni delle cosiddette "barbabietole malerbe", piante inselvatichite a ciclo annuale molto difficili da eliminare (Smit, 1983).

Per la germinazione del seme occorrono almeno 5°C. A questa temperatura le piante impiegano circa 18-20 giorni per emergere. La temperatura ottimale per la produzione di sostanza secca è di circa 25°C durante il giorno e di circa 20°C durante la notte (Johnson et al., 1971). Per la concentrazione di saccarosio nella radice (grado polarimetrico) le temperature ideali sono di 20-23°C e di circa 15°C, nell'ordine. A 30-32°C, i processi respirativi annullano il processo fotosintetico (Johnson et al., 1971; Elliott e Weston, 1993). La coltura non ha particolari esigenze per quanto riguarda l'umidità dell'aria. Tuttavia, la bassa umidità relativa riduce in modo notevole lo sviluppo delle malattie fungine di natura fungina.

18.3.2. Suolo

La barbabietola può dare buone produzioni di saccarosio sia in terreni sabbiosi, sia in quelli con elevata componente argillosa, purché sufficientemente profondi. Per le esigenze della meccanizzazione integrale, sono da preferire appezzamenti pianeggianti, uniformi per struttura e perfettamente sistemati dal punto di vista idraulico. Inoltre, è da evitare la presenza di falda superficiale, di suola di lavorazione e di sassi. Per le difficoltà derivate dall'eccesso d'azoto residuo o per problemi legati alla nutrizione minerale, i terreni torbosi o con pH inferiore a 5,5 sono da considerare inadatti alla coltura (Märländer, 1991).

18.3.3. Esigenze idriche

La barbabietola ha un fabbisogno idrico che nei mesi estivi può arrivare a 6 mm il giorno. Occorre intervenire quando l'apparato radicale non è in grado di assorbire la quantità d'acqua necessaria. Sui volumi d'acqua da distribuire influiscono diversi fattori: i) clima; ii) caratteristiche del terreno; iii) stadio di sviluppo della coltura; iv) presenza di falda; v) presenza di malattie e di malerbe; ecc. Tali quantità sono calcolate con la misura dell'evapotraspirazione, da correggere con appropriati coefficienti colturali (Martin, 1983).

Nell'Italia settentrionale, l'approvvigionamento idrico della coltura è di norma sufficiente al fabbisogno, anche per la frequente presenza di falda e di frangia freatica alla portata delle radici. S'interviene quindi con irrigazioni di soccorso solo in annate di siccità prolungata. Nel Meridione, per le normali

condizioni di carenza di precipitazioni primaverili ed estive, la pratica irrigua è pressoché obbligatoria. L'irrigazione è talvolta necessaria per promuovere la germinazione del seme se l'umidità del terreno non è sufficiente. Ciò vale soprattutto nelle condizioni di semina autunnale. Se la carenza d'acqua si verifica dopo la germinazione e prima dell'emergenza, si possono creare condizioni favorevoli alla formazione della crosta. In questo caso, un'irrigazione a pioggia di pochi mm può ammorbidire lo strato superficiale ed assicurare una nascita regolare.

La barbabietola presenta i massimi valori d'evapotraspirazione all'inizio dell'estate, quando l'apparato fogliare raggiunge l'espansione maggiore. In seguito, per la riduzione della radiazione solare e della superficie fogliare e col pieno sviluppo in profondità delle radici, la frequenza e l'intensità degli interventi può essere ridotta (Costantini e Spallacci, 1987). La scelta del sistema e delle modalità d'irrigazione dipendono in massima parte da valutazioni economiche. In genere, in Italia, s'utilizza l'irrigazione a pioggia con irroratori semoventi a grande raggio d'azione. Meno frequente è l'impiego di sistemi a pioggia lenta, fissi o ad ala mobile. Una limitata diffusione trovano la subirrigazione nei campi con drenaggio sotterraneo e, nel Meridione, il sistema a goccia. Molto rari sono i sistemi per scorrimento superficiale. L'irrigazione a pioggia presenta alcuni aspetti negativi per l'incremento delle infezioni fungine causate dall'aumento dell'umidità a livello fogliare e, in parte, al dilavamento dei fungicidi distribuiti a loro protezione.

18.3.4. Elementi nutritivi

La specie possiede un apparato radicale molto sviluppato in profondità. Questa caratteristica limita gli effetti d'eventuali carenze di fertilità del terreno, tanto che tali fenomeni hanno su barbabietola una frequenza relativamente scarsa (Draycott, 1972; Draycott e Christenson, 2003).

L'azoto è l'elemento più critico per la coltura, che ne utilizza da 200 a 250 kg per ettaro. La carenza riduce la produzione di proteine e di clorofilla, l'accrescimento è stentato e la sintesi del saccarosio è fortemente ridotta. Le foglie assumono un colore verde chiaro, sono più piccole, strette e lunghe del normale, mentre le più vecchie tendono a seccare precocemente. L'eccesso d'azoto favorisce l'anormale sviluppo delle foglie e delle radici. Il grado polarimetrico tende quindi ad abbassarsi; si ha inoltre un sensibile peggioramento dei parametri qualitativi correntemente determinati dagli zuccherifici (l'azoto alfa-amminico ed il sodio) e che entrano, assieme ad altri, nel calcolo del coefficiente di purezza (figura 18.2). Le difficoltà di stabilire la giusta quantità dell'elemento da distribuire alla coltura hanno origine dalla complessità del ciclo e dalla difficoltà di determinare con precisione la quantità d'azoto residuo presente nel terreno. Tuttavia, l'impiego sistematico delle analisi del terreno ha consentito di migliorare la corrispondenza tra azoto

distribuito e azoto strettamente necessario alla coltura. In generale, dove la pratica delle analisi preventive è più diffusa, si osserva che, ad una progressiva riduzione delle quantità di concimi azotati distribuite, corrisponde un miglioramento della produzione media e della qualità estrattiva (figura 18.3).

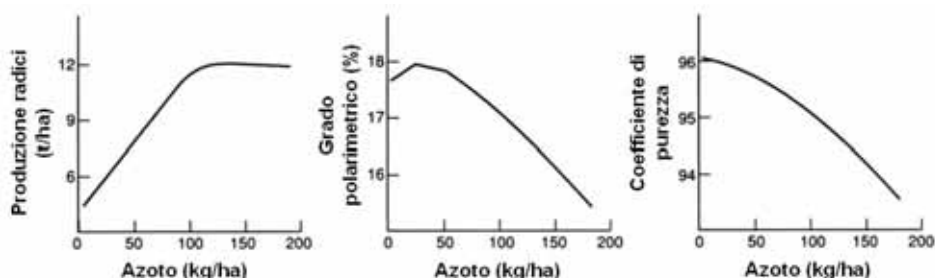


Figura 18.2. Effetto di diverse dosi d'azoto su alcuni parametri produttivi e tecnologici (da Draycott e Christenson, 2003).

La maggiore precisione nel calcolo della fertilità residua è dovuta anche all'aumento della profondità di prelievo dei campioni. Per conciliare al meglio le esigenze produttive e qualitative, occorrerebbe fornire azoto sufficiente per lo sviluppo delle radici e dell'apparato fogliare ed esaurire progressivamente le scorte dell'elemento nell'ultima fase del ciclo produttivo, quando è importante l'affinamento della qualità estrattiva (Johnson et al., 1971). Ciò è possibile solo in terreni sabbiosi con scarso contenuto di sostanza organica e con bassa capacità di scambio. Per problemi legati ai rischi dell'eccessiva mineralizzazione dell'azoto in prossimità della raccolta, l'impiego di concimi organici non è di norma consigliato.

La carenza di fosforo si manifesta in particolare sulle piante giovani, con le foglie che diventano più scure del normale. Nei casi più gravi, compaiono chiazze di colore rosso porpora. I fittoni radicali hanno un accrescimento stentato e tendono ad emettere radici laterali. I terreni carenti hanno spesso reazione alcalina, scarso contenuto di sostanza organica o elevate percentuali di sabbia. I fenomeni di carenza si sono ultimamente ridotti a causa dell'aumentato impiego dell'elemento sulle colture in rotazione. Essendo il fosforo un elemento poco mobile, deve essere incorporato nel terreno al momento delle lavorazioni principali. Per la scarsa tossicità nei confronti del seme, i concimi fosfatici possono essere in parte distribuiti nel solco di semina. In questo caso, hanno l'importante funzione di ridurre i tempi d'emergenza. Non sono segnalati fenomeni negativi dovuti all'eccesso. Con una produzione di radici di 70 t ha^{-1} e 40 t ha^{-1} di foglie e colletti (che rimangono sul terreno), la coltura asporta circa $70 \text{ kg di P}_2\text{O}_5$. Gli apporti, calcolati in base all'analisi del terreno, non superano mediamente i 100 kg ha^{-1} (Draycott e Christenson, 2003).

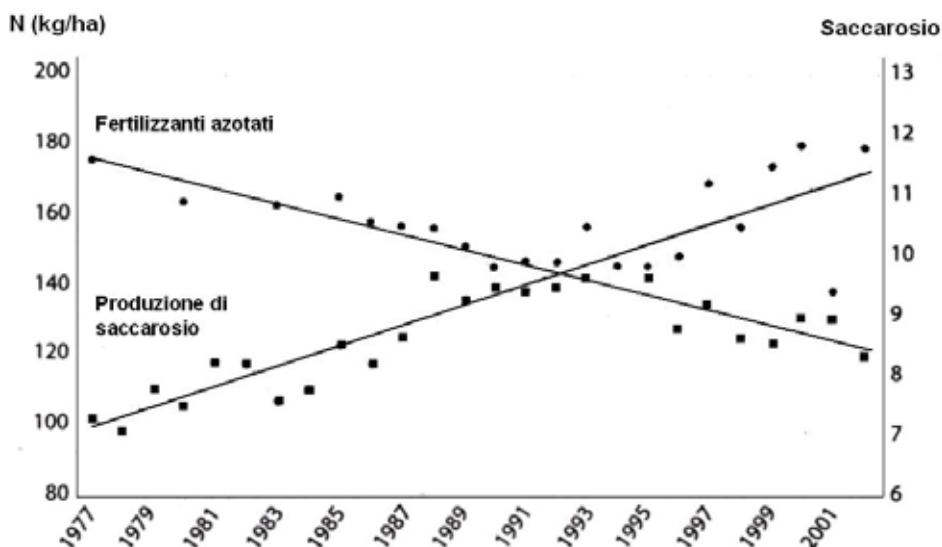


Figura 18.3. Impiego di fertilizzanti azotati e resa di saccarosio rilevati in Francia nel periodo 1977-2001 (da Betteraviere Française).

Il potassio interviene nella fotosintesi e nel trasporto degli zuccheri all'interno della pianta. I sintomi di carenza sono molto rari in Italia, dove i terreni presentano mediamente dotazioni di potassio superiori alla soglia di sufficienza, individuata attorno a 100 ppm di potassio scambiabile (Draycott, 1972; Draycott e Christenson, 2003). La carenza si manifesta con macchie color verde oliva sul margine delle foglie, che tendono a diventare clorotiche e a seccarsi. Il potassio è considerato tra i non-zuccheri più nocivi per il processo di cristallizzazione ed è correntemente analizzato nelle determinazioni della qualità tecnologica in zuccherificio. Secondo Draycott e Christenson (2003), una produzione di 70 t ha^{-1} di radici contiene circa 120 kg di potassio. La concimazione, in condizioni di media disponibilità del terreno, varia da 120 a 180 kg ha^{-1} di K_2O .

Anche le manifestazioni di carenza di zolfo, sodio, calcio e magnesio sono rare in Italia. Solo quella dell'ultimo elemento determina sintomi fogliari (aree giallo-limone alla periferia del lembo fogliare), non confondibili con altre patologie. Danni da eccesso sono noti per il sodio, soprattutto quando le piogge sono inferiori all'evapotraspirato o quando s'irriga con acqua salmastra. In questi casi, l'elemento tende a concentrarsi alla superficie del terreno. Anche se la coltura è considerata tra le più resistenti agli eccessi di salinità, possono avere luogo vari squilibri nella fisiologia della pianta.

In bibliografia sono riferiti diversi sintomi di carenza di microelementi come boro, manganese, ferro, zinco, rame, cloro, molibdeno, ecc. (Draycott e Christenson, 2003). I sintomi sono spesso confondibili con quelli di altri stress biotici e abiotici. Pertanto, l'analisi fogliare o delle frazioni assimilabili presenti

nel terreno è spesso indispensabile per stabilire la necessità d'intervenire con formulati o soluzioni contenenti l'elemento carente. In Italia è segnalato solo qualche caso di carenza di boro. Ciò è in parte dovuto all'elevato fabbisogno del microelemento da parte della coltura. In molti Paesi dove la dotazione dei terreni è scarsa, i concimi in uso sono dotati normalmente di adeguate quantità dell'elemento. I sintomi di carenza non sono confondibili con altre fitopatie e sono noti col termine di "mal del cuore". Questi si evidenziano con la necrosi ed il marciume dell'apice vegetativo delle foglie. La morte dei tessuti si può estendere, nei casi più gravi, al colletto e alla radice. I sintomi descritti possono essere preceduti da un caratteristico arricciamento della lamina fogliare. La distribuzione 25 kg ha⁻¹ di borato di sodio entro giugno risolve di solito gli effetti della carenza. Problemi di eccesso di boro sono segnalati dove l'acqua usata per l'irrigazione contiene più di 5 mg L⁻¹ dell'elemento.

18.4. Attitudine delle terre alla coltivazione della barbabietola da zucchero

La coltivazione della barbabietola da zucchero, da considerare sempre nei suoi stretti rapporti con l'industria saccarifera, è caratterizzata da un largo impiego di mezzi tecnici (soprattutto per il controllo delle malattie e delle malerbe) e di attrezzature ad elevata specializzazione (van Lanen et al., 1992). Sono quindi necessari buoni livelli di professionalità nei coltivatori. L'adattabilità di una coltura a specifiche condizioni di clima e di suolo deve essere integrata da non meno importanti aspetti socio-economici, come la disponibilità di lavoro, di capitali e di attrezzature specifiche, o la distanza dai mercati e dall'industria di trasformazione (van Lanen et al., 1992).

Si è detto che la barbabietola si adatta ad una vasta gamma di terreni, tuttavia, considerando le particolari esigenze di meccanizzazione integrale e di buoni livelli produttivi e qualitativi, le zone potenzialmente adatte si restringono notevolmente. La scarsa permeabilità dei terreni argillosi o limosi causa, in caso di pioggia, problemi di transito più o meno prolungati per le macchine. Si possono così avere ritardi nelle operazioni colturali tali da accorciare anche di 30-60 giorni il ciclo vegetativo. Piogge estese e prolungate possono causare il blocco delle raccolte ed interrompere la lavorazione degli zuccherifici, dando origine a diversi problemi tecnici ed economici. Per evitare le difficoltà possibili in ottobre nel caso di piogge continue, è necessario iniziare le raccolte nei primi giorni d'agosto, quando la produzione di saccarosio è il 60-70% di quanto ottenibile in settembre. In altre nazioni, dove i terreni sono più sciolti, le raccolte possono continuare fino a dicembre e, di conseguenza, la campagna saccarifera può iniziare più opportunamente in settembre, con evidenti vantaggi produttivi.

La coltura presenta una buona tolleranza alla salinità e al calcare attivo. I limiti riportati nelle tabelle seguenti dipendono in parte dagli effetti di tali

componenti sulle caratteristiche strutturali del terreno. Devono essere esclusi dalla coltivazione i terreni con presenza anche minima di ghiaia o sassi: i) per la precisione richiesta nelle operazioni di semina; ii) per non intralciare il lavoro degli organi escavatori nel corso della raccolta meccanica; iii) per non ostacolare le operazioni di stoccaggio, di pulizia e di taglio delle radici in zuccherificio.

La coltivazione richiede circa 600 mm d'acqua uniformemente distribuita, dalla semina alla raccolta, per esprimere al massimo la propria attitudine produttiva. Se il fabbisogno giornaliero non è soddisfatto, occorre irrigare. In questo caso, la possibilità d'intervenire nelle quantità e nei tempi richiesti rappresenta la condizione necessaria per ottenere la massima produzione.

Diversi agenti patogeni, come il virus della rizomania, la cercospora, il nematode a cisti, lo sclerozio, la rizoctonia, sono in grado di deprimere la produzione di zucchero sotto il livello di convenienza economica. Ciò vale anche nel caso di disponibilità di resistenze genetiche specifiche o di sistemi di lotta integrata, che riducono, ma non annullano i danni. Nel caso d'infezioni da sclerozio, per le quali non esiste alcun rimedio efficace, la coltivazione di barbabietola deve essere evitata.

Nel valutare l'attitudine delle terre alla coltivazione della barbabietola sono stati considerati i caratteri difficilmente modificabili. Infatti, la presenza nei suoli di più o meno adeguati livelli di macro e micro-fertilità non rappresentano in genere fattori in grado di condizionare le scelte colturali. È da sottolineare che nella valutazione integrata assumono un peso determinante altre variabili, oltre a quelle pedologiche, come la distanza dallo zuccherificio e dalle tradizionali zone bieticole ed altri fattori socio-economici. Infine, occorre tener presente che le recenti direttive dell'Unione Europea limiteranno la coltivazione alle zone con buona od ottima produzione areale di zucchero. In uno scenario di prezzi calanti, le considerazioni economiche tendono ad aggravare l'effetto limitante dei fattori agronomici sopra descritti.

18.5. Caratteri funzionali dei suoli e tabelle di valutazione

Le tabelle 18.1, 18.2 e 18.3 sono state compilate in base alle indicazioni bibliografiche e alle poche esperienze realizzate in ambiente italiano. I dati pedologici ed ambientali utilizzati per la valutazione integrata dell'attitudine dei terreni alla coltivazione della bietola, talvolta risalgono ad alcuni decenni fa. Pertanto, tali informazioni sono da considerare alla luce dell'attuale tendenza alla contrazione delle superfici coltivate, che appare irreversibile almeno per i prossimi dieci anni.

Tabella 18.1. Requisiti per la coltivazione della barbabietola da zucchero.

REQUISITI	CONDIZIONI OTTIMALI
<i>Climatici</i>	
Temperatura dell'aria	media
Umidità dell'aria	da bassa a media
<i>Colturali</i>	
Tessitura	da sabbiosa a franco argillosa
Disponibilità di ossigeno	buona e costante a tutte le profondità
Disponibilità idrica	da bassa a media
Profondità del suolo	almeno 250 cm
Falda idrica estiva	superiore a 250 cm
Orizzonti impenetrabili dalle radici	assenti
Disponibilità di nutrienti	da bassa a media
Torba	assente
Salinità del suolo	da bassa a media
Reazione del suolo	da neutra ad alcalina
Pietrosità	assente
Malattie non controllabili	assenti
<i>Gestionali</i>	
Trafficità	tempestiva
Lavorabilità e meccanizzazione	facile
<i>Per la conservazione del suolo e dell'ambiente</i>	
Rischio di inquinamento delle falde	bassa
Rischio di degradazione per costipamento	bassa

Nella tabella 18.1, sono riportati i requisiti fisici qualitativi che permettono di considerare un terreno economicamente coltivabile a barbabietola. Nella tabella 18.2, ogni fattore è stato suddiviso in gradi d'intensità capaci di ridurre la produzione di zucchero. I caratteri elencati nella tabella 18.2 variano d'importanza in funzione della profondità del terreno. Alcune caratteristiche fisiche, come ad esempio la pietrosità, sono da considerare più importanti se riferite allo strato arato piuttosto che agli orizzonti sottostanti. Altri parametri, correlati alla nutrizione della coltura, interessano tutto lo strato esplorato dalle radici. Anche in questo caso, essi diminuiscono la loro influenza con l'aumentare della profondità. Altri caratteri ancora, come il drenaggio interno, sono invece da considerare in tutto lo strato di terreno raggiunto dall'apparato radicale della barbabietola. Nella tabella 18.3, i gradi d'intensità della tabella 18.2 sono ordinati secondo 4 classi d'attitudine alla coltivazione.

18.2. Classi dei caratteri del suolo (primi 250 cm circa) funzionali per la coltivazione della barbabietola da zucchero.

Caratteri funzionali	Classi	
Pendenza	z0	pianeggiante (0- 5%)
	z1	debole (6-13%)
	z2	moderata (14-20%)
	z3	forte o scoscesa (oltre 21%)
Pietrosità (% vol.)	p0	assente
	p1	molto scarsa (ghiaie, ciottoli e pietre < 0,3%)
	p2	scarsa (ghiaie, ciottoli e pietre 0,3-1%)
	p3	comune o più frequente (ghiaie, ciottoli e pietre >1%)
Drenaggio interno	d0	ben drenato o moderatamente ben drenato
	d1	piuttosto mal drenato
	d2	mal drenato
	d3	molto mal drenato
Profondità	w0	profondo o molto profondo (> 250 cm dalla superficie)
	w1	poco profondo (< 250 cm dalla superficie)
Calcare attivo	c0	debole (0-15%)
	c1	moderato (16-20%)
	c2	forte (>20%)
Salinità (dS.m ⁻¹)	s0	<2
	s1	2,1-4
	s2	4,1-8
	s3	>8
Sodio scambiabile sul complesso di scambio (ESP)	n0	<8,0%
	n1	8,1-15%
	n2	>15%
Torba	t0	assenza di torba nei primi 250 cm dalla superficie
	t1	presenza di torba nei primi 250 cm dalla superficie
Reazione	r0	subacida, neutra o subalcalina (pH in acqua ≥5,5)
	r1	acida (pH in acqua <5,5)
Malattie non controllabili	m0	assenti
	m1	presenti

18.3. Guida per l'attribuzione delle classi di attitudine dei suoli alla coltivazione della barbabietola da zucchero.

Caratteri funzionali	Classi			
	S1 molto adatti	S2 adatti	S3 marginalmente adatti	N non adatti
Pendenza	z0	z0	z1	z2 - z3
Pietrosità	p0	p0	p0	p1 - p3
Drenaggio	d0	d0	d1	d2 - d3
Profondità	w0	w0	w0	w1
Calcare	c0	c1	c2	c2
Salinità	s0	s1	s2	s3
ESP	n0	n1	n2	n2
Torba	t0	t0	t0	t1
Reazione	r0	r0	r0	r1
Malattie non controllabili	m0	m0	m1	m1

Classe S1: molto adatta. Il suolo non presenta limitazioni di rilievo ed è capace di assicurare più del 80% della produzione massima possibile nelle migliori aziende della zona, con impiego ordinario di mezzi tecnici.

Classe S2: moderatamente adatta. I suoli presentano alcune limitazioni di rilievo e assicurano il 60-80% della produzione massima ottenibile nella zona.

Classe S3: marginalmente adatta. Il suolo presenta limitazioni severe che riducono la produzione al 40-60% di quanto ottenibile nella zona.

Classe N: non adatta. Le limitazioni presenti rendono impossibile ogni ipotesi di coltivazione.

Bibliografia

- BIANCARDI, E., 1999a. *Storia e diffusione della bieticoltura e dell'industria saccarifera*. In: Casarini, B., Biancardi, E., Ranalli, P., (Ed.), *La barbabietola da zucchero in ambiente mediterraneo*, Edagricole, Bologna, 1-38.
- BIANCARDI, E., 1999b. *Miglioramento genetico*. In: Casarini, B., Biancardi, E., Ranalli, P., (Ed.), *La barbabietola da zucchero in ambiente mediterraneo*, Edagricole, Bologna, 57-145.
- CASARINI, B., BIANCARDI, E., RANALLI, P., 1999. *La barbabietola da zucchero in ambiente mediterraneo*. Edagricole, Bologna.
- COSTANTINI, E.A.C., SPALLACCI, P., 1987. *Variazioni pedologiche e risposta agronomica di alcune colture irrigue e asciutte nella Bassa Valle Padana*. Annali Ist. Sperim. Studio e Difesa del Suolo, Firenze, 18, 75-88.
- DRAYCOTT, A.P., 1972. *Sugar beet nutrition*. Applied Science Publishers Ltd, London.
- DRAYCOTT, A.P., CHRISTENSON, D.R., 2003. *Nutrients for sugar beet production*. CABI Publishing, Cambridge MA, USA.

- ELLIOTT, M.C., WESTON, G.D., 1993. *Biology and physiology of the sugar beet plant*. In: D.A. Cooke, Scott, R.K., (Ed.), *The sugar beet crop*, Chapman & Hall, London, 37-66.
- JONHSON, R.T., ALEXANDER, J.T., BUSH, G.E., HAWKES, G.R., 1971. *Advances in sugar beet production*. Iowa State University Press, Ames IA, USA.
- MÄRLÄNDER, B., 1991. *Zuckerrüben*. Bernhardt-Patzold, Stadthagen, Germania.
- MARTIN, S.S., 1983. *Sugarbeet*. In: I.D. Teare and M.M. Peet (Ed.), *Crop Water relations*, Wiley, New York, 423-443.
- SCOTT, R.K., JAGGARD, K.W., 1993. *Crop physiology and agronomy*. In: Cooke, D.A. and Scott, R.K. (Ed.), *The sugar beet crop*, Chapman & Hall, London, 179-237.
- SMIT, A.L., 1983. *Influence of external factors on growth and development of sugar beet (Beta vulgaris L.)*. Pudoc, Wageningen, NL.
- VAN LANEN, H.A.J., VAN DIEPEN, C.A., REINDS, G.J., DE KONING, G.H.J., 1992. *A comparison of qualitative and quantitative physical land evaluations, using an assessment of the potential for sugar beet growth in the European community*. Soil Use & Management, 8, 80-89.
- WILSON, R.G., SMITH, J.A., MILLER, S.D., 2001. *Sugarbeet production guide*. University of Nebraska, Lincoln NE, USA.
- WINNER, C., 1981. *Zuckerrübenbau*. DLG Verlag, Monaco.

Ministero delle Politiche Agricole, Alimentari e Forestali
Osservatorio Nazionale Pedologico e per la Qualità del Suolo Agricolo e Forestale

In collaborazione con:
International Union of Soil Sciences
Società Italiana della Scienza del Suolo
Commissione VI - Uso e Conservazione del Suolo

CHISCI, G., 2006. *Farro*. In: Costantini, E.A.C. (Ed.), *Metodi di valutazione dei suoli e delle terre*, Cantagalli, Siena, pp. 922.

Collana dei metodi analitici per l'agricoltura diretta da Paolo Sequi, vol. 7

CRA - Consiglio per la Ricerca e la Sperimentazione in Agricoltura
Istituto Sperimentale per lo Studio e la Difesa del Suolo, Firenze

19. Farro

Giancarlo Chisci¹

19.1 Caratteristiche della coltura	2
19.2 Tecnica colturale.....	2
19.2.1 Avvicendamento	2
19.2.2 Operazioni colturali.....	3
19.3. Attitudine delle terre alla coltivazione del farro.....	4

19.1 Caratteristiche della coltura

Il farro (*Triticum dicoccum*, Schrank) è un grano vestito addomesticato, analogamente al frumento tenero e duro, della famiglia delle graminacee e proveniente dalla medesima zona d'origine del Medio Oriente. È il primo grano ad essere stato coltivato ed è stato per molti secoli la più importante fonte d'alimenti nell'area eurasiatica. Cereale principale delle più antiche civiltà mediterranee (Egizia, Greca e Romana), la sua coltivazione si è progressivamente contratta in seguito all'introduzione dei frumenti nudi, più facili da coltivare, più reattivi agli *input* tecnologici e, soprattutto, che non richiedono operazioni come la sbramatura nel passaggio dal campo alla mensa.

Oggi, il farro viene ancora coltivato in Italia in alcune nicchie del territorio nazionale dove fa parte della tradizione culinaria locale. Recentemente ha riscosso una notevole rivalutazione nell'ambito della ristorazione nazionale.

19.2 Tecnica colturale

19.2.1 Avvicendamento

La tecnica tradizionale per la coltivazione del farro è molto semplificata e di tipo estensivo, tramandata generalmente in aziende di collina e montagna, e basata sull'impiego di razze locali.

L'avvicendamento è quasi sempre rappresentato dalla coltivazione dopo la rottura di un prato (generalmente medicaio di terzo anno) o da un "rinfarro"

¹ Università degli Studi di Firenze

sullo stesso terreno. Il prato falciato e/o pascolato, oltre a residuare nel terreno una buona struttura, lascia al terreno anche “forza vecchia” (accumulo di residui organici da parte del prato poliennale) di cui la coltura del farro può beneficiare con gradualità nello svolgimento del ciclo colturale, dato che normalmente la coltura non riceve concimazioni all’impianto né successivamente. Il prato, inoltre, anche per le caratteristiche del suo utilizzo mediante falciatura o pascolo, determina un buon controllo dell’infestazione di malerbe.

19.2.2 Operazioni colturali

Preparazione del terreno

La lavorazione del terreno è attuata mediante un’aratura o fresatura superficiale per la rottura del prato o per l’interramento dei residui della coltura di farro precedente nel corso del periodo estivo. Dopo le prime piogge autunnali è consigliabile eseguire un ripasso per l’interramento delle infestanti eventualmente rinate (falsa semina) che completa la preparazione del letto di semina. La tempestività di queste operazioni è particolarmente importante perché l’esito dell’investimento di piante di farro a m² dipende in larga misura dalla modalità e tempestività della semina.

Semina

Il seme vestito viene generalmente seminato a spaglio con l’impiego di un “frullino”, utilizzandone circa 150 kg ha⁻¹. Alla semina segue un’erpatura con erpice oscillante per l’interramento delle spighette-seme, possibilmente seguita da una rullatura con rullo scanalato allo scopo sia di posizionare le spighette-seme ad una certa profondità (2-3 cm), sia di far meglio aderire il terreno al seme. La semina deve essere attuata tempestivamente, possibilmente entro il mese di ottobre, al fine di avere un buon investimento.

Concimazione

La coltura del farro non riceve normalmente concimazioni organiche e minerali dirette, ma si avvale fondamentalmente della “forza vecchia” immagazzinata nel terreno nel corso delle colture che la precedono. Nell’eventualità di un “rinfarro”, l’unica concimazione che può essere prevista è quella organica (20-30 t di letame per ettaro). L’impiego di concimi minerali azotati in copertura è generalmente sconsigliato perché la pianta di farro ha taglia elevata e pertanto è particolarmente soggetta all’allettamento.

Diserbo e impiego di antiparassitari

Non è previsto nessun impiego di diserbanti chimici, mentre si avrà la massima cura di eseguire operazioni meccaniche ed agronomiche atte a ridurre la presenza delle infestanti nella coltura.

Per quanto riguarda l'impiego di antiparassitari, esso si limita generalmente a quelli necessari per la conservazione delle spigchette-seme in magazzino per l'utilizzo nelle semine dell'anno successivo.

19.3. Attitudine delle terre alla coltivazione del farro

La coltivazione del farro è localizzata in differenti nicchie dell'Italia Centrale e Meridionale ed impiega generalmente razze locali alternative e non alternative. In generale, si tratta d'ambienti di collina e di montagna, con terreni poveri, talora anche acidi, pietrosi e di scarsa profondità. È pianta con modeste esigenze idriche, largamente assicurate dalle disponibilità presenti naturalmente dato l'ambiente ed il periodo stagionale di coltivazione. Il farro teme fortemente il ristagno idrico nel terreno. Date le caratteristiche della pianta (taglia alta), il farro teme i forti venti ed i temporali primaverili che determinano facilmente l'allettamento della coltura.

In figura 19.1 e 19.2 sono mostrate le tabelle con i requisiti colturali e l'attitudine dei suoli alla coltivazione.

Tabella 19.1. Requisiti Colturali.

REQUISITI	CONDIZIONI
Climatici	
Temperatura dell'aria	media
Altitudine	400-1000 m s.l.m.
Umidità dell'aria	media
Piovosità	elevata
Pedologici	
Morfologia	da pianeggiante a declive
Tessitura	da sabbiosa a franca
Struttura	buon livello di aggregazione
Pietrosità	anche elevata
Profondità del suolo	media
Disponibilità di ossigeno	buona
Disponibilità di nutrienti	media
Reazione del suolo	da acida a neutra
Salinità del suolo	assente
Gestionali	
Trafficabilità	buona
Lavorabilità del terreno	buona
Meccanizzazione	discreta
Conservazione del suolo e dell'ambiente	
Rischio di erosione	elevato
Rischio di inquinamento	basso
Rischio di costipamento	basso

Tabella 19.2. Attitudine dei suoli alla coltivazione del farro.

Caratteristiche	Ottimali	Sub-ottimali	Marginali	Non adatte
Profondità (cm)	40-60	30-40	20-30	<20
Tessitura	F,FL,FS, SL	AL, FA,FAS	torboso	A
Salinità (dS m ⁻¹)	<4	4	4-10	> 10
pH	6-7	5-6	4,5-5	< 4, > 8
Carbonio organico	1-2	> 2	< 0,5	
Scheletro	< 20	20-35	35-70	> 70
Drenaggio	ben drenato	moderatamente ben drenato	piuttosto mal drenato	mal drenato
CaCO ₃ (%)	0,5-5	5-10	20-40	> 40
CSC (cmol kg ⁻¹ suolo)	5-10	0,5-5, 10-15	< 0,5	

Ministero delle Politiche Agricole, Alimentari e Forestali
Osservatorio Nazionale Pedologico e per la Qualità del Suolo Agricolo e Forestale

In collaborazione con:
International Union of Soil Sciences
Società Italiana della Scienza del Suolo
Commissione VI - Uso e Conservazione del Suolo

BRAGATO, G., GARDIN, L., LULLI, L., RAGLIONE, M., 2006. *Tartufi eduli*. In: Costantini, E.A.C. (Ed.), *Metodi di valutazione dei suoli e delle terre*, Cantagalli, Siena, pp. 922.

Collana dei metodi analitici per l'agricoltura diretta da Paolo Sequi, vol. 7

CRA - Consiglio per la Ricerca e la Sperimentazione in Agricoltura
Istituto Sperimentale per lo Studio e la Difesa del Suolo, Firenze

20. Tartufi eduli

Gilberto Bragato¹, Lorenzo Gardin², Luciano Lulli³, Marcello Raglione⁴

20.1. Premessa.....	2
20.2. <i>Tuber magnatum</i> Pico. Tartufo bianco	3
20.3. <i>Tuber melanosporum</i> Vittad. Tartufo nero pregiato	7
20.4. <i>Tuber aestivum</i> Vittad.....	11
20.5. <i>Tuber brumale</i> Vittad.....	13
20.6. <i>Tuber Borchii</i> Vittad.....	13
20.7. Considerazioni generali.....	16
Bibliografia di riferimento.....	18

20.1. Premessa⁵

I funghi possono essere definiti organismi eucarioti non piante e non animali che si sviluppano a partire da spore. Il nucleo cellulare è composto da una singola serie di cromosomi. Sono eterotrofi obbligati. I funghi fanno parte di un regno a se, del quale si conosce poco. Tra tutte le migliaia di specie di funghi, quelle del genere *Tuber* si sviluppano nel terreno e si riproducono per spore contenute in particolari involucri detti aschi. Il loro corpo fruttifero, il carpoforo, è quello che comunemente chiamiamo tartufo. Le ife hanno cellule separate da setti che consentono lo scorrimento di strutture e sostanze intracellulari.

¹ CRA - Istituto Sperimentale per la Nutrizione delle Piante, Gorizia

² Libero professionista, Firenze

³ Già CRA - Istituto Sperimentale per lo Studio e la Difesa del Suolo, Firenze

⁴ CRA - Istituto Sperimentale per la Difesa del Suolo, Rieti

⁵ Sono stati determinanti per le considerazioni che saranno esposte i contributi del professor Mattia Bencivenga, e delle dottoresse Gabriella Di Massimo e Domizia Donnini dell'Università di Perugia, che ci hanno assistiti per tutto ciò che concerne l'aspetto bio-ecologico del problema tartufi. La successione dei nomi degli estensori della scheda segue l'ordine alfabetico, in quanto ogni singola tessera del mosaico ha permesso di affrontare questo problema ancora molto oscuro.

Le brevi e schematiche notizie appena espresse ci dicono che i tartufi sono degli allegri sconosciuti. Le ricerche sui tartufi sono poche, dato lo scarso interesse economico e sociale per la conoscenza dei funghi che non siano connessi alla salute dell'uomo o ai processi di fermentazione.

La scheda che proponiamo cerca di dare informazioni utili per la conoscenza degli *habitat* dei quattro tartufi eduli principali che, se poco conosciuti per la loro fisiologia, cioè come sviluppano la loro simbiosi con le radici delle piante, tuttavia hanno degli ambienti di fruttificazioni ben definiti per ogni specie; aspetto che cercheremo di dimostrare. Non si tratta in questo caso di una relazione tra qualità del suolo e qualità della pianta, ma di riconoscere i luoghi di fruttificazione, i siti cioè dove il fungo riesce a riprodursi. Per una tale impostazione è necessario prima di tutto che le ife possano diffondersi ovunque esistono piante simbiotiche e poi che le condizioni suolo vengano raggiunte. Per evitare enigmi è bene esprimere il concetto in altri termini: il fungo si estende ovunque incontra piante simbiotiche, ma si riproduce se e solo se si creano le condizioni suolo adatte alla fruttificazione. Accettato questo assunto, possiamo affrontare il tema della collocazione ambientale e spaziale dei singoli tartufi.

Infine, ricordiamo che i tartufi riportati nella scheda sono quelli che hanno avuto degli studi ambientali che si sono preoccupati di individuare i caratteri pedogeografici che potessero in qualche modo indicare le caratteristiche degli ambienti di crescita dei carpofori.

20.2. *Tuber magnatum* Pico. Tartufo bianco

Detto anche tartufo di Alba, si rinviene in quasi tutte le Regioni d'Italia, dal Piemonte alla Basilicata, nelle aree balcaniche adriatiche e nel medio bacino del Danubio. Il corpo fruttifero ha dimensioni variabili da quella di un pisello a quella di una grossa arancia e raramente è ancora più grande (sono stati raccolti carpofori di eccezionale grandezza e del peso di oltre 2 kg). Il peridio è liscio, di colore variabile dall'ocra pallido al giallo chiaro al verde tenue e talora con sfumature rossastre. Anche la gleba è di colore variabile dall'ocra chiaro al nocciola più o meno intenso ed è solcata da numerose vene bianche e sottili che scompaiono con la cottura. Gli aschi sono globosi od obovati, sub-pedunculati, contengono 1-4 spore e misurano in media 60-70 x 40-65 µm. Le spore sono di tipo alveolato, rotonde o lievemente ellittiche, il diametro è mediamente di 21-30 µm e gli alveoli sono grandi (10-20 µm di diametro), all'osservazione microscopica se ne contano 3-4. Si raccoglie da ottobre a dicembre sotto diverse specie arboree come le querce (*Quercus pubescens* Willd., *Quercus robur* L., *Quercus cerris* L.), i pioppi (*Populus sp.pl.*), i salici (*Salix sp.pl.*), i carpini (*Carpinus betulus* L., *Ostrya carpinifolia* L.), il nocciolo (*Corylus avellana* L.), i tigli (*Tilia sp. pl.*), i pini (*Pinus pinea* L.), ecc. nei terreni non molto evoluti, generalmente poveri di scheletro, ma permeabili, a reazione

prevalentemente sub-alcaina (figura 20.1), ricchi di carbonato di calcio (figura 20.2), e dotati di un sufficiente grado di umidità durante tutte le stagioni. Inoltre, gli orizzonti che li ospitano sono molto soffici (densità apparente 1-1,1). Il terreno è ricco di macropori interconnessi e quindi ben aerato. Le zone di raccolta si rinvergono sotto copertura vegetale, soprattutto nei fondovalle, lungo i corsi d'acqua, e sui pendii collinari sottoposti a dinamica di versante; ovunque i processi morfologici, siano essi dovuti a fenomeni fluviali o di versante, attuano un disordine continuo delle particelle del suolo, sia attraverso deposizione continua di materiale alluvionale e colluviale, sia per fenomeni franosi, e dove persiste un sufficiente grado di umidità. In particolari, pedoambienti caratterizzati da roccia madre costituita da affioramenti rocciosi di marne tenere (areale di Acqualagna) in prossimità di piante isolate. Nelle tartufaie naturali produttive si rilevano sempre microclimi ben definiti ed uniformi, caratterizzati da limitate temperature estive, poco pronunciate escursioni termiche giornaliere e stagionali, elevata umidità dell'aria. Al contrario di quanto accade per il tartufo nero (*Tuber melanosporum* Vittad.), la sua presenza non viene segnalata da alterazioni della vegetazione (pianello).

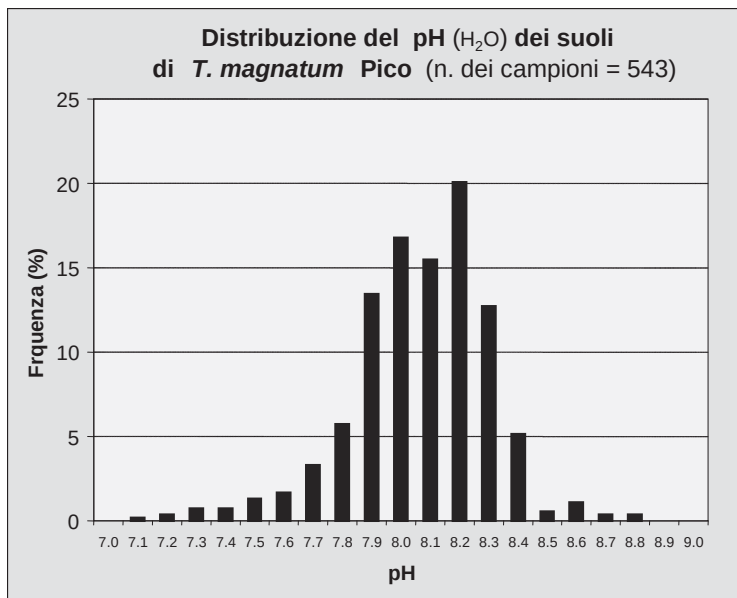


Figura 20.1. La concentrazione idrogenionica dei suoli che ospitano *T. magnatum* si addensa intorno a pH 8,1, dimostrando una predisposizione del prodotto tartufo decisamente subalcaina.

In un areale produttivo, solo i suoli che hanno particolari caratteristiche possono consentire la fruttificazione dei carpofori, tanto è vero che, come è riportato in tabella 20.1 e ripreso in figura 20.3, alcuni suoli, sebbene simili dal

punto di vista evolutivo, generalmente non producono, a meno che condizioni climatiche estreme per quell'ambiente, come una continua siccità estiva o una annata particolarmente umida, non creino altrove le condizioni idonee di fruttificazione. Si sono verificate annate particolarmente umide nelle quali si sono avute fruttificazioni anche intense lungo i versanti di aree solitamente produttive nei fondovalle, con scarse o nulle produzioni lungo il corso del fiume. La profondità di raccolta varia da pochi centimetri (2-5 cm) fino a oltre mezzo metro; di norma la maggior parte di tartufi bianchi si trova a profondità comprese tra 5 e 20 cm.

Tabella 20.1. Caratteristiche morfopedologiche dei suoli più rappresentativi del medio bacino del fiume Mirna, Istria.

ORIZZONTE		Settore 1	Settore 5	Settore 3	Settore 6
		Fondovalle produttivo	Fondovalle periodicamente produttivo	Fondovalle non produttivo	Versante non produttivo
OF	Profondità (cm)			1,5 – 0	
	Colore (Munsell)			2.5YR 2/1	
A	Profondità (cm)	0 - 15	0 – 10	0 – 15	0 - 8
	Colore (Munsell)	2.5YR 4/2	2.5YR 4/2	2.5YR 4/1	10YR 3/3
	Screziature ocra			2 mm, 10%	
	Grado di strutturazione	debole	debole	debole	moderato
AC	Profondità (cm)		10 - 33		
	Colore (Munsell)		2.5YR 4/3		
	Grado di strutturazione		debole		
BC/Bw	Profondità (cm)				8 – 39
	Colore (Munsell)				10YR 4/4
	Grado di strutturazione				evidente
C	Profondità (cm)	15 - 100+	33 - 100+	15 – 100+	39 – 65
	Colore (Munsell)	2.5YR 5/4	2.5YR 5/4	2.5YR 5/5	10YR 4/6
	Screziature ocra	3 mm, 15%		4 mm, 30%	
	Grado di strutturazione			debole	debole

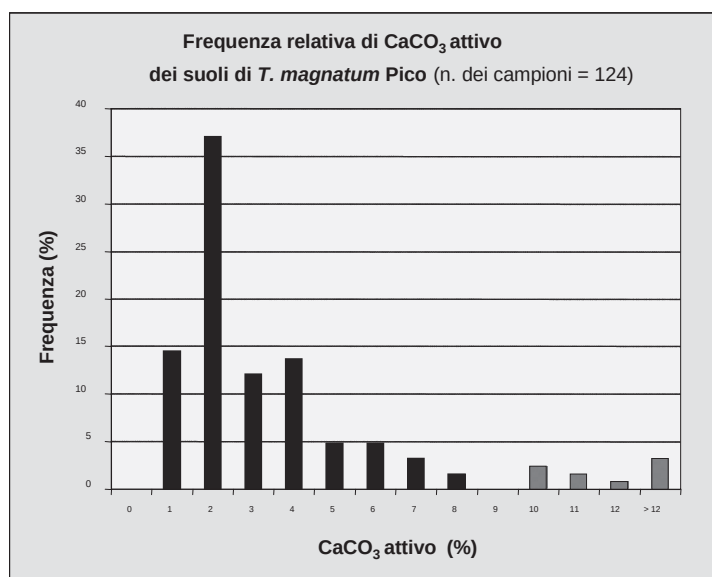


Figura 20.2. Il calcare è quasi sempre presente e quello attivo, che presenta un picco sul 2%, può raggiungere anche valori elevati, specie nei terreni marnosi.

T. magnatum può essere scambiato con il tartufo bianchetto (*Tuber borchii* Vittad.) che ha caratteristiche morfologiche simili; quest'ultimo si differenzia per il diverso periodo di raccolta, perché di solito è più piccolo, ha un peridio di colore non omogeneo che passa dal grigio al fulvo al marrone e non è mai giallo come il tartufo bianco, che invece ha un colore omogeneo e solo in qualche caso presenta sfumature rossastre. Altri elementi diagnostici sono le vene della gleba, che sono sottili e ravvicinate nel tartufo bianco e distanziate e più ampie nel bianchetto; il profumo è penetrante e gradevole nel tartufo bianco e agiaceo e sgradevole nel bianchetto. A livello microscopico, le spore del bianco si presentano con alveoli molto grandi ed irregolari, mentre quelle del bianchetto sono provviste di numerosissimi alveoli molto piccoli e disposti a nido d'ape. Solo alcune delle piantagioni realizzate da una quindicina d'anni, e dove sussistono le condizioni microambientali idonee al tartufo bianco per fruttificare (elevato ombreggiamento, arricchimento superficiale del terreno di materia organica, ecc.), sono entrate in produzione. A tale proposito va rilevato che analisi enzimatiche e biomolecolari condotte su piante micorrizate con le spore di questa specie hanno rilevato la presenza di micorrize ascrivibili esclusivamente a tartufi del gruppo del bianchetto. È per tale motivo che da oltre 10 anni non vengono più impiantate tartufoie di tartufo bianco e gli istituti di ricerca non rilasciano più certificati di micorrizzazione delle piante inoculate con tale specie. Allo stato attuale, l'incremento della produzione può essere realizzato effettuando, nelle tartufoie naturali, interventi

capaci di creare e mantenere le condizioni ecologiche idonee al tartufo per fruttificare.

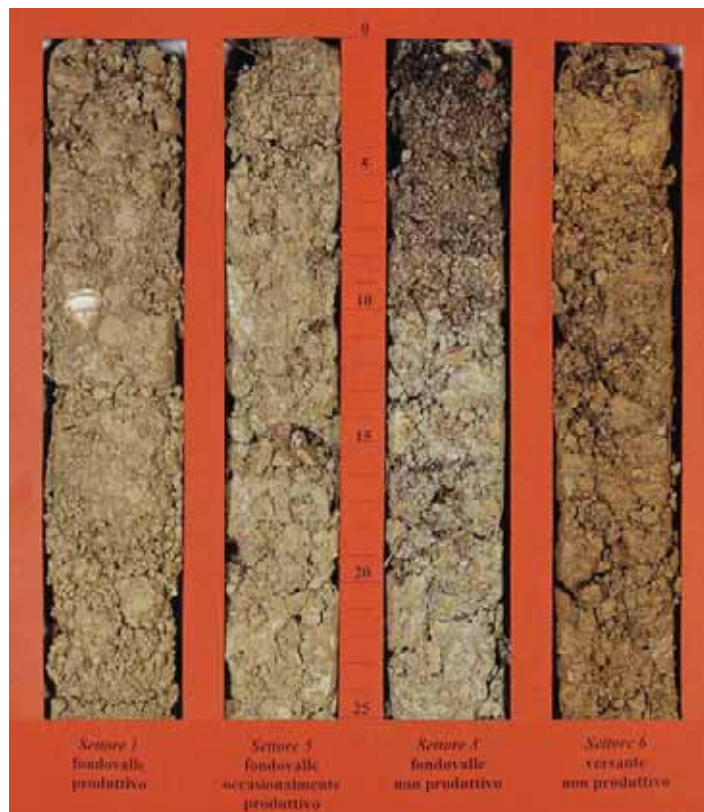


Figura 20.3. Monoliti di quattro suoli prelevati da Gilberto Bragato nella valle del f. Mirna in Istria che rappresentano altrettanti suoli di possibile produzione di *T. magnatum*.

*Si nota come i suoli non produttivi abbiano o ristagno di acqua in qualche periodo dell'anno o abbiano sviluppato ed organizzato aggregazioni di parti di suolo tali da modificare la distribuzione dei pori e forse il grado di ossigenazione del sistema. Per cui in questo ambiente sono idonei alla fruttificazione quei terreni alluvionali attuali nei quali si conserva la distribuzione caotica delle particelle elementari del suolo. In altre parole dove, nelle annate normali, il corso d'acqua esonda è più probabile la produzione di carpofori di *T. magnatum*.*

20.3. *Tuber melanosporum* Vittad. Tartufo nero pregiato

Chiamato anche tartufo nero di Norcia o di Spoleto, tartufo nero dolce, trifola nera, si raccoglie in Italia da dicembre a marzo in tutto l'Appennino centro-

settentrionale sotto le piante di roverella (*Quercus pubescens*), di leccio (*Quercus ilex*), di nocciolo (*Corylus avellana*), di carpino (*Ostrya carpinifolia* e *Carpinus sp.pl.*), di pino domestico (*Pinus pinea*), di cisto (*Cistus incanus*), ecc. Le regioni più produttive sono l'Umbria, le Marche, l'Abruzzo e il Lazio. Rispetto al tartufo bianco, *Tuber melanosporum* ha un areale più ampio comprendente buona parte del bacino del Mediterraneo (Spagna, Portogallo, Francia, Italia, ex-Jugoslavia e Grecia). In particolare, in Francia è molto diffusa la sua raccolta e coltivazione e, con il nome di "Tartufo del Perigord" viene esportato in ogni parte del mondo.

Il corpo fruttifero ha una grandezza variabile da quella di un pisello a quella di una mela: normalmente raggiunge dimensioni inferiori rispetto al tartufo bianco (difficilmente si raccolgono tartufi del peso di 1 kg). Il peridio è verrucoso di colore nero fuliginoso con tonalità rossastre più evidenti alla base delle verruche; queste sono poligonali, generalmente depresse all'apice, piccole, conferendogli un aspetto meno rugoso rispetto a quello del tartufo estivo (*Tuber aestivum*). La gleba o polpa è nero-violacea a maturità, con venature bianche, fini, più o meno anastomosate tra loro e che virano verso il colore rosso dopo il taglio. Quando il tartufo è immaturo, il peridio è di colore rosso e la gleba è bianca. Le spore sono di tipo echinulato, ovali, di colore bruno scuro, riunite in aschi nel numero di 1-4; l'asse maggiore è di 25-35 µm, quello minore di 20-30 µm. Emana un profumo delicato e molto gradevole.

Le esigenze pedoambientali del tartufo nero sono, per alcuni aspetti, molto simili a quelle del tartufo bianco, ed in particolare i suoli devono essere calcarei, ben aerati e drenanti, ma, al contrario di quest'ultimo, mai eccessivamente umidi per lunghi periodi.

Le aree dove cresce il tartufo nero sono ben riconoscibili in quanto si presentano prive o molto povere di vegetazione erbacea; si formano, cioè, piccole superfici generalmente circolari, con vegetazione diradata, chiamate cave o pianelli. La ragione della formazione dei pianelli non è ancora perfettamente nota: alcune prove di laboratorio hanno dimostrato che estratti di tartufo nero ostacolano lo sviluppo delle radici dei semi in via di germinazione; stessi risultati sono stati ottenuti facendo germinare i semi in ambienti molto ricchi di aroma di tartufo.

Il tartufo nero pregiato è un fungo che predilige ambienti caratterizzati da condizioni fisiche per lo più stabili, che gli garantiscono il permanere di una situazione a lui favorevole. Questa è la ragione per cui i due funghi, pur avendo esigenze molto simili, raramente si trovano negli stessi ambienti naturali.

L'esigenza di stabilità del sistema suolo può essere soddisfatta se si verificano tre diverse condizioni: la prima è che il suolo abbia una certa inerzia alle modificazioni (questa condizione è raggiunta attraverso la stabilità degli aggregati per azione del ferro, dell'alluminio e della materia organica che, in ambiente calcareo, funge da cementante, e in qualche caso per effetto dei materiali vetrosi vulcanici inclusi); la seconda condizione è che il versante sia stabile, come avviene sui calcari fessurati nei quali la circolazione dell'acqua è

soprattutto sotterranea (circolazione endoreica) oppure che si sia in presenza di superfici pianeggianti o sub-pianeggianti (come, ad esempio, gli alti morfologici, non interessati da apporti di materiali); la terza condizione, non sempre necessaria, è la presenza dell'azione ricorrente del gelo e del disgelo, che aumenta la porosità del sistema e nello stesso tempo stabilizza il suolo ed il pianello. Queste condizioni si riscontrano di preferenza sui versanti degli affioramenti di calcare intensamente fessurati e frammentati dalla tettonica e dai processi erosivi, comuni in molte parti dell'Appennino.

Un elemento aggiuntivo di stabilità è la presenza abbondante di scheletro, dentro e soprattutto sopra il suolo (ciottoli, ghiaie o detriti), ma sempre in condizioni morfologiche di relativa stabilità o in cui i processi erosivi sono prevalenti su quelli deposizionali, come nelle conoidi e nei detriti di falda inattivi, nei versanti non più soggetti a soliflussione. Lo scheletro in superficie, che spesso forma un vero e proprio strato, ha un effetto pacciamante, riflettendo la radiazione solare, riducendo la perdita di umidità del suolo per evaporazione, proteggendo le particelle più fini dall'erosione idrica e limitando l'effetto disgregatore della pioggia battente.

Dal punto di vista granulometrico il suolo tende ad essere da franco a franco argilloso, contiene sempre quantità discrete di carbonati ed il suo pH in acqua è subalcalino.

Se analizziamo i dati riportati in tabella 20.2, relativi a siti naturali localizzati in ambito appenninico (Marche, Umbria, Lazio ed Abruzzo), possiamo individuare le principali caratteristiche fisico-chimiche che consentono al tartufo nero pregiato di trovare il suo ambiente ideale.

In conclusione, il tartufo nero pregiato riesce a fruttificare solo se si verificano alcune condizioni ben precise, che sono: un ambiente fisiografico essenzialmente stabile che consenta la formazione del pianello, un suolo aerato, saturo di carbonati e scarsamente dinamico ed un clima che sia in grado di favorire la sofficità del suolo con le gelate invernali e che in estate sembra provochi uno stress necessario alla maturazione dei carpofori. È questo un ambiente che si ritrova con più facilità in regioni appenniniche, sui rilievi calcarei ed a quote tendenzialmente montane. Anche il clima preferito dal tartufo nero è simile a quello del bianco e ciò è dimostrato dalla presenza delle tartufaie delle due specie in aree molto vicine tra loro. Il microclima, però, è fortemente diverso: le temperature dell'aria e del terreno nelle cave del tartufo nero hanno, durante l'estate, valori medi più elevati (4-5°C) rispetto alle cave di tartufo bianco, mentre il contrario si verifica durante l'inverno. Anche la quantità di acqua a disposizione delle piante durante l'estate è inferiore nelle cave di tartufo nero rispetto a quelle del tartufo bianco.

Tabella 20.2. Principali caratteristiche chimico-fisiche dei suoli che ospitano tartufo nero pregiato in ambito appenninico (da: Raglione e Owczarek, 2005).

VARIABILE	MEDIA	DEV. STD.	MIN	MAX	CV %
Argilla %	20,1	12,5	1,2	46,2	62,2
Limo %	51,4	16,6	4,9	83,3	32,4
Sabbia %	28,4	12,1	10,7	62,3	42,6
Indice struttura	80,8	13,5	46,5	97,5	16,8
pH-KCl	7,3	0,1	7,1	7,7	1,8
pH-H ₂ O	7,9	0,2	7,5	8,4	2,4
CaCO ₃ tot. %	34,9	22,0	1,0	76,0	63,0
C %	3,2	1,9	0,6	9,8	59,2
Fe (mg kg ⁻¹)	148,5	90,3	31,7	323,3	60,8
Mn (mg kg ⁻¹)	237,7	132,5	53,3	534,1	55,7
Zn (mg kg ⁻¹)	9,0	7,7	1,1	38,7	84,7
Cu (mg kg ⁻¹)	17,9	17,8	1,1	88,9	99,4

Il tartufo nero evidenzia la propria presenza con la formazione del pianello e ciò comporta che esso possa essere raccolto zappando l'intera superficie di crescita. Questo metodo, che è stato vietato da tutte le leggi nazionali e regionali, è deprecabile perché provoca danni spesso irreversibili alle tartufaie. Altra causa di danneggiamento delle tartufaie naturali è imputabile all'infoltimento dei boschi in seguito all'esodo delle popolazioni agricole dalle colline e montagne e alla diminuzione del bestiame allevato allo stato brado.

Il tartufo nero si può confondere con diverse altre specie di tartufi a peridio nero che hanno la stessa epoca di raccolta come *Tuber brumale*, *Tuber brumale* forma *moschatum*, *Tuber aestivum* var. *uncinatum*, *Tuber mesentericum*, ecc. Si può distinguere da questi perché ha le verruche poco pronunciate, depresse all'estremità e provviste di striature rossastre alla base, il peridio di colore nero opaco con riflessi rossastri e la gleba di colore nero-violaceo. Altro mezzo di riconoscimento, riservato però agli esperti, è l'analisi delle spore che sono ellittiche, brune e di tipo echinulato.

Sin dai tempi antichi il tartufo nero è stato oggetto di prove di coltivazione che, in questi ultimi decenni, hanno fornito risultati produttivi economicamente validi. Si dispone, infatti, di piante tartufigene ben micorrizzate e certificate, si conoscono con sufficiente approssimazione le caratteristiche che debbono avere i siti idonei alla sua coltivazione. Con queste conoscenze può essere garantito il successo produttivo di una tartufaia coltivata di tartufo nero pregiato con il 90% di probabilità. Rimangono ancora alcuni punti da chiarire soprattutto nella scelta delle agrotecniche da utilizzare (potatura, spalcatura, soccorso irriguo, pacciamatura, lavorazioni del terreno prima e dopo l'impianto), che non possono essere univoche, ma che vanno di volta in volta

adeguate alle necessità, e non sono inoltre ancora noti i fattori biologici del suolo e del micelio che portano alla formazione dei carpofori.

20.4. *Tuber aestivum* Vittad

Chiamato volgarmente tartufo d'estate o scorzone, è un tartufo nero molto diffuso in tutta la penisola e nelle maggiori isole italiane. Si raccoglie ad altitudini diverse (100-1500 m s.l.m.) sotto le *Cistaceae*, le *Pinaceae* e tutte le altre specie simbionti citate per i tartufi precedenti e in terreni alquanto variabili.

Il corpo fruttifero ha dimensioni simili al tartufo nero e si riconosce per il perizio con verruche grossolane, piramidali, con le facce striate trasversalmente, di colore nerolucido dopo il lavaggio, e gleba di colore variabile dal marmoreo al nocciola più o meno intenso, con venature chiare, numerose e più o meno ramificate. Le spore sono irregolarmente alveolate, ellittico-rotonde, riunite in numero di 1-3 per asco. Matura da maggio-giugno ad agosto-settembre.

È certamente il tartufo più diffuso in Italia e quello che si sviluppa nelle più varie condizioni pedoclimatiche. La grande variabilità ambientale ha fatto supporre l'esistenza di ecotipi diversi adattati a differenti situazioni ambientali: ecotipi oggi riconosciuti a livello biomolecolare. Preferisce i terreni calcarei, pur essendo possibile raccoglierlo anche in terreni decalcificati, purché sia presente dello scheletro calcareo. Origina pianelli più o meno evidenti e si rinviene anche nei boschi di latifoglie ed in pinete abbastanza fitti. A differenza del tartufo nero pregiato, non sempre produce il "pianello", in particolare in presenza di densa vegetazione arborea e di pascolo. Fondamentale sembra essere il ruolo svolto da quest'ultimo nel contenimento della vegetazione erbacea ed arbustiva; nelle aree non più frequentate dagli animali si assiste ad un progressivo decremento di produzione. Non sono state rilevate particolari preferenze nei riguardi dell'esposizione, del grado di copertura della vegetazione e del clima.

Il tartufo scorzone, pur trovandosi frequentemente in suoli a reazione debolmente (pH 7,4 – 7,8) e moderatamente alcalina (pH 7,9 – 8,4), rispetto ai tartufi più pregiati è anche in grado di fruttificare in condizioni di neutralità (pH 6,6 – 7,3). In tabella 20.3 sono riportati i risultati delle analisi fisico-chimiche condotte su campioni di suolo provenienti da siti di produzione naturale rinvenuti nell'Italia centrale. È un tartufo che tendenzialmente si sviluppa piuttosto in superficie, mediamente nei primi 5-10 cm di suolo; talvolta è visibile direttamente sul terreno, ma si può rinvenire anche a 30 cm di profondità.

Tabella 20.3. Principali caratteristiche chimico-fisiche dei suoli che ospitano tartufo scorzone in Italia centrale (da: Raglione e Owczarek, 2005).

VARIABILE	MEDIA	DEV. STD.	MIN.	MAX.	CV %
Argilla %	33	13,7	2	78	41,5
Limo %	42	12,1	7	78	28,8
Sabbia %	24	10,4	12	65	43,3
Indice struttura	80,9	14,8	42,8	97,9	18,3
pH-KCl	7	0,5	4,9	7,4	7,1
pH-H ₂ O	7,8	0,4	6,3	8,5	5,1
CaCO ₃ tot. %	35,7	23,4	0	75	65,5
C %	3,4	3,6	0,3	23,2	105,9
Fe (mg kg ⁻¹)	253,9	191,7	41,5	677,3	75,5
Mn (mg kg ⁻¹)	267	495,7	72,9	2183,8	185,7
Zn (mg kg ⁻¹)	12,1	6,1	4,8	22,2	50,4
Cu (mg kg ⁻¹)	61,1	41,2	7	163	67,4

Unitamente alle osservazioni di campagna circa la generale maggior compattezza dei suoli del *T. aestivum* rispetto a quelli del *T. melanosporum*, quanto sopra suggerisce l'ipotesi che questo tartufo cerchi negli strati del terreno che sono a contatto con l'atmosfera, un'areazione maggiore di quella presente negli orizzonti più profondi. È un tartufo sottovalutato in quanto pur avendo un buon sapore ed aroma, nel mercato spunta prezzi nettamente inferiori a quelli delle specie più pregiate (1/4, 1/5 rispetto a *Tuber melanosporum*).

Specie dotata di notevole plasticità ambientale, può essere coltivata in quasi tutti i terreni, purché abbiano reazione da neutra a sub-alcalina e non siano fortemente compatti.

Abbondanti produzioni di scorzoni sono state ottenute in alcuni rimboschimenti eseguiti nell'Italia centrale utilizzando piantine non micorrizate di latifoglie e di conifere, sia in purezza, sia consociate tra loro. In molti casi sono stati ottenuti tartufi estivi in tartufaie coltivate realizzate con piante micorrizate con tartufi di altre specie.

Queste osservazioni confortano coloro che intendono coltivare *Tuber aestivum* perché, se allo stato si ha produzione in situazioni estreme come quelle accennate, a maggior ragione verranno prodotti tartufi negli impianti eseguiti seguendo scrupolosamente le moderne tecniche di coltivazione. Si deve far rilevare che, in base alla elevata variabilità intraspecifica, si deve consigliare di impiantare le tartufaie utilizzando piantine micorrizate con tartufi raccolti in loco.

20.5. Tuber brumale Vittad

È il meno ricercato ed apprezzato tra i cosiddetti tartufi “neri”, in particolare nella sua varietà moschatum De Ferry che emana un forte aroma di muschio ed ha un sapore piccante. Il peridio è bruno-nerastro, con verruche piccole e simili a quelle del *T. melanosporum*, la gleba è grigio-bruna con grosse venature bianche, la grandezza è quasi sempre inferiore a quella di un uovo di gallina. Le spore sono aculeate, di colore giallo-bruno, in numero massimo di cinque per asco, matura da gennaio a marzo. Si rinviene sia negli areali di sviluppo del *T. magnatum*, che in quelli del *T. melanosporum*, in simbiosi con le stesse specie arboree, fatta eccezione per le più xerofile (ad esempio, leccio); preferisce le zone morfologicamente depresse o, comunque, quelle in cui minore è il drenaggio e maggiore l'umidità del suolo. La sua presenza non dà luogo al pianello ed il suo rinvenimento in tartufaie naturali o artificiali di specie più pregiate è indice di peggioramento delle condizioni ecologiche e di declino delle produzioni di queste. Esso costituisce un grosso problema per la tartuficoltura francese in quanto in moltissimi impianti artificiali si va sostituendo al tartufo nero pregiato, con netta perdita del valore economico delle produzioni. Le cause di ciò potrebbero essere ricercate nell'eccessivo uso di irrigazione e nella compattazione del suolo. L'irrigazione viene interpretata come normale prassi colturale e non come soccorso irriguo in periodi di siccità prolungata, per cui si creano condizioni di eccesso di acqua nel suolo, in particolare nelle situazioni di scarso drenaggio, negative per lo sviluppo del tartufo nero pregiato, ma ininfluenti per quello del Brumale. La compattazione del suolo è una conseguenza dell'eccesso irriguo, del passaggio delle macchine agricole per le lavorazioni del terreno post impianto, della tendenza naturale del suolo a ricostituire nel tempo le originarie condizioni di porosità, obliterando la macroporosità creata con le lavorazioni pre impianto (scasso). Per quanto riguarda i siti in cui si rinviene questa specie, gli elementi di campagna fondamentali sono: la loro collocazione sempre in condizioni di basso morfologico o al piede dei versanti, ove si ha presenza di maggiore umidità del suolo, lo scheletro è quasi sempre assente o se presente lo è in quantità minime, gli aggregati di suolo sono di dimensioni medio-grandi e da mediamente resistenti a resistenti alla compressione, si ha quasi sempre la presenza di figure pedologiche da scarso drenaggio.

20.6. Tuber Borchii Vittad

Ha peridio, o scorza, liscia e di colore biancastro tendente al fulvo e gleba, o polpa, chiara tendente al fulvo, fino al violaceo-bruno, con venature numerose e ramosse. Ha spore leggermente ellittiche regolarmente alveolate o reticolate a piccole maglie riunite in aschi fino a 4. Emana un profumo tendente un po' all'odore dell'aglio. Matura da metà gennaio a metà aprile. Le dimensioni dei

carpofori sono ridotte rispetto a quelle delle altre specie di tartufi, generalmente come quelle di una nocciola o poco più, raramente raggiungono la grandezza di un uovo di gallina.

Si tratta di una specie dotata di notevole plasticità ambientale, potendo svilupparsi dal livello del mare fino ai 1000 metri di quota, su svariate tipologie di terreni, da quelli più sciolti e sabbiosi come sono quelli delle pinete costiere, a quelli collinari argillosi. Si hanno anche segnalazioni di ritrovamenti di carpofori su terreni a reazione acida.

Per quanto riguarda gli *habitat*, generalmente il tartufo Bianchetto preferisce i boschi ad alto fusto di conifere, principalmente della specie *Pinus* (*Pinus domestica in primis*, *Pinus nigra* e *Pinus maritima*) e quindi le pinete costiere, i rimboschimenti delle zone interne e i boschi cedui coniferati; seguono i boschi cedui di specie quercine quali roverella e leccio, specialmente ai margini di questi con i coltivi, nelle chiarie, lungo i sentieri nel bosco, nelle zone di nuova colonizzazione da parte delle piante arboree. Non mancano i siti legati ad ambienti antropici quali i filari di piante lungo le strade. Per tutti questi ambienti c'è una certa variabilità nella copertura arborea, anche se si può affermare che la preferenza è quella di avere una scarsa copertura di chiome. Molto spesso la produzione di Bianchetto si sposta sul margine di un bosco, mentre diminuisce nettamente col progredire della chiusura dello stesso. Inoltre, sembra esservi un'importante relazione fra la produzione di Bianchetto e il taglio del ceduo; la quantità di carpofori e la loro pezzatura si eleva notevolmente nei 2-3 anni successivi al taglio, per poi riprendere gradualmente i valori normali.

Carpofori della specie Bianchetto sono stati rinvenuti anche in molti impianti effettuati con piantine micorrizzate con tartufo bianco. Tali ritrovamenti, unitamente alla constatazione che giovani piante in tartufaie naturali di *T. magnatum* risultano micorrizzate con tartufi della famiglia dei bianchetti, danno corpo all'ipotesi che il tartufo bianco, prima di insediarsi, abbia necessità di una preparazione, soprattutto biologica, del suolo da parte di altri funghi ectomicorrizici.

Le indagini sinora eseguite, soprattutto in Toscana, permettono di definire con precisione alcune caratteristiche degli *habitat* del Bianchetto.

La distribuzione dei siti rilevati nei confronti dei tipi climatici mostra che il Bianchetto cresce e fruttifica un po' in tutti i tipi climatici, fatta eccezione per il tipo "perumido" montano. Il Bianchetto sembra pertanto non temere né climi caldi e siccitosi, né climi rigidi e piovosi, con, tuttavia, una certa preferenza per i climi più caldi. Da un punto di vista microclimatico preferisce le posizioni di alto morfologico, ben assolate e illuminate, suoli molto drenanti per tessitura o presenza di scheletro, rifugge zone con inversione termica e con nebbie. Il periodo di fruttificazione è anticipato nelle zone a clima mediterraneo (gennaio-febbraio) e posticipato in collina (febbraio-marzo) e ancora di più in montagna (marzo-aprile).

Le sabbie delle dune costiere sono il litotipo preferito dal Bianchetto, ma, in vari ambienti sia collinari che sub montani, significativa è anche la sua frequenza in formazioni marnose o flyschoidi con strati lapidei fortemente scagliosi; rinvenimenti sono stati effettuati anche in rocce ultrabasiche, che non ospitano altri tipi di tartufi.

Per quanto riguarda la morfologia dei siti occorre sottolineare che il Bianchetto, ad esclusione delle dune costiere, nelle zone più interne si localizza quasi esclusivamente nelle parti alte e medio alte dei versanti, in particolare sulle creste, in zone sommitali, prevalentemente di forma convessa e lineare, generalmente poco pendenti (0-15%). L'esigenza sembra quella di posizionarsi in zone dove massime sono la perdita di acqua dal sistema, l'insolazione e l'esposizione ai venti. È amante, come detto, dei cordoni dunali costieri, con preferenza al loro interno delle parti rilevate convesse, debolmente pendenti (0-8%). Quasi assente nei fondovalle di origine recente, un po' più presente in quelli terrazzati, con substrato sabbioso e sabbioso ghiaioso. Per quanto riguarda le caratteristiche dei suoli, il Bianchetto, è un tartufo poco esigente dal punto di vista nutrizionale o comunque meno esigente delle altre specie di tartufo.

I risultati delle analisi condotte sui campioni di suolo prelevati nei siti studiati mostrano valori di pH da ricondurre ad una reazione subalcalina. Molto importante sembra essere anche il contenuto in calcare totale; esistono siti in cui il Bianchetto sembra poterne fare a meno, ma la presenza di calcare è in linea generale una sicurezza di maggior produzione e di migliore pezzatura.

Un altro carattere da non sottovalutare è costituito dalla tessitura del suolo; seppur con una certa variabilità, il tartufo bianchetto preferisce terreni tendenzialmente sciolti (franco sabbiosi, sabbioso franchi e sabbiosi). Nei terreni più fini (franco argillosi e franco limosi) è spesso presente dello scheletro di tipo ghiaioso oppure un buon grado di aggregazione strutturale, che facilitano il drenaggio delle acque e l'aerazione del terreno. Misurazioni della densità apparente del suolo confermano la tendenza del Bianchetto a preferire orizzonti soffici e poco compattati; la densità apparente del suolo sembra essere inversamente collegata con la pezzatura dei carpofores (alti valori danno pezzature più piccole e viceversa). È molto frequente rilevare una pezzatura maggiore in orizzonti anche solo saltuariamente interessati da lavorazioni agricole, o più in generale in situazioni ove sono presenti dei movimenti di terreno sia di origine naturale che antropica. In tabella 20.4 sono riportate alcune informazioni circa le caratteristiche dei suoli predisponenti o limitanti la coltivazione del Bianchetto.

Riassumendo si può dire che dal punto di vista chimico-fisico il *T. borchii* rifugge i suoli poco drenanti a tessitura fine, a reazione debolmente acida o fortemente alcalina, privi di calcare.

Tabella 20.4. Principali caratteristiche chimico-fisiche dei suoli ai fini della coltivazione del tartufo bianchetto (da: Gardin, 2005, modificato).

PARAMETRI	FAVOREVOLI	SFAVOREVOLI
Tessitura	S ÷ FLA	L ÷ A
Reazione (pH)	6,5 ÷ 8,5	< 6,5; > 8,5
Calcare (%)	0 ÷ 10	0

20.7. Considerazioni generali

Dalle informazioni sinora disponibili circa le esigenze ecologiche delle varie specie di tartufi eduli emerge come solo per il tartufo Nero pregiato sia possibile identificare con sicurezza i suoli idonei alla sua crescita. Emergono, però, alcune caratteristiche comuni a tutti i funghi studiati, che possono individuare le esigenze ambientali dei tartufi in generale e delle singole specie in particolare.

In generale, i suoli che consentono ai tartufi di fruttificare sono subalcalini e con un certo tenore di calcare attivo. Il calcare attivo sembra favorire insieme ad una densità apparente intorno all'unità (intorno al 25% di vuoti di grosse dimensioni) una buona aerazione del sistema nonché una certa ossigenazione del suolo, causa la sottrazione di CO₂ per precipitazione sotto forma di ossalato di calcio. Questa condizione sembra soddisfare gran parte dei casi studiati anche se necessitano ulteriori indagini in quanto sia per il Bianco che per lo Scorzone, il Brumale ed il Bianchetto si sono verificati dei casi, meno dell'1%, di suoli produttivi tendenzialmente neutri e con assenza di carbonati nella terra fine. Statisticamente, quindi, si può dire che tendenzialmente tutti i tartufi eduli descritti preferiscono suoli soffici, con buona aerazione e con presenza di calcare attivo. Queste condizioni possono realizzarsi in ambienti molto diversi fra di loro ed allora è il meccanismo di formazione dei siti che diventa determinante per la presenza delle varie specie.

Per quanto riguarda il *T. magnatum*, esso si insedia in tutte quelle situazioni in cui le condizioni di forte aerazione del suolo sono realizzate da una notevole dinamica ambientale quale cospicua erosione dei versanti frane, esondazioni, turbative da lavorazione o da animali (ad esempio, attività di lombrichi) e viene mantenuta costantemente una certa umidità del suolo. Esso rifugge, però, il ristagno idrico ed anche in condizioni di estrema vicinanza a corsi d'acqua perenni il suolo è sempre ben drenato ed aerato.

Il *T. melanosporum* sembra essere, tra i tartufi eduli, quello che ha un più lungo tempo tra la sua nascita (fine primavera) e la sua maturazione (inverno); esso deve superare in fase saprofitica tutto il periodo estivo e per la sopravvivenza dei carpofori abbisogna che nel terreno sia continuamente

presente una minima umidità. A tale scopo questo tartufo, attraverso l'emissione di tossine, elimina tutte le concorrenti erbacee formando intorno alla pianta simbionte un'area priva di vegetazione detta pianello o bruciata. Di estrema importanza ai fini della conservazione dell'umidità del suolo e della sua difesa dall'erosione è anche la presenza di notevoli quantità di scheletro, che espleta inoltre la funzione di contrastarne la compattazione e, quindi, di rendere più soffice, areato e drenante l'ambiente suolo. I siti preferiti da questo tartufo sono caratterizzati da scarsa dinamicità ambientale e spesso sono costituiti da suoli che hanno subito processi di parziale decarbonatazione e successiva ricarbonatazione.

Il diverso meccanismo di formazione dei siti idonei ai due tartufi suddetti fa sì che essi si rinvenivano sempre in porzioni di territorio fra di loro ben differenziate e differenziabili, mentre le altre specie eduli considerate convivono indifferentemente con l'una o con l'altra, nell'uno o nell'altro ambiente. Solo il *T. borchii* può essere l'unico presente in specifici contesti, quali le dune e le piane costiere a tessitura sabbiosa. In associazione con gli altri, esso preferisce crinali e versanti esposti, posizioni di alto morfologico, superfici convesse o lineari, suoli sottili, soggetti alla dinamica di versante, o molto scheletrici, a tessitura grossolana, a debole aggregazione. La produzione di carpofori viene molto limitata dalla chiusura del bosco ed è favorita dal pascolo. Fenomeno questo che si verifica anche per *T. aestivum*.

Siti con caratteristiche completamente opposte a quelli del Bianchetto sono quelli propri del *T. brumale*. In associazione sia con il *T. magnatum* che con il *T. melanosporum*, esso si rinviene sempre in posizione morfologica depressa, ove maggiore è la presenza di acqua nel suolo e può esservi ristagno idrico; le particelle hanno una forte aggregazione, strutturazione media e medio-grande, possono essere presenti un certo dinamismo, una bassa porosità ed una scarsa aerazione.

Il *T. aestivum*, unitamente alla sua varietà *uncinatum*, è molto variabile dal punto di vista genetico e questa sua dinamicità interna fa sì che esso si adatti a molte situazioni pedoambientali. A seconda del genotipo può fruttificare in superficie come alla profondità di 20-30 cm, può sopportare climi più caldi e più freddi, più secchi o più umidi rispetto al tartufo Nero, più umidi rispetto al tartufo Bianco. In tutte le situazioni, però, il suolo deve avere una sufficiente aerazione ed un drenaggio che non consenta il ristagno idrico; si sostituisce al *T. melanosporum* ove l'erosione riduce sensibilmente la profondità del suolo, può dar luogo a pianelli più o meno evidenti a seconda della densità del bosco, nell'arco dell'anno può fruttificare per un periodo di tempo molto lungo, da giugno a dicembre.

Le strategie cambiano, ma le principali esigenze rimangono le stesse, tutti i tartufi necessitano di avere suoli umidi e drenanti, ben aerati e saturati in cationi, subalcalini, con presenza di carbonati, ma alcuni di essi, o meglio alcuni loro genotipi, tollerano anche suoli prossimi alla neutralità e privi di carbonati.

Bibliografia di riferimento

- BACIARELLI, FALINI, L., BENCIVENGA, M., 2002. *Valutazione e tecniche di miglioramento di alcune tartufaie coltivate nello spoletino*. Micologia Italiana, 31,3, 29-43.
- BAGLIONI, F., GARDIN, L., 1998. *Carta della vocazione naturale del territorio toscano alla produzione di tartufo scorzone*. In: I tartufi in Toscana. Compagnia delle Foreste, Arezzo, pagina 184.
- BENCIVENGA, M., 2001. *La tartuficoltura in Italia: problematiche e prospettive*. Atti del Vème Congres International Science et Culture de la Truffe, 4-6 marzo 1999, Aix-en-Provence, France, 27-29.
- BENCIVENGA, M., VENTURELLA, G., 2001. *Contribution to the knowledge of the genus Tuber in Sicily*. Bocconea, 13, 301-304.
- BENCIVENGA, M., 2004. *Stato attuale della tartuficoltura italiana. Seminario sullo stato attuale della tartuficoltura italiana, Spoleto – Norcia* 21-22 febbraio 2004, (in corso di pubblicazione).
- BONI, C., PUXEDDU, M., TOCCI, A., 1993. *Ecologia e possibilità di coltivazione di Tuber borchii Vitt. (Tuber albidum Pico) in Sardegna*. Linea Ecologica - Economia Montana, 25,3, 44-46.
- BRAGATO, G., GARDIN, L., LULLI, L., PANINI, T., PRIMAVERA, F., 1992. *I suoli delle tartufaie naturali della zona di San Miniato (Pisa)*. Monti e Boschi, 43,2, 17-24.
- BRAGATO, G., PANINI, T., PAGLIAI, M., 1992. *Soil porosity and structural conditions in soils involved in white truffle production in the "Crete Senesi" area (Tuscany)*. Agricoltura Mediterranea, 122, 180-188.
- CASTRIGNANO', A., GOOVAERTS, P., LULLI, L., BRAGATO, G., 2000. *A geostatistical approach to estimate the probability of occurrence of T. melanosporum in relation to some soil properties*. Geoderma, 98:95-113.
- DE SIMONE, C., LORENZONI, P., RAGLIONE, M., 1993. *Il manganese nei suoli di produzione di Tuber melanosporum e Tuber aestivum*. Ann. Fac. Agr. Univ. Sassari (I), 35, 415-418.
- DI MASSIMO, G., 2004. *Coltivazione delle piante tartufigene e risultati conseguiti. Seminario sullo stato attuale della tartuficoltura italiana, Spoleto – Norcia* 21-22 febbraio 2004, (in corso di pubblicazione).
- DONNINI, D., BACIARELLI FALINI, L., BENCIVENGA, M., 2003. *Indagine preliminare sulla affinità di Quercus pubescens Willd. e Ostrya carpinifolia Scop. nei confronti di Tuber melanosporum Vittad. Tuber aestivum Vittad. e Tuber brumale Vittad.* Micologia Italiana, 23, 1, 29-35.
- DONNINI, D., BACIARELLI FALINI, L., BENCIVENGA, M., 2001. *Analisi della micorrizzazione in tartufaie coltivate di Tuber melanosporum Vittad. impiantate da oltre 12 anni in ambienti pedoclimatici diversi*. Atti Vème Congres International Science et Culture de la Truffe, 4-6 marzo 1999, Aix-en-Provence (France), 437-440.
- DONNINI, D., 2004. *Controllo morfologico e certificazione delle piante micorrizate*. Seminario sullo stato attuale della tartuficoltura italiana, Spoleto – Norcia, 21/22 febbraio 2004, (in corso di pubblicazione).
- DONNINI, D., BACIARELLI FALINI, L., 2004. *Tartufaie naturali di Tuber aestivum Vittad. su Castanea sativa Miller in Umbria*. Micologia Italiana, (in corso di pubblicazione).

- DONNINI, D., BACIARELLI FALINI, L., DI MASSIMO, G., BENCIVENGA, M., 2004. *Éssais expérimentales de cultivation des truffières en Umbria (Italie du Centre)*. Iè re Symposium sur les Champignons Hypogés du Bassin Méditerranéen, Rabat (Maroc). 6-8 aprile (in corso di pubblicazione).
- GARDIN, L., 2005. *I tartufi minori in Toscana. Gli ambienti di crescita dei tartufi maruolo e scorzone*. Quaderno ARSIA, 1/2005, Firenze.
- GARDIN, L., BAGLIONI, F., LULLI, L., RISI, B., 1997. *Indagine ecologica sul tartufo scorzone (Tuber Aestivum Vitt.) in Toscana*. Monti e Boschi, 48, 5, 13-18.
- GREGORI, E., LULLI, L., MELI, C., SANI, A., 1997. *TIMAGNUM, un prototipo di sistema esperto per la valutazione dell'attitudine della stazione all'impianto di tartufaie artificiali di tartufo bianco (Tuber magnatum Pico)*. Genio Rurale, 40, 12, 49-60.
- GREGORI, E., MELI, C., SANI, L., 1998. *Attitudine della stazione all'impianto di tartufaie di Tuber magnatum Pico: un esempio di valutazione basato sulle tecnologie dell'Intelligenza Artificiale*. In: I tartufi in Toscana. Compagnia delle Foreste, Arezzo, pagina, 184.
- GREGORI, E., MELI, C., SANI, L., 1998. *La valutazione delle condizioni favorevoli alla fruttificazione del tartufo bianco pregiato (Tuber magnatum Pico)*. Sherwood, 8, 35-41.
- GREGORI, G., TOCCI, A., BONI, C., PUXEDDU, M., 1995. *Il Tuber aestivum Vitt in Sardegna: ecologia e prospettive culturali*. Linea Ecologica – Economia Montana, 27, 4, 41-47.
- LANZA, B., OWCZAREK, M., DE MARCO, A., RAGLIONE, M., 2004. *Evaluation of phytotoxicity and genotoxicity of substances produced by Tuber aestivum and distributed in the soil using Vicia faba root micronucleus test*. FEB, 12, 1410-1414.
- LORENZONI, P., DE SIMONE, C., RAGLIONE, M., 1995. *Valutazione di alcuni parametri pedologici nella caratterizzazione dei suoli idonei alla produzione di tartufo nero pregiato*. Agricoltura e Ricerca n.160.
- LULLI, L., 1998. *Gli aspetti pedoambientali relativi al tartufo bianco ed al tartufo neri pregiati*. In: I tartufi in Toscana. Compagnia delle Foreste, Arezzo, pagina, 184.
- LULLI, L., BRAGATO, G., 1992. *Quali caratteri devono avere i terreni naturali per produrre il tartufo bianco pregiato*. L'Informatore Agrario, 48, 47, 69-72.
- LULLI, L., BRAGATO, G., GARDIN, L., 1999. *Occurrence of Tuber melanosporum in relation to soil surface layer properties and soil differentiation*. Plant and Soil, 214, 85-92.
- LULLI, L., BRAGATO, G., GARDIN, L., PANINI, T., PRIMAVERA, F., 1992. *I suoli delle tartufaie naturali della bassa valle del Santerno (Mugello - Toscana)*. L'Italia Forestale e Montana, 47, 251-267.
- LULLI, L., PAGLIAI, M., BRAGATO, G., PRIMAVERA, F., 1993. *La combinazione dei caratteri che determinano il pedoambiente favorevole alla crescita di Tuber magnatum Pico nei suoli dei depositi marnosi dello Shlier in Acqualagna (Marche)*. Quaderni di Scienza del Suolo, 5, 143-159.
- LULLI, L., PANINI, T., BRAGATO, G., GARDIN, L., PRIMAVERA, F., 1991. *I suoli delle tartufaie naturali delle Crete Senesi*. Monti e Boschi, 42, 5, 31-39.
- MIRABELLA, A., 1983. *Indagine preliminare sui suoli di alcune tartufaie di Tuber Magnatum Pico (tartufo bianco pregiato) nella valli del Metauro, Foglia, Marecchia e Savio nelle Marche*. Annali Istituto Sperimentale Selvicoltura, 14, 389-407.
- MIRABELLA, A., PRIMAVERA, F., GARDIN, L., 1992. *Formation dynamics and characterization of clay minerals in a natural truffle bed of Tuber magnatum Pico on Pliocene sediments in Tuscany*. Agricoltura Mediterranea, 4, 433-444.

- PANINI, T., BRAGATO, G., GARDIN, L., LULLI, L., PRIMAVERA, F., 1991. *Suoli e siti tartufigeni di un versante tipico della zona di S. Miniato in Toscana*. L'Italia Forestale e Montana, 46, 373-393.
- PANINI, T., LULLI, L., BRAGATO, G., PAGLIAI, M., PRIMAVERA, F., 1993. *Suoli e siti del Tuber melanosporum Vitt. sulla Scaglia rossa di Volperino (PG)*. Monti e Boschi, 44, 2, 28-34.
- PRIMAVERA, F., LULLI, L., 1992. *I siti e i suoli naturali del tartufo bianco pregiato nella collina toscana (Crete Senesi e San Miniato)*. Atti Congresso Micologia e vegetazione mediterranea. L'Aquila, Vol. VII, n.2, 225-231.
- RAGLIONE, M., LORENZONI, P., DE SIMONE, C., MONACO, R., ANGIUS, A., 1992. *Osservazioni sulle caratteristiche pedologiche di alcuni siti di tartufo nero pregiato (Tuber melanosporum Vitt) in provincia di Rieti*. Micologia e Vegetazione mediterranea, 7, 211-224.
- RAGLIONE, M., 1993. *L'ambiente e i suoli del tartufo nero pregiato*. Tuber, 1, 9-12.
- RAGLIONE, M., DE SIMONE, C., LORENZONI, P., 1997. *La qualità del suolo in relazione ad un uso agricolo sostenibile del territorio. Un'applicazione alla tartuficoltura*. Conv. SISS, Roma, 3-5 giugno.
- RAGLIONE, M., OWCZAREK, M., 2005. *The soils of natural environments for growth of truffles in Italy*. Mycologia Balcanica, 2, 209-216.
- TANFULLI, M., DONNINI, D., BENCIVENGA, M., 2001. *Problematiche relative alla conservazione delle tartufaie naturali*. Seminario "Gestione delle Risorse Agro-Forestali in Aree Protette", Ancona, 19-21 febbraio. Informatore Botanico Italiano, 33,1, 184-187.
- TANFULLI, M., GIOVAGNOTTI, E., DONNINI, D., BACIARELLI FALINI, L., 2001. *Analisi della micorrizzazione in tartufaie coltivate di Tuber aestivum Vittad. e Tuber borchii Vittad. impiantate da oltre 12 anni in ambienti pedoclimatici diversi*. Atti Vème Congres International Science et Culture de la Truffe, 4-6 marzo 1999, Aix-en-Provence (France), 480-486.
- TOCCI, A., VERACINI, A., 1992. *Sistema di monitoraggio climatico per un'ipotesi di modello previsionale di produttività di aree tartufigene*. Linea Ecologica - Economia Montana, 24, 1, 29-31.
- TOCCI, A., VERACINI, A., ZAZZI, A., 1995. *Indagini preliminari sulla ecologia del tartufo bianco (Tuber magnatum) in Molise*. Micologia Italiana, 24, 2, 64-69.

Ministero delle Politiche Agricole, Alimentari e Forestali
Osservatorio Nazionale Pedologico e per la Qualità del Suolo Agricolo e Forestale

In collaborazione con:
International Union of Soil Sciences
Società Italiana della Scienza del Suolo
Commissione VI - Uso e Conservazione del Suolo

DAZZI, C., FATTA DEL BOSCO, G., 2006. *Il frassino da manna*. In: Costantini, E.A.C. (Ed.), *Metodi di valutazione dei suoli e delle terre*, Cantagalli, Siena, pp. 922.

Collana dei metodi analitici per l'agricoltura diretta da Paolo Sequi, vol. 7

CRA - Consiglio per la Ricerca e la Sperimentazione in Agricoltura
Istituto Sperimentale per lo Studio e la Difesa del Suolo, Firenze

21. Il frassino da manna

Carmelo Dazzi¹, Giovanni Fatta Del Bosco¹

21.1. Posizione sistematica.....	3
21.2. Principali caratteristiche botaniche	3
21.3. Miglioramento varietale	3
21.4. Cultivar	4
21.5. Moltiplicazione.....	4
21.6. Esigenze pedo-climatiche	4
21.7. Tecnica colturale	5
21.7.1. Impianto	5
21.7.2. Interventi colturali	5
21.7.3. Raccolta	5
21.8. Prodotto	6
21.8.1. Tipi merceologici.....	6
21.8.2. Rese	6
21.9. La manna: caratteristiche, impieghi, storia e mito	6
21.9.1. Caratteristiche.....	6
21.9.2. Gli impieghi	6
21.9.3. La storia.....	7
21.9.4. Il mito (da: Fatta Del Bosco, 1990).....	7
21.10. Attitudine delle terre alla coltivazione del frassino da manna.....	8
21.11. Caratteri funzionali dei suoli e produttività del frassino da manna....	9
21.12. Caratteri funzionali del clima e produttività del frassino da manna.	11
21.13. Considerazioni conclusive.....	11
Bibliografia	12

¹Università di Palermo - Facoltà di Agraria

21.1. Posizione sistematica

Vengono comunemente incluse sotto la denominazione “Frassini da manna” alcune entità della Famiglia delle *Oleaceae*, genere *Fraxinus* L., esistenti, e tuttora coltivate, unicamente nei territori dei Comuni di Castelbuono e di Pollina (Palermo). In queste aree, il Frassino da manna è rappresentato dalla specie *F. ornus* L. (orniello) e *F. angustifolia* Vahl. (ossifillo), nonché dalla subspecie *oxycarpa* Bieb. ex Willd (*F. oxyphylla*) del *F. angustifolia*.

21.2. Principali caratteristiche botaniche

Il *Fraxinus ornus* L. (orniello, voce siciliana “Amolleo” o “Muddìo”) è un albero di media altezza (8-10 metri) con foglie grandi, opposte, picciolate, pubescenti al rachide, imparipennate con 5-9 foglioline; i fiori, che si sviluppano dopo le foglie in aprile-maggio, sono piccoli, bianchi, odorosi e riuniti in dense pannocchie dapprima erette e poi pendule. Il frutto è una samara lineare di 2-3 cm di lunghezza con un solo seme a sezione tondeggiante. L'impollinazione è entomofila.

Il *Fraxinus angustifolia* Vahl (ossifillo) è un albero che può superare i 20 metri di altezza, con foglie opposte, imparipennate, costituite da 5-13 foglioline sessili o quasi, con rachide glabra; i fiori, alla fine dell'inverno, si sviluppano prima delle foglie e sono riuniti in pannocchie ascellari.

Il frutto è una samara lineare di 2-4,5 cm di lunghezza. La subspecie *oxycarpa* si differenzia principalmente per la pubescenza della parte prossimale della pagina inferiore delle foglioline. L'impollinazione è anemofila. Assai caratteristico è il colore rossastro che assumono le foglie prima della filloptosi autunnale.

21.3. Miglioramento varietale

È stato unicamente affidato ad un'opera di selezione empirica effettuata dagli agricoltori, che quindi non poteva portare che a risultati modesti; infatti, le cultivar in atto coltivate sono pressoché le stesse di quelle riportate nelle monografie di oltre un secolo addietro. Solo una cultivar di orniello ed una di ossifillo appaiono d'introduzione relativamente recente. D'altra parte, ove si consideri che le piante più produttive sembrano quelle sessualmente sterili (tant'è che per la riproduzione si preferisce ricorrere a seme di piante selvatiche) risulta evidente come, nel tempo, un ovvio orientamento in tal senso abbia limitato al massimo anche il rinnovo naturale della coltura (Fatta Del Bosco, 1973).

21.4. Cultivar

L'insostenibile concorrenza esercitata dalla mannite da melasse zuccherine che ha soppiantato sul mercato il prodotto naturale, ha portato al graduale abbandono dei frassineti, ridotti oggi ad una superficie valutata intorno ai 250 ettari, con un totale di circa 70.000 piante in produzione. Si è andato così perdendo un patrimonio varietale di grande interesse, per cui non ha senso riportare le denominazioni di cultivar già scomparse come, peraltro, praticamente scomparsa è ormai la coltura dell'orniello, a causa della ridotta produttività e della breve stagione di sfruttamento; solo pochi esemplari della cultivar più recentemente identificata, la "Serra Casale", sopravvivono in stato di quasi abbandono, pure se, con tutta obiettività, la manna del *F. ornus* è giustamente considerata di superiore qualità rispetto a quella del *F. angustifolia*. I dati sopra riportati (superfici e numero di piante) si riferiscono quindi, in sostanza, al solo ossifillo, che è rappresentato dalle cultivar "Verdello" (da poco introdotta, è la migliore in assoluto), "Abbassa il cappello", "Russu" (vecchia varietà precocissima e produttiva, che fornisce però un prodotto qualitativamente non eccellente) e, assai sporadicamente, "Ziriddu" (o "Inserillo") e "Niuru".

21.5. Moltiplicazione

Si effettua per semi, posti in vivaio nel mese di marzo, o per polloni. In tutti i casi, le piante vengono innestate a dimora preferibilmente "a scudetto", "a spacco" o "a corona" quando hanno raggiunto almeno 2-3 cm di diametro.

21.6. Esigenze pedo-climatiche

Il *F. ornus* vegeta nell'Europa meridionale ed è frequente nelle zone costiere mediterranee. In Sicilia, allo stato spontaneo, vive nei boschi della fascia temperata e prospera sia in terreni silicei che calcarei. Il *F. angustifolia*, con la sottospecie *oxycarpa*, è presente nell'Europa Meridionale e Centro-Orientale ed in Sicilia, allo stato naturale, dove si rinviene ai margini dei valloni umidi della pianura e della collina; si adatta a tutti i terreni, pure se calcarei ed argillosi, e sopporta bene prolungati periodi di siccità.

21.7. Tecnica colturale

21.7.1. Impianto

Nei successivi paragrafi si farà riferimento unicamente al *F. angustifolia* con la relativa sottospecie *oxycarpa*.

L'impianto viene effettuato da dicembre a tutto febbraio con piante di un anno che, di norma, al terzo anno dalla messa a dimora saranno innestate come descritto in seguito. Le distanze, che variano in relazione alla fertilità del suolo, oscillano tra 2 metri (suoli considerati poco idonei) e 3-4 metri.

21.7.2. Interventi colturali

Al suolo, gli interventi colturali si limitano a leggere sarchiature o, molto spesso, alla consociazione con leguminose in funzione di concimazione. Assai importante è la potatura che mira, attraverso la soppressione dei rami laterali, a creare tronchi lisci e a colonna che saranno poi lievemente inclinati così da facilitare, in seguito alle incisioni, la colatura e la formazione della manna in "cannolo", che è la più pregiata. Non si effettuano trattamenti antiparassitari, anche se cominciano a destare qualche preoccupazione gli attacchi di *Blemnocarpa melanopigia*, defogliatrice delle chiome, e di *Cercospora frassini*, agente della carie dei tronchi.

21.7.3. Raccolta

Le incisioni vengono iniziate nella terza decade di luglio, quando le chiome assumono un lieve colorito giallastro, e proseguite al ritmo di una al giorno distanziate di 2-3 cm fra loro sino alla prima decade di settembre e comunque in relazione all'andamento stagionale. In effetti, per aversi la solidificazione dell'essudato mannifero occorrono assenza di pioggia, quindi basso grado di umidità, elevata temperatura e moderate escursioni termiche diurne; sostanzialmente, in annate ad estate piovosa, la produzione è ridotta o addirittura assente. Le attrezzature per operare le incisioni, la raccolta del prodotto e l'asciugamento dello stesso, variano leggermente da zona a zona ed assumono tipiche denominazioni locali ("mannaluoru", "rasula", "archetto", "stinnituri", ecc.).

21.8. Prodotto

21.8.1. *Tipi merceologici*

La classificazione commerciale più usuale distingue innanzi tutto il “cannolo” che, di aspetto stalattitiforme, è quanto si ottiene dalla naturale solidificazione del liquido che sgorga in seguito alle incisioni; è pressoché privo di impurezze, con alto contenuto in mannite e di valore nettamente superiore alle altre due categorie e cioè la manna “drogheria”, comunque assai apprezzata, e la manna “lavorazione” che, a parte il minor livello di mannite, si presentano più o meno ricche di inclusioni esterne (corteccia, terra, ecc.). Di norma, sulla produzione totale, le tre categorie sono così rappresentate: “cannolo” 7%, “drogheria” 10%, “lavorazione” 83%, mentre per quanto riguarda il valore in termini economici, la “drogheria” e la “lavorazione” hanno prezzi rispettivamente del 42% e del 58% inferiori a quelli del “cannolo”.

21.8.2. *Rese*

L'inizio della produzione si ha circa quattro anni dopo l'innesto e lo sfruttamento si esaurisce nell'arco di 11-25 anni. Una buona pianta adulta può fornire 2-3 Kg anno⁻¹ di manna, con punte massime anche di 4-6 Kg.

21.9. La manna: caratteristiche, impieghi, storia e mito

21.9.1. *Caratteristiche*

La più conosciuta fra le manne naturali è quella che sgorga spontaneamente in seguito a punture di insetti, oppure artificialmente come conseguenza di incisioni effettuate durante il periodo estivo, dai tronchi di alcune specie del genere *Fraxinus* e segnatamente *F. ornus* L. (orniello) e *F. angustifolia* Vahl (ossifillo), nonché dalla subspecie di quest'ultimo, *oxycarpa* Bieb., tuttora coltivati in alcune aree del massiccio montuoso delle Madonie, a occidente di Palermo, seppure su superfici molto limitate (Fatta Del Bosco, 1989). La manna grezza di frassino contiene: mannite (37-43%), acidi organici (40%), acqua (12%), glucosio (2%) e, in minor misura, levulosio, mucillagini, resine, e ancora tracce significative di composti a struttura cumarinica.

21.9.2. *Gli impieghi*

Gli impieghi del prodotto sono essenzialmente farmacologici, come purgante e diuretico, ma può trovare utili applicazioni anche negli edemi acuti, negli stati

di shock e contro gli ascaridi, mentre ai derivati cumarinici vengono riconosciute proprietà vasodilatatorie, anticarcinogene, antibatteriche, tubercolostatiche, antifungine, anticoagulanti. Peraltro, poiché anche le foglie, i frutti, i semi, la corteccia del fusto e della radice del frassino possono trovare valide utilizzazioni terapeutiche, nella tabella 21.1 vengono riportate, per ciascuna delle suddette parti di pianta, le rispettive preparazioni e gli effetti conseguibili.

Tabella 21.1. Impieghi farmacologici di diverse parti della pianta di frassino mannifero (Lentini et al., 1983).

Parte della pianta	Preparazione	Effetto
Manna	decotto, estratto fluido, infuso, polvere, tintura	lassativo, purgativo, espettorante, colagogo.
Foglie	decotto, infuso, sciroppo, tintura	antireumatico, antigottoso, diuretico, purgativo.
Frutti e semi	infuso, polvere	antireumatico, antigottoso, diuretico
Corteccia del fusto	decotto, polvere	febrifugo
Corteccia della radice	decotto	purgativo.

21.9.3. La storia

La letteratura sulla manna di frassino è vastissima e d'altra parte il prodotto ha goduto di periodi di grande favore: nel secolo dei lumi costituiva la base della «marmellata di Tronchin», divenuta celebre per l'uso costante fattone da Voltaire negli ultimi anni di vita. Assai meno note, altre piante sono in grado di fornire essudati chiamati anch'essi genericamente «manna». Agli inizi dell'800 si citava il larice europeo, da cui si otteneva la «manna di Brianzone», il *Cistus ladaniferus* che dava la «manna de hatta» dell'Andalusia e ancora, il *Salix chinensis* con la «manna del Cile».

Più indietro nel tempo, nel XVI secolo, si hanno notizie sulle «manne orientali» da *Alhagi camelorum* (sin. *A. marmifera*), tamerici ed erbe «somiglianti al timo e alla maggiorana» (Gelardi, 1989), mentre, addirittura in età classica, Virgilio e Ovidio asserivano che dalle querce poteva aversi «un miele abbondante simile alla rugiada». Infine, secondo Gelardi (1989), la manna degli antichi greci, utilizzata come medicamento per le ulcerazioni agli occhi, non sarebbe altro che polvere di incenso misto a corteccia.

21.9.4. Il mito (da: Fatta Del Bosco, 1990)

Vi è una larga concordanza sull'etimologia della parola «manna» che deriverebbe da «*man-hu?*», «cos'è ciò?», o anche «questo è il dono». Mosè nell'Esodo (XVI, 13 e seg.) narra che ne cadeva, salvo il sabato, una tale

quantità che ciascun israelita ne disponeva quotidianamente di 2 litri e 84 centilitri; tuttavia, non durava senza corrompersi oltre il giorno successivo, salvo, provvidenzialmente, appunto il sabato dedicato al riposo, onde era sufficiente raccoglierne al venerdì una doppia razione.

Quanto al gusto del cibo divino, nel libro della Sapienza è detto che «la manna in sé conteneva ogni delizia e sapore» e Mosè stesso nel Deuteronomio (II, 7) dice agli Ebrei «che loro nel deserto nulla è mancato»; addirittura, i rabbini affermavano che «la manna era come l'olio ai fanciulli, il miele ai vecchi, le focacce alle persone robuste», che aveva tutti i sapori (eccetto quelli dei porri, cipolle, aglio e cocomeri, vegetali troppo amati dagli Ebrei e perciò irripetibili) e i profumi diversi del paradiso terrestre e che diveniva, secondo il personale gradimento, pollo, pernice, ecc. Da parte dei consumatori, però, doveva essere sorto, comprensibilmente, qualche problema, tant'è che Giuseppe Flavio (Antiquit., III 1) riferisce che la manna era di un tale sapore da non lasciarne desiderare molta e, ancora, gli israeliti (Numeri XI, 6; XXI, 5) lamentavano «ci fa nausea questo leggerissimo cibo; l'anima nostra è languente; gli occhi nostri non veggono altro che manna». Ma Mosè ammoniva: «tu ricorderai tutto il viaggio che il Signore Iddio tuo ti fece fare per quaranta anni nel deserto per umiliarti e far prova di te [...]. Ti afflisce con la penuria e ti cibò con la manna, non conosciuta da te né dai tuoi padri, acciò apprendasi come l'uomo non vive di solo pane, ma di qualunque cosa Iddio avrà ordinata» (Deuter., VII, 2.3).

Sull'origine della manna biblica appare assai suggestiva la convinzione di Akiba, secondo il quale si tratterebbe di materializzazione della luce celeste e, confermandone la natura divina, i rabbini asserivano che ogni grano di manna portava la lettera «*vau*», equivalente al sei, per denotare che bisognava raccoglierla nei sei giorni prima del sabato e che era una delle cose create sul finire del sesto giorno per la perfezione del mondo. Infine, ritroviamo la manna anche nella tradizione cristiana e infatti nei primi secoli della Chiesa si credette che una rugiada condensata o «manna di San Giovanni» si formasse miracolosamente sulla tomba di questo Santo.

21.10. Attitudine delle terre alla coltivazione del frassino da manna

Il clima e il suolo sono da considerare i principali fattori ambientali condizionanti la frassinicoltura da manna. Non è infatti possibile indirizzarsi verso una frassinicoltura valida (al di là degli aspetti economici) senza che siano state accuratamente analizzate le condizioni edafo-climatiche in cui le piante devono vegetare e produrre, anche se la caratteristica rusticità del genere *Fraxinus*, permette di ottenere sempre discrete produzioni finanche in ambienti non considerati ottimali dagli anziani frassinicoltori. Il clima, più del suolo, sembra essere il fattore decisivo per la coltura del frassino da manna (tabella 21.2), il quale in zone climaticamente non idonee fornisce produzioni modeste o addirittura nulle. È infatti necessario che siano rispettati alcuni parametri

climatici affinché il liquido mannifero che sgorga dalle incisioni praticate sui tronchi riesca a rapprendersi.

Tabella 21.2. Requisiti pedo-climatici per la coltivazione del frassino da manna.

Requisiti	Condizioni
<i>Climatici</i>	
Temperatura	Con andamento mediterraneo: mite in inverno, relativamente alta in estate
Piovosità	Con andamento mediterraneo e totalmente assente nei mesi di luglio ed agosto
Umidità	Bassa nei mesi di luglio ed agosto
<i>Pedologici</i>	
Profondità del suolo	Crescente con la maggiore produttività
Tessitura	Tendenzialmente argillosa
Dotazione in S.O.	Decrescente con la maggiore produttività
Dotazione in N tot.	Decrescente con la maggiore produttività
Dotazione in P_2O_5 ass.	Decrescente con la maggiore produttività
Reazione	Tendenzialmente neutra

Ci sono parametri che devono coesistere, in particolare nel periodo estivo, e che possono compendiarsi in temperature elevate, assenza di precipitazioni e basso grado di umidità. Per quel che riguarda le caratteristiche pedologiche, il frassino non è così esigente come per il clima: nell'areale di coltivazione, lo si trova anche su suoli scarsamente feraci e pietrosi ed in suoli argillosi su cui si notano caratteristiche crepacciature. Rifugge, però, i suoli asfittici, che non presentano un buon drenaggio.

21.11. Caratteri funzionali dei suoli e produttività del frassino da manna

Nel panorama arboricolo mondiale, la frassinicoltura da manna rappresenta qualcosa di unico e, forse, di irripetibile: l'unico ambiente ove il frassino viene allevato per la produzione della manna è rimasto quello pedemontano costiero dei monti Madonie in Sicilia, dove il frassino mannifero continua ancora ad essere coltivato rispettando una tradizione ormai millenaria di tecniche colturali e metodi di raccolta. Come detto, la consistenza dei frassineti da manna è attualmente di circa 250 ettari di impianti, presenti quasi esclusivamente negli areali dei comuni di Castelbuono e Pollina, che hanno una densità media di 280 piante per ettaro; il totale degli alberi in produzione ammonta quindi ad appena 70.000 unità. È in questo areale di coltivazione, unico al mondo, che è stato condotto uno studio finalizzato alla valutazione delle terre per l'attitudine alla coltura del frassino da manna (Crescimanno et

al., 1993). Considerando l'esigua diffusione dei frassineti, per definire le relazioni suolo-pianta si è preferito, in questo studio, effettuare un confronto diretto fra i caratteri del suolo e la produzione di manna considerando uniformi, e quindi ininfluenti, i fattori non ambientali che possono influenzarne la produzione, quali l'abilità dei frassinicoltori, l'età delle piante, la densità di impianto, ecc. Tre i livelli di produttività di manna che sono stati definiti mediante rilevamenti in campo: alto (oltre 2 Kg per pianta); medio (1-2 Kg per pianta); basso (meno di 1 Kg per pianta). Fra i diversi parametri pedologici che sono stati investigati per caratterizzare in modo completo i suoli sottesi al frassino da manna (prevalentemente Alfisuoli, Inceptisuoli ed Entisuoli), solo alcuni mostrano di essere in relazione con i livelli di produttività sopra definiti. In particolare, sono state trovate relazioni più o meno evidenti con i seguenti parametri: reazione; dotazione in azoto totale; dotazione in fosforo assimilabile; dotazione in sostanza organica; contenuto in argilla; profondità del suolo. Così, per ciò che concerne la reazione, è stata evidenziata una certa relazione fra i valori del pH e la produzione.

Precisamente, per i tre livelli di produttività considerati, il valore del pH risulta sempre sub-acido, ma crescente da pH 5,7 per il livello di produttività basso, a pH 6,6 per il livello di produttività alto. Un nesso singolare è scaturito mettendo in relazione la dotazione in azoto totale dei suoli con i livelli di produttività: è emerso come la minore produzione di manna si ha sui suoli con il più alto valore riscontrato di azoto totale (0,13%) mentre la maggiore produzione, sui suoli con il più basso valore di azoto totale (0,094%). Analoga situazione è stata evidenziata per il fosforo assimilabile: anche in questo caso alla maggiore dotazione in fosforo totale (136 ppm) corrisponde il livello di produttività più basso, mentre alla minore dotazione (86 ppm) corrisponde la maggiore produzione. Identico andamento mostra la relazione riscontrata fra produttività del frassino da manna e dotazione in sostanza organica dei suoli sui quali insiste: la maggiore produzione si ottiene su suoli che mostrano i minori contenuti in sostanza organica (1,14%) e viceversa (sostanza organica pari a 3,04%). La relazione esistente fra produzione e contenuto in argilla appare crescente in modo lineare passando dal 15% in argilla al 46% e al 58%, rispettivamente per livelli di produzione bassi, medi ed alti. Una relazione diretta esiste anche con la profondità del suolo, nel senso che i suoli meno produttivi sono i meno profondi (< 35 cm) e i più produttivi i più profondi (> 90 cm). Nella tabella 21.3 sono riportate le Classi di adattabilità del Frassino da manna ai suoli investigati. Come si nota, si è preferito accomunare le Classi S1 ed S2 e la Classe S3 con l'Ordine N, e di non ricorrere a valori numerici per definire le relazioni parametro pedologico/classe di adattabilità. Tale scelta è giustificata sia dalla assoluta mancanza di raffronti con areali di coltivazione diversi da quello ove ormai è confinata la coltura, sia dalle non ampie differenze che i parametri pedologici investigati hanno talora fatto registrare in relazione ai livelli di produttività della manna.

Tabella 21.3. Adattabilità del frassino da manna in relazione ad alcuni caratteri funzionali del suolo.

Parametro	Classe di adattabilità S1 e S2 (adatto o mediamente adatto)	Classe di adattabilità S3 e N (marginalmente adatto o non adatto)
Reazione	in suoli da sub-acidi a sub-alcini	in suoli acidi o alcalini
N tot.	in suoli con valori da bassi a medi	in suoli con valori alti
P ₂ O ₅ ass.	in suoli con valori da bassi a medi	in suoli con valori alti
S.O.	in suoli con valori da bassi a medi	in suoli con valori alti
Tessitura	in suoli a tessitura da fine a media	in suoli a tessitura grossolana
Profondità	in suoli profondi o mediamente profondi	in suoli poco profondi o superficiali

21.12. Caratteri funzionali del clima e produttività del frassino da manna

Accanto al suolo, il clima è da considerare come altro importante fattore condizionante la produttività del frassino da manna, tant'è che in aree climaticamente non adatte, il frassino fornisce produzioni modeste o addirittura nulle. In particolare è stato osservato che esiste una stretta relazione fra le precipitazioni registrate nel periodo maggio-settembre e la produzione di manna. È bene sottolineare che le precipitazioni non devono coincidere con il periodo della raccolta, che si svolge tra la terza decade di luglio e la prima di settembre, sia perché le piogge dilavano il prodotto (che appare ridotto o assente nelle annate ad estate piovosa), sia perché la pianta deve trovarsi in stato di stress idrico per essere stimolata alla produzione.

21.13. Considerazioni conclusive

Alla luce delle relazioni che esistono fra le caratteristiche del suolo, le caratteristiche del clima e la produzione di manna, le tabelle di confronto per l'attribuzione delle classi di attitudine dei suoli e dell'ambiente climatico alla coltivazione del frassino da manna (tabelle 21.2 e 21.3) mettono in evidenza che i suoli che presentano delle caratteristiche favorevoli alla produzione di manna devono essere profondi e tendenzialmente argillosi. Non sono state evidenziate relazioni molto significative con la reazione del suolo, che comunque per produzioni elevate tende ad assumere valori prossimi alla neutralità. Singolari appaiono le relazioni che emergono fra la produzione di manna e la dotazione del suolo in azoto totale, in fosforo assimilabile e in sostanza organica. Sarebbe ragionevole un aumento della produzione legato, entro certi limiti, ad un incremento dei sopra citati fattori della fertilità. Emerge invece una relazione

inversa: la produzione di manna aumenta al diminuire della dotazione di questi parametri. Ciò potrebbe verosimilmente essere legato all'estrema rusticità del frassino da manna che, per produrre, si avvantaggia di bassi *input*. L'epoca di produzione della manna coincide infatti con un evidente stato di stress della pianta e pertanto con l'arresto dell'attività vegetativa, mentre un lussureggiamento eccessivo si ripercuote negativamente, deprimendo la produzione. In effetti, le prime incisioni sul tronco dell'albero per l'ottenimento della manna vengono praticate quando la pianta è "matura", con ciò intendendo uno stato di stress che si palesa con un ingiallimento delle fronde, che appaiono anche asciutte ed increstate.

Bibliografia

- CRESCIMANNO, F.G., DAZZI, C., FATTA DEL BOSCO, G., FIEROTTI, G., OCCORSO, G., 1993. *Research on woody plants with low energetic inputs: first results for the "Land Suitability System" on Ash-tree manna ("Fraxinus angustifolia" Vahl and "Oxycarpa")*. In: Soil Biota, Nutrient Cycling and Farming System, Paoletti, Foissner & Coleman (Ed.), LEWIS publisher, 183-192.
- FATTA DEL BOSCO, G., 1973. *Aspetti e problemi della frassinicoltura siciliana*. Tecnica Agricola, 1.
- FATTA DEL BOSCO, G., 1989. *Il frassino da manna tra realtà, prospettive e convegni*. Frutticoltura, 7.
- FATTA DEL BOSCO, G., 1990. *La manna da frassino: un excursus tra storia e tradizione*. Giornale di Agricoltura, 8.
- GELARDI, G., 1989. *Memorie sulle piogge di manna*. Az. Agr., (Ed.), "Dimani".
- LENTINI, F., MAZZOLA, P., NOT, R., 1983. *I frassini da manna*. Natura e montagna, 4.



Figura 1. Intaccatura delle piante di frassino per l'estrazione della manna.



Figura 2. Raccolta tradizionale dei "cannoli" di manna.



Figura 3. Formazione di un "cannolo" di manna ottenuto facendo rapprendere il prodotto attorno ad un filo di nylon sospeso al tronco e tenuto verticale. In questo modo si ottengono i cosiddetti "cannoli d'allevamento" sottili e regolari.



Figura 4. Nell'areale di produzione i Typic Haploxeralfs sono fra i suoli maggiormente idonei per il frassino da manna.

Ministero delle Politiche Agricole, Alimentari e Forestali
Osservatorio Nazionale Pedologico e per la Qualità del Suolo Agricolo e Forestale

In collaborazione con:
International Union of Soil Sciences
Società Italiana della Scienza del Suolo
Commissione VI - Uso e Conservazione del Suolo

ARAMINI, G., COLLOCA, C., COREA, A.M., PAONE, R., 2006. *Cipolla di Tropea*. In: Costantini, E.A.C. (Ed.), *Metodi di valutazione dei suoli e delle terre*, Cantagalli, Siena, pp. 922.

Collana dei metodi analitici per l'agricoltura diretta da Paolo Sequi, vol. 7

CRA - Consiglio per la Ricerca e la Sperimentazione in Agricoltura
Istituto Sperimentale per lo Studio e la Difesa del Suolo, Firenze

22. Cipolla di Tropea

Giovanni Aramini¹, Caterina Colloca¹, Anna Maria Corea¹, Raffaele Paone¹

22.1 Caratteristiche	2
22.2 Tecnica colturale.....	3
22.3 Requisiti colturali.....	4
22.4 Caratteri del territorio.....	5
Bibliografia	7

22.1 Caratteristiche

La cipolla (*Allium cepa*), è una pianta erbacea biennale appartenente alla famiglia delle Liliacee (*Allium* in celtico significa “brucia” e *cepa*, dal latino *caput*, bulbo). Con il termine generico “cipolle di Tropea”, ci si riferisce alla varietà “cipolla rossa di Tropea”, detta anche semplicemente “la Rossa di Tropea”, riconoscibile dal colore rosso vivo delle tuniche, dalle dimensioni medio grandi del bulbo, dalla precocità e dalle pregevoli caratteristiche organolettiche: tenerezza, dolcezza e croccantezza, che la eleggono al consumo fresco.

La bibliografia corrente definisce la Cipolla Rossa di Tropea non una varietà, ma una popolazione locale della quale si rinviene qualche citazione sui testi d'agronomia e coltivazione erbacee (Giardini, 1982a; 1982b; Landi, 1980). È dotata di un ciuffo di radici fascicolate superficiali che si sviluppano nel terreno in profondità per 20-30 cm ed orizzontalmente per circa 25 cm. La porzione edule è costituita da un bulbo di forma e colore variabili, formato da tuniche (catafilli) che sono succulente e carnose, nella parte interna, strettamente sovrapposte le une alle altre, con funzioni di riserva per i materiali nutritivi e per l'acqua, e contenenti le sostanze irritanti e lacrimogene; le tuniche esterne sono sottili, membranose o papiracee, con funzione protettive. Entrambe costituiscono le parti basali della foglia, piccola, disposta ad anello, che si evolve a gancio e poi a frusta, prima della comparsa delle altre foglie.

¹ ARSSA Calabria – Servizio di Agropedologia

L'insieme s'inserisce in un'asse caulinare corto, chiamato girello, che è il vero fusto.

La foglia adulta è composta di due parti: la guaina tubolare, che parte dal girello, e la lamina, prima piena poi cava, a sezione quasi circolare, chiusa all'apice, di colore verde glauco, ricoperta di sostanza cerosa. Lo scapo fiorale, alto da 40 a 100 cm, che si manifesta nel secondo anno, è cavo anch'esso, verde glauco, ricoperto di sostanza cerosa; termina con una spatula che protegge l'infiorescenza ad ombrella semplice. Con il progredire della maturazione, la spatula dissecca e si spacca, lasciando uscire centinaia di fiori (fino a 600), ognuno dei quali sostenuto da un pedicello di 2-3 cm. È una specie allogama. Essendo una pianta biennale, fiorisce nel secondo anno di vita; solo in particolari condizioni ambientali si può avere la formazione dello scapo fiorale durante il primo anno (Siviero e Trentini, 1989).

Il valore della produzione lorda vendibile della liliacea calabrese è pari a circa 10 milioni di euro. La produzione media annuale si aggira sulle 20.000-26.000 t, a fronte di una superficie coltivata di circa 400-500 ha. Il prodotto viene commercializzato in diverse regioni italiane, in particolare: Toscana, Emilia Romagna, Lombardia e Veneto. Il maggior *export* si registra in Germania, Francia, Svizzera, Austria, Svezia (ARSSA, 2000).

22.2 Tecnica colturale

Sono prese in considerazione due forme di produzione: precoce e tardiva. Le tecniche adottate sono pressoché simili nelle due produzioni, tuttavia esistono sostanziali differenze riguardo alle esigenze della coltura, legate per lo più alle diverse epoche di svolgimento del ciclo colturale.

Nello specifico, la cipolla precoce viene seminata in semenzaio nel mese di agosto e trapiantata manualmente in ottobre-novembre, allorché le piantine presentano 2-3 foglie e sono alte circa 16 cm. La preparazione del terreno in pieno campo consiste in un'aratura a 30-40 cm di profondità seguita da lavorazioni superficiali d'amminutamento e l'eventuale formazione di prose o baulature. Il sesto d'impianto più comune è di 9 cm sulla fila e 13 nell'interfila, realizzando un investimento di 850 mila piante per ettaro.

La raccolta dei bulbi avviene in febbraio-marzo per l'ottenimento del cipollotto o in maggio-aprile per la produzione del bulbo da consumo fresco, dalla caratteristica forma a trottola o tonda.

Per la coltura tardiva, il semenzaio viene allestito in dicembre-gennaio ed il successivo trapianto manuale si effettua in marzo-aprile. La produzione si ottiene ad inizio estate. I bulbi di forma allungata sono adatti per il consumo fresco e soprattutto per la conservazione.

L'irrigazione, in funzione dell'andamento climatico, delle caratteristiche del terreno e del tipo di coltivazione, inizia in aprile e va avanti fino alla

raccolta, con turni di 8-13 giorni, erogando volumi d'adacquamento di 2000-3000 m³ ha⁻¹, distribuiti per scorrimento o, più efficacemente, a pioggia.

I parassiti fungini più diffusi sono la Peronospora, la Botritis, la Sclerotinia ed il Fusarium spp., contro i quali si interviene con prodotti sistemici e rameici già a partire dal semenzaio e sulle piantine prima del trapianto; successivamente si effettuano 3-4 trattamenti preventivi in pieno campo.

Per ciò che riguarda i macronutrienti, l'azoto risulta importante per lo sviluppo della pianta, la resa dei bulbi, la produzione di sostanza secca ed, inoltre, ha un effetto dolcificante. L'anidride fosforica regola l'intensità della colorazione del bulbo, lo spessore delle brattee e la resistenza delle tuniche al distacco. Il potassio influenza la resistenza alle malattie e la consistenza dei bulbi, il calcio gioca un ruolo fondamentale sulla compattezza dei bulbi e lo zolfo è determinante per il sapore.

Le asportazioni unitarie ammontano a 0,027, 0,013, 0,027 kg t⁻¹ di bulbi prodotti per N, P₂O₅ e K₂O rispettivamente (Giardini, 1982a; 1982b).

L'epoca di raccolta della cipolla in coltura tardiva viene stabilita da alcune osservazioni in campo, come l'allettamento della pianta e l'incurvatura delle foglie con essiccamento della zona apicale. L'estirpamento viene eseguito a mano da raccoglitrice che depongono i bulbi in andane sul terreno, avendo cura di coprirli con le stesse foglie. Lasciati sul terreno, i bulbi completano definitivamente lo sviluppo (gli zuccheri migrano dalle foglie al bulbo), si asciugano, acquistano compattezza e resistenza e le tuniche esterne seccano per disidratazione. La raccolta meccanizzata per ora non ha avuto successo, poiché i bulbi troppo teneri subiscono lacerazioni che pregiudicano la serbevolezza.

La cipolla da serbo scollettata, una volta raccolta, viene fatta disidratare al sole per 7 giorni e i bulbi vengono privati delle code. Il calibro va dai 40 ai 100 mm. La cipolla da serbo intrecciata viene anch'essa fatta essiccare al sole per 7 giorni, i bulbi vengono intrecciati ed il loro diametro va dai 35 ai 100 mm. Questa tipologia di prodotto può essere commercializzata tutto l'anno.

Solo una minima parte è venduta intrecciata poiché l'operazione, esclusivamente manuale, eseguita in campo ed in magazzino, richiede un numero di giornate lavorative elevato, e ciò implica notevoli costi ed un basso margine di guadagno (Sesto, 1995).

22.3 Requisiti colturali

La conoscenza non sempre approfondita dei requisiti colturali spesso rappresenta un limite nei processi di valutazione. È sempre opportuno avere informazioni dettagliate sulle condizioni ottimali di crescita, derivanti da prove sperimentali effettuate su differenti tipi di suolo che insistono sul comprensorio. Nel nostro caso, si è fatto riferimento alle esigenze medie della specie riportate in bibliografia (Giardini, 1982a; 1982b; Siviero e Trentini, 1989; ERSO, 1993).

La cipolla preferisce generalmente terreni franchi, franco sabbiosi che, tra l'altro, facilitano le operazioni di estirpazione, ma si adatta bene anche a terreni argillosi, purché ben strutturati, con buona capacità per l'aria. Nel caso specifico, i terreni con tessitura franco argillosa ed argillosa sono stati considerati poco adatti alla coltura precoce in quanto non garantiscono buone condizioni termiche, mentre sono stati considerati molto adatti per la coltura tardiva. Quest'ultima, infatti, viene trapiantata nei periodi in cui le caratteristiche termiche non costituiscono un limite. Inoltre, le condizioni di maggiore umidità, che inevitabilmente si verificano in questi suoli e che in caso di coltura precoce richiederebbero forti *input* chimici per il controllo delle malattie fungine, spostandosi verso la stagione asciutta costituiscono un problema limitato. Infine, i terreni a tessitura fine o moderatamente fine garantiscono una buona capacità di ritenuta idrica, permettendo così una migliore gestione della risorsa acqua in caso di coltura tardiva.

Elevati contenuti in scheletro limitano il volume di suolo esplorabile dalle radici.

Per ciò che riguarda il pH, la cipolla, pur preferendo terreni subacidi, si adatta anche a quelli subalcalini. Un limite serio è invece rappresentato dai suoli acidi e molto acidi a causa della sensibilità della specie all'alluminio libero. L'acidità, inoltre, così come l'elevato contenuto in calcare attivo, può causare problemi legati alla disponibilità dei macro e meso nutrienti. Infine, i suoli devono essere sempre caratterizzati da bassa salinità. Quest'ultimo carattere incide negativamente sull'accumulo degli zuccheri nel bulbo (Pimpini, 1981).

22.4 Caratteri del territorio

La valutazione si è basata su alcuni parametri pedologici misurabili e difficilmente modificabili, dedotti dalla carta dei suoli in scala 1:25.000, ritenuti discriminanti per la coltura della cipolla nell'ambito del comprensorio di produzione (Fascia Costiera, Capo Vaticano, Vibo Marina). Nello specifico, sono stati considerati: tessitura, pH, drenaggio, calcare attivo, contenuto in scheletro, conducibilità elettrica, dotazione in sostanza organica, profondità della falda, capacità di ritenzione idrica (ARSSA, 1995; FAO, 1986). Quest'ultimo parametro è stato considerato, pur essendo in regime irriguo, perché consente di delimitare quelle aree che, pur garantendo condizioni di crescita ideali, richiedono forti apporti idrici. Tali aree possono essere più convenientemente investite a coltura precoce, che lascia il terreno prima dei periodi di maggiore fabbisogno idrico.

Dal confronto fra i caratteri del territorio ed i requisiti colturali, con riferimento ai tipi d'utilizzazione considerati (coltura precoce e coltura tardiva), sono stati elaborati gli schemi di valutazione riportati nelle tabelle 22.1 e 22.2.

Tabella 22.1. Schema per la valutazione dell'attitudine dei suoli alla produzione della cipolla rossa in coltura precoce.

Caratteristiche pedologiche	CLASSI DI ATTITUDINE			
	S1 Molto adatti	S2 Moderatamente adatti	S3 Poco adatti	N2 Non adatti
Tessitura (USDA)	S-SF-FS-F	FSA-AS	Altra	
pH	5,5 - 7,5	5/5,5 - 7,5/8	< 5 - > 8	
Drenaggio interno	Rapido - Buono	Mediocre	Lento	
Scheletro (%)	< 15	> 15		
Calcare attivo (%)	< 10	> 10		
Conducibilità (mS cm ⁻¹)	< 1	1 - 2	> 2	
Sostanza organica	Buona	Scarsa		
Falda (cm)	> 100	100 - 70	< 70	
Limitazioni morfologiche	Assenti	Assenti	Assenti	Presenti (pendenza > 20%)

Tabella 22.2. Schema per la valutazione dell'attitudine dei suoli alla produzione della cipolla rossa in coltura tardiva.

Caratteristiche pedologiche	CLASSI DI ATTITUDINE			
	S1 Molto adatti	S2 Moderatamente adatti	S3 Poco adatti	N2 Non adatti
Tessitura (USDA)	F-FSA-AS-FA	S-SF-FS-A	Altra	
pH	5,5 - 7,5	5/5,5 - 7,5/8	< 5 - > 8	
Drenaggio	Buono - Mediocre	Rapido - Lento		
A.W.C. (mm per metro)	> 160	< 160		
Scheletro (%)	< 15	> 15		
Calcare attivo (%)	< 10	> 10		
Conducibilità (mS cm ⁻¹)	< 1	1 - 2	> 2	
Sostanza organica	Buona	Scarsa		
Falda (cm)	> 100	100 - 70	< 70	
Limitazioni morfologiche	Assenti	Assenti	Assenti	Presenti (pendenza > 20%)

Bibliografia

- ARSSA, 1995. *Carta dei suoli della fascia costiera Capo Vaticano – Vibo Marina*.
- ARSSA, 2000. *Cipolla Rossa di Tropea*. POM, Misura 2
- ERSO - REGIONE EMILIA ROMAGNA, 1993. *Disciplinare di produzione integrata (cipolla)*.
- FAO, 1986. *A framework for land evaluation*. Soil Bulletin, n.32, Roma.
- GIARDINI, L., 1982a. *Agronomia Generale*. Patron Editore, Bologna.
- GIARDINI, L., 1982b. *Coltivazioni erbacee*. Patron Editore Bologna.
- LANDI, R., 1980. *Elementi di agronomia generale*. Cedam, Padova.
- PIMPINI, F., 1981. *Stato attuale e problemi di tecnica colturale della cipolla (Allium cepa)*. Agricoltura Ricerca, X, n.83.
- SESTO, S., 1995. *La Cipolla Rossa di Tropea*. Federazione Regionale Agricoltori della Calabria.
- SIVIERO, P., TRENTINI, L., 1989. *Un tutto cipolla*. L'Informatore Agrario, 103-110.

Ministero delle Politiche Agricole, Alimentari e Forestali
Osservatorio Nazionale Pedologico e per la Qualità del Suolo Agricolo e Forestale

In collaborazione con:
International Union of Soil Sciences
Società Italiana della Scienza del Suolo
Commissione VI - Uso e Conservazione del Suolo

INGLESE, P., SCALENGHE, R., 2006. *Ficodindia*. In: Costantini, E.A.C. (Ed.), *Metodi di valutazione dei suoli e delle terre*, Cantagalli, Siena, pp. 922.

Collana dei metodi analitici per l'agricoltura diretta da Paolo Sequi, vol. 7

CRA - Consiglio per la Ricerca e la Sperimentazione in Agricoltura
Istituto Sperimentale per lo Studio e la Difesa del Suolo, Firenze

23. Ficodindia

Paolo Inglese¹, Riccardo Scalenghe¹

23.1. Caratteristiche	2
23.1.1. Caratteri botanici	4
23.1.2. Varietà	5
23.2. Tecnica vivaistica e materiale d'impianto	5
23.2.1. Miglioramento genetico	6
23.2.2. Preparazione del terreno	6
23.2.3. Impianto e potatura d'allevamento.....	6
23.2.4. Diradamento dei frutti, scozzolatura e raccolta	6
23.2.5. Il prodotto: raccolta e conservazione.....	7
23.2.6. I prodotti secondari.....	8
23.3. Requisiti colturali	9
23.3.1. Clima.....	9
23.3.2. Suolo	9
23.3.3. Esigenze idriche.....	9
23.3.4. Elementi nutritivi.....	10
23.4. Attitudine delle terre alla coltivazione del ficodindia.....	10
23.5. Caratteri funzionali dei suoli e tabelle di valutazione.....	11
Bibliografia	12

23.1. Caratteristiche

Il ficodindia (*Opuntia ficus-indica* L. (Mill.)), Cactacea, è specie originaria degli altipiani del centro Messico; assieme a mais, zucca, agave ed alcune leguminose ha costituito per secoli la base alimentare delle popolazioni locali (Turkon, 2004). Nel corso del XVI secolo, fu portato in Europa dai *conquistadores* spagnoli. Il ficodindia si diffuse dapprima negli orti dei nobili e, successivamente, in coltura, naturalizzandosi rapidamente e divenendo, in tutto il bacino del Mediterraneo, un elemento essenziale del paesaggio naturale ed

¹ Università degli Studi di Palermo

agrario e una presenza costante nell'alimentazione dell'uomo e del bestiame delle popolazioni indigene del Nord Africa, del Medio Oriente e dell'Europa Meridionale, in particolare della Sicilia, della Grecia e della Spagna meridionale. Diffuse in ambedue gli emisferi e su tutti i continenti, le Opuntie sono coltivate, secondo le stime più attendibili, su una superficie di circa 100.000 ettari per la produzione di frutta e su oltre 1.000.000 di ettari destinati al pascolo o alla produzione di foraggio destinato all'alimentazione di bovini ed ovicaprini in Messico, America Meridionale (solo in Brasile si coltivano per la produzione di foraggio oltre 300.000 ettari di Opuntie), USA (Texas in particolare), Nord Africa e Asia Occidentale (la cosiddetta WANA Region), Corno d'Africa e Sud Africa (Wessels, 1988). In ognuna di queste regioni del globo si producono sottoprodotti derivati sia dalla trasformazione della frutta, sia dalla trasformazione dei cladodi, destinati al consumo umano o ad usi non alimentari (Barbera et al., 1995).

Le Opuntie hanno un ruolo strategicamente importante nella dieta alimentare e, quindi, nell'agricoltura di sussistenza delle regioni semi-aride, dove sono diffuse e coltivate. Solo recentemente, dal XIX secolo in Italia e dal XX nel resto del mondo, sono coltivate su scala industriale e per finalità commerciali. Si tratta di due modelli colturali e culturali molto differenti, ma di eguale importanza.

Per la produzione di frutta, l'*Opuntia ficus-indica* è coltivata, in piantagioni specializzate, in Messico, regione centro settentrionale (Zacatecas, Saltillo, Durango, San Luis Potosí, Aguascalientes e Guanajuato) e regione centro meridionale (Puebla, Mexico, Tlaxcala e Hidalgo), su oltre 70.000 ettari; in Cile è presente nella regione Metropolitana su poco più di 1.000 ettari; in Argentina esistono piantagioni specializzate nelle regioni di Santiago del Estero, Tucuman e Catamarca su poco meno di 1.000 ettari; in Israele, nell'area del Negev, troviamo circa 250 ettari di piantagioni specializzate; in Sud Africa ci sono 1.000 ettari di ficodindia nel Western Cape, nella Provincia del Nord e nella regione del Ciskey; negli Stati Uniti, l'*Opuntia ficus-indica* è coltivata in California, nella piana di Salinas, su oltre 300 ettari di coltura specializzata. Mancano dati sulla diffusione nei paesi nord-africani, dove si stimano non meno di 50.000 ettari in coltura specializzata (25.000 nella sola Tunisia). In Italia, è coltivata su poco più di 3.000 ettari distribuiti nei territori di Santa Margherita Belice (AG) e San Cono (CT), nonché sulle pendici sud-occidentali dell'Etna (Biancavilla, Belpasso e Paternò), dove ha avuto il riconoscimento di Denominazione di Origine Protetta (DOP).

Considerando una produzione media di 10 t ha⁻¹ su scala mondiale, si può immaginare una produzione pari a 1.000.000 di tonnellate per anno proveniente da piantagioni specializzate, mentre enormemente maggiore può essere quella che deriva da piante spontanee o da giardini non intensivi, diffusi nell'agricoltura di sussistenza di molte delle regioni dove la specie è presente (Pimienta Barrios, 1990; Barbera e Inglese, 1993; Nobel, 1988; 2002).

23.1.1. Caratteri botanici

Della famiglia delle Cactacee e del genere *Opuntia*, l'*Opuntia ficus-indica* è la più diffusa in coltivazione. È specie perenne a portamento arboreo-arbustivo con apparato radicale fascicolato e superficiale e molto denso. La parte aerea è composta da articoli, i cladodi, che mantengono una funzione fotosintetizzante fino a 2-3 anni dalla formazione. Elemento caratterizzante dei cladodi, oltre la morfologia tipica della specie, è la presenza di due tessuti: il clorenchima, responsabile dell'attività fotosintetica, ed il parenchima, responsabile dell'immagazzinamento dell'acqua. Sui cladodi, disposte secondo una geometria tipica della specie, ci sono le areole, meristemi totipotenti, capaci di generare fiori, nuovi cladodi o, se poste a contatto con il suolo, radici. I fiori si sviluppano in genere dalle areole disposte lungo la corona del cladodio, ma non è infrequente la produzione di fiori anche dalle areole della superficie planare esposta al sole. Un cladodio può produrre anche 35-40 fiori, ciascuno dei quali, durante le fioriture abbondanti, può perdere, in condizioni di elevata evapotraspirazione potenziale, sino a 3 grammi al giorno di acqua, che equivalgono al 15% del peso al momento dell'antesi (De la Barrera e Nobel, 2004).

Le foglie non sono persistenti e si trovano solo sui giovani cladodi per poi distaccarsi quando questi si sviluppano. Le spine, nelle varietà in cui le troviamo, si formano anch'esse sulle areole in forma isolata o a corona e differiscono dai glochidi in dimensione, colore e forma. I glochidi, infatti, sono più piccoli e leggeri e presentano delle rastremazioni ad uncino, mentre le spine sono a superficie liscia.

La specie germoglia in primavera e fiorisce in maggio. Se, prima e durante, ma non dopo la fioritura, si rimuovono tutti i fiori ed i giovani cladodi emessi in primavera, la specie rifiorisce e la produzione di frutti che ne deriva maturerà non più in estate (luglio-agosto), ma in autunno (ottobre-novembre), dando luogo ai frutti "scozzolati" o "bastardoni". Questa produzione costituisce il 95% della produzione siciliana. La specie tollera l'aridità ed è molto resistente al caldo, anche se la sua produttività fotosintetica può ridursi in modo enorme quando le temperature sono superiori a 30°C, anche in caso di disponibilità idrica sufficiente. Il metabolismo CAM (*crassulacean acid metabolism*) consente grandi risparmi d'acqua, perché gli stomi si aprono di notte, tanto che l'efficienza nell'uso dell'acqua è pari a 3-4 mg di sostanza secca per grammo d'acqua traspirata. La durata del periodo di sviluppo del frutto è pari a 70-110 giorni, in funzione del periodo di fioritura, mentre la durata commerciale di un impianto è stimabile in 25 anni. La fruttificazione avviene per il 90% sui cladodi di un anno, il cui numero medio di fiori è pari a 6-9, con punte di 30-35. Oltre il 90% dei cladodi di un anno è in genere fertile, mentre quelli di 2-3 anni sono responsabili del rinnovo vegetativo.

23.1.2. Varietà

In Messico, oltre all'*Opuntia ficus-indica*, si coltivano specie diverse come l'*Opuntia megacantha*. Nel caso dell'*Opuntia ficus-indica*, i frutti si differenziano in base al colore della polpa a maturità, che può essere giallo, rosso o bianco-crema. Possono farsi distinzioni in base alla pezzatura del frutto, al contenuto in semi o in zuccheri solubili della polpa all'epoca di maturazione del frutto o al portamento e *habitus* vegetativo delle piante. La maggiore variabilità è in Messico, dove esiste il germoplasma più imponente, con oltre 50 tra varietà e cloni, di cui 14-15 sono le più diffuse (Reyna, Cristalina, Burróna, Chapeada, Fafayuco, Naranjóna, Roja Lisa, Rojo Pelón, Amarilla Montesa, Blanca de San José, Copena, Cascaron, Liria, San Martín, Esmeralda, Pico Chulo). In Messico, molte delle varietà coltivate hanno le spine sia sul frutto, sia sul cladodio, mentre in Italia le varietà coltivate sono inermi e presentano i glochidi solo sul frutto. In Italia, sono diffuse le varietà Gialla, Rossa e Bianca e le cosiddette "trunzare", anch'esse a polpa bianca o gialla, che differiscono per una maggiore croccantezza della polpa. La Gialla incide sul 90% della superficie investita e la Rossa sull'8%. La Gialla è diffusa grazie all'elevata capacità di rifiorire ed alle ottime caratteristiche generali del frutto. La Rossa è più tardiva nella maturazione, mentre la Bianca è più sensibile ai danni in post-raccolta ed alla mosca della frutta. Tra le varietà diffuse in campo internazionale ricordiamo: l'Ofer, cultivar a polpa gialla diffusa in Israele; le cultivar Algerian, Blue Motto e Director, diffuse in Sud Africa, dove esiste un'ampia variabilità in termini di portamento e fabbisogno in freddo delle piante; la Andy Boy, cultivar a polpa rossa diffusa in California.

23.2. Tecnica vivaistica e materiale d'impianto

Si propaga, e s'impianta in campo, esclusivamente per talea, anche se teoricamente è fattibile l'innesto (a spacco semplice) ed è possibile ricorrere alla micropropagazione per finalità di miglioramento genetico, di conservazione del germoplasma o di produzione di piante in contenitore e del loro successivo trasferimento in campo. Le talee sono composte di singoli cladodi di 1-2 anni di età o da cladodi multipli costituiti da un cladodio di 2 anni, che porta due cladodi, "orecchie", di un anno di età. Le talee, dopo il prelievo dalla pianta madre, vanno fatte asciugare in ombra per fare cicatrizzare la superficie di taglio. L'ideale è un periodo che consente una disidratazione della talea non superiore al 20% del peso fresco; in pratica si tratta di 10-12 giorni a 20-25°C. Le talee vanno impiantate disponendone la porzione basale (non oltre il 50% del cladodio nel caso di cladodio singolo, anche il 70% nel caso di cladodi multipli) sottoterra e ponendole in posizione perfettamente verticale, con la superficie planare disposta normalmente al filare. Per ottenere la più rapida ed intensa radicazione, è consigliabile prelevare le talee in primavera inoltrata per

piantarle, se si dispone d'acqua irrigua in maggio-giugno. Gli impianti autunnali rallentano la radicazione, aumentano la competizione con la flora spontanea in un momento in cui la pianta è poco competitiva e aumentano il rischio di marciumi.

23.2.1. Miglioramento genetico

Obiettivi fondamentali del miglioramento genetico, oltre alla descrizione, catalogazione e conservazione del germoplasma mondiale, è quello di ridurre il numero di semi del frutto, ovvero diminuirne le dimensioni ed eliminare i glochidi e le spine dal frutto e dai cladodi. Obiettivi specifici, d'alcune regioni ficodindicole, possono essere l'aumento del contenuto in solidi solubili nella polpa (minore nelle cultivar italiane rispetto a diverse cultivar messicane), l'aumento della resa in polpa, la differenziazione del colore della polpa (il verde, ad esempio, od il rosato, diffusi in diverse cultivar-popolazione indigene del Messico, del Perù e del Cile), l'aumento di produttività e la resistenza al freddo della pianta, la pezzatura e la capacità di rifiorenza.

23.2.2. Preparazione del terreno

Anche nelle situazioni di meccanizzazione ad elevati *input* energetici, la coltura del ficodindia non richiede interventi impattanti non esistendo in letteratura, tuttavia, alcuna prova comparativa reperibile.

23.2.3. Impianto e potatura d'allevamento

Le distanze d'impianto variano in funzione della forma d'allevamento (siepone o globo) e dell'*habitus* della varietà. In Italia si adottano per lo più sesti in rettangolo a distanze pari a 4 x 6 m (416 piante ha⁻¹) o 5 x 7 m (290 piante ha⁻¹), oppure sesti in quadro a distanze pari a 6 x 6 m. Allevando le piante a siepone, le distanze scendono a 2,5-3 m sulla fila, mantenendo un'interfila di 5-6 m. L'altezza massima non deve superare i 3 m. La potatura di allevamento consiste nell'eliminazione dei cladodi non opportunamente orientati o disposti nelle zone più ombreggiate della pianta e nel ridurre a 2 il numero di nuovi cladodi portati da un "cladodio madre". Queste indicazioni valgono anche per la potatura ordinaria.

23.2.4. Diradamento dei frutti, scozzolatura e raccolta

Il diradamento dei frutti è necessario per ottenere pezzature uniformi ed elevate (> 120 g). Indipendentemente dal numero iniziale di fiori presenti sul cladodio, occorre lasciare non più di 6 frutti per cladodio, eliminando in ogni

caso tutti quelli disposti lungo la superficie planare. Il diradamento va eseguito manualmente, non oltre la seconda settimana successiva alla fioritura. La scozzolatura si effettua rimuovendo tutti i fiori e i nuovi cladodi emessi nel flusso primaverile, durante l'antesi, ma non oltre. La pianta germoglia nuovamente due-tre settimane dopo l'intervento e tanto più intensamente e precocemente, quanto più è precoce la scozzolatura. La scozzolatura consente la produzione di frutti extra-stagionali. (autunnali). È possibile, rimuovendo prima il flusso primaverile e, quindi, anche il flusso che ne deriva, ottenere una terza fioritura in agosto che permette, con opportuni accorgimenti (copertura delle piante in tunnel per consentire la maturazione dei frutti ed evitare i danni da freddo) di far maturare i frutti in pieno inverno (da dicembre a febbraio). La scozzolatura è effettuata di norma a mano con l'ausilio d'attrezzi rudimentali.

I frutti si raccolgono al momento del viraggio del colore di fondo dell'epicarpo. A questo stadio, il colore della polpa è già completo, il contenuto in solidi solubili è prossimo al massimo e la durezza è ancora sufficientemente elevata per consentire le lavorazioni e la conservazione post-raccolta. La raccolta si effettua nelle prime fasi del giorno per evitare un eccessivo fastidio legato ai glochidi che si distaccano dall'epicarpo e per evitare che al momento della raccolta la temperatura della polpa sia talmente elevata da limitare la vita post-raccolta del frutto, aumentandone la sensibilità ai danni da freddo. La maturazione è in genere scalare e così è, quindi, la raccolta, che avviene in 2-3 stacchi e può essere molto differenziata a livello di impianto, in funzione dell'epoca di scozzolatura. La scalarità è funzione del regime termico che, se caratterizzato da temperature elevate induce una maturazione molto compatta e precoce; se, al contrario, è inferiore al necessario (18-25°C), determina un ritardo della maturazione e induce modifiche sostanziali alla forma ed alle caratteristiche del frutto (minore resa in polpa, minore contenuto in zuccheri e minore colorazione dell'epicarpo).

23.2.5. Il prodotto: raccolta e conservazione

Le rese del ficodindieto variano in funzione del modello d'impianto e del livello d'intensificazione colturale. In Italia, si raggiungono le rese più elevate su scala mondiale, pari a 20-25 t ha⁻¹ (vedi ad esempio, Mohamed-Yasseen et al., 1996), la media è intorno alle 10-12 t ha⁻¹. Lo scarto è rilevante (10-20%) ed ha scarso valore commerciale. I frutti commerciabili devono avere un peso non inferiore a 120 g, con 13°Brix e una durezza pari a 8 kg cm⁻² al penetrometro (8 mm di puntale). Per ciò che concerne alcuni aspetti qualitativi, il frutto deve avere una resa in polpa non inferiore al 55%; gli zuccheri riduttori prevalenti sono il glucosio (6-8% del peso fresco) e il fruttosio (5-6% del peso fresco), mentre l'acidità è molto bassa (0,03-0,12%, espressa in acido malico). Il pH varia da 5,0 a 7,0 ed il valore nutritivo è pari a 15 kJ kg⁻¹ di frazione digeribile fresca. Il numero di semi dei frutti varia da 120 a 350, con una percentuale di

semi abortiti particolarmente elevata (50-60%) nelle varietà italiane (Gorini et al., 1993).

Non climaterico, il frutto del ficodindia ha un tasso di respirazione basso ed è sensibile ai danni da freddo e a danni derivanti da funghi (*Penicillium*, principalmente). I migliori risultati ai fini della conservazione si ottengono condizionando i frutti a 37-38°C per 24-48 ore o immergendoli in acqua a 50-55°C per 3-5 minuti e quindi conservandoli a 6°C fino a 6 settimane dopo la raccolta, ad un'umidità relativa pari al 95%.

I frutti di ficodindia sono sensibili alla mosca della frutta (*Ceratitis capitata*), che è l'unico problema in Italia, mentre il parassita più importante ed in grande espansione è il *Cactoblastis cactorum*, che attacca molto efficacemente i cladodi al punto da essere impiegato nel controllo biologico delle cactacee invasive (vedi, ad esempio, Hoffmann et al., 1998; Knight, 2001). Tra gli altri entomoparassiti specifici, esiste il *Dactilopius opuntiae*. Tra le crittogame che causano marciumi radicali o cancri *Armillaria*, l'*Alternaria*, la *Cercospora*, la *Phytophthora cactorum*; tra le malattie da batteri è importante l'*Erwinia carotovora* (marciumi molli sui frutti) e l'*Agrobacterium tumefaciens*, agente di tumori radicali.

23.2.6. I prodotti secondari

I cladodi sono ricchi in mucillagini, carboidrati complessi con una grande capacità di assorbire acqua, che può essere considerata una fonte potenziale di idrocolloidi industriali. Le mucillagini contengono L-arabinosio, D-galattosio, L-ramnosio, D-xylosio e acido galatturonico, in proporzioni che variano in funzione della gestione della coltura, della temperatura dell'aria e dell'umidità. In alcuni ambienti, le mucillagini vengono utilizzate in sistemi di depurazione dei reflui a livello aziendale o domestico; recentemente è stato tentato l'uso nei suoli finalizzato al miglioramento della permeabilità idraulica (Sáenz et al., 2004).

L'*Opuntia ficus-indica* è utilizzata, esclusivamente in Messico, anche per la produzione dei cladodi destinati all'alimentazione umana (nopalitos o nopal verdura), oltre che per l'allevamento di una cocciniglia specifica delle *Platiopuntie*, il *Dactylopius coccus*, dalla cui essiccazione e macerazione si estrae il carminio (grana cochinilla o dacty dye), colorante rosso naturale che per secoli ha costituito una delle principali fonti di ricchezza dell'*export* dal Nuovo al Vecchio Mondo e che ancora oggi ha un rilevante significato economico e commerciale come colorante alimentare e dell'industria tessile, prodotto in Centro e Sud America (Messico, Perù e Cile) e nell'isola di Lanzarote (Canarie).

23.3. Requisiti culturali

23.3.1. *Clima*

Le Opuntie colonizzano ambienti caratterizzati da:

- inverni miti (temperatura media annuale $> 10^{\circ}\text{C}$);
- stagione secca prolungata, che coincide con giorno breve;
- piovosità estiva.

Queste sono le condizioni degli ambienti dove la specie è indigena, mentre nel bacino del Mediterraneo la stagione secca coincide con il giorno lungo e con l'accrescimento del frutto.

Il metabolismo CAM consente alla pianta di raggiungere la massima produttività fotosintetica con temperature giornaliere di 25°C e temperature notturne di 15°C ; temperature pari a 30°C comportano riduzioni di attività fotosintetica pari anche al 70%. Temperature inferiori a 0°C , anche per 4 ore, comportano danni irreversibili ai tessuti dei cladodi e del frutto. Temperature inferiori a 18°C durante lo sviluppo del frutto ne rallentano la crescita, ritardandone la maturazione, e diminuiscono il contenuto in zuccheri riduttori della polpa.

23.3.2. *Suolo*

La specie s'incontra su tutti i tipi di suolo. Si adatta frequentemente anche a suoli che nei primi 25 cm sono limitati nello spessore da roccia dura continua, che poggiano su materiali con carbonato di calcio equivalente maggiore del 40% o, ancora, che contengono meno del 10% in peso di terra fine (Nobel, 2002). In generale, non è tollerante al sale e una concentrazione della soluzione del suolo 50 mM NaCl è da considerare il valore soglia per un allevamento commerciale della specie (Nobel, 2002).

23.3.3. *Esigenze idriche*

Nonostante le opuntiacee siano tipicamente aridoresistenti e riescano ad accumulare naturalmente nei propri tessuti oltre 1500 t ha^{-1} di acqua (Han e Felker, 1997; North e Nobel, 1997), l'*Opuntia ficus-indica* nel bacino del Mediterraneo è specie irrigua, in quanto l'accrescimento del frutto avviene durante il periodo di assenza di piogge. I volumi stagionali variano da 60-80 mm in Italia a 500 mm in Israele, utilizzando irrigazione a goccia o a microportata a spruzzo sottochioma.

23.3.4. Elementi nutritivi

In Italia, 80-100 kg ha⁻¹ d'azoto sono comunemente utilizzati. Variano molto le concimazioni fosfatiche e potassiche. Il contenuto ottimo in N nei cladodi di un anno è pari a 0,8-0,9%. Apporti pari a 50 kg N ha⁻¹, 80 kg K ha⁻¹ e 100 kg P ha⁻¹ in inverno sono consigliabili, mentre l'azoto è distribuito anche in primavera-estate in almeno due interventi (60 kg ha⁻¹), utilizzando urea. È stata verificata una correlazione significativa tra il calcio disponibile e la quantità di prodotto e tra il potassio disponibile e la sua qualità (Galizzi et al., 2004).

23.4. Attitudine delle terre alla coltivazione del ficodindia

Le caratteristiche del clima e del suolo, le condizioni idriche e le esigenze nutritive, concorrono insieme a definire l'attitudine di un dato ambiente alla coltivazione del ficodindia (tabella 23.1). Alcune di queste esigenze sono comuni alle diverse cultivar di ficodindia coltivate in Italia. Per quanto riguarda il suolo, il ficodindia è molto versatile, ma elementi vitali sono l'assenza di salinità elevata e di fenomeni di ristagno idrico. Tollera bene capacità d'aria elevate (una macroporosità tessiturale o strutturale elevata) e un contenuto in sostanza organica modesto o esiguo, mentre tra i requisiti edifici, una buona disponibilità di calcio e potassio è considerata condizione utile per un buon raccolto. La coltivazione del ficodindia può comportare un rischio di colonizzazione invasiva da medio a elevato, mentre è trascurabile il rischio di inquinamento delle falde e di degradazione del suolo per costipamento.

Tabella 23.1. Requisiti per la coltivazione del ficodindia e per la conservazione del pedo-ambiente.

REQUISITI	CONDIZIONI
<i>Climatici</i>	
Temperatura media annuale dell'aria	18-28°C
Umidità dell'aria	da molto bassa a elevata
<i>Colturali</i>	
Tessitura	da sabbiosa a franca
Struttura e porosità	non limitante, tranne suoli compatti e astrutturati
Disponibilità idrica	da scarsa a media
Salinità del suolo	bassa
Reazione del suolo	da subacida a subcalcina

23.5. Caratteri funzionali dei suoli e tabelle di valutazione

Non sono reperibili in letteratura lavori specifici di valutazione delle terre per l'attitudine alla coltivazione del ficodindia. Tuttavia, sulla base dei requisiti colturali sintetizzati in tabella 23.1, possono essere ragionevolmente proposte classi d'attitudine alla coltivazione della specie. Sostanzialmente, a parte limiti termici e tessiturali, la specie ben si adatta alle condizioni pedo-ambientali degli ambienti caldo-aridi, ferma restando la scarsa tolleranza alla salinità.

L'attribuzione delle classi d'attitudine dei suoli (tabella 23.2) alla coltivazione del ficodindia, tenta pertanto di indicare con la classe S1 (suoli molto adatti) i suoli che non presentano limitazioni, e sui quali sono ipotizzabili le maggiori rese; con la classe S2 (suoli adatti), i suoli con rese soddisfacenti ma inferiori alle ottimali; con la classe S3 (suoli marginalmente adatti) i suoli dove sono ipotizzabili rese prossime alla soglia di convenienza. Alla classe N appartengono suoli che sarebbe opportuno escludere dalla coltivazione del ficodindia.

Tabella 23.2. Caratteri funzionali e classi d'attitudine dei suoli alla coltivazione del ficodindia in Italia.

CARATTERI FUNZIONALI		CLASSI			
		S1 molto adatti	S2 adatti	S3 poco adatti	N non adatti
T min	°C	> 5	> 5	> -5; < 5	< -5
T media	°C	18-23	15-18	10-15	< 10
Pioggia annuale	mm	> 400	> 400	300-400	< 300
Tessitura		da sabbiosi a franchi	da sabbiosi a franchi	argilloso limosi	limosi e argillosi
Scheletro		indifferente	indifferente	indifferente	abbondante **
Profondità		indifferente	indifferente	indifferente	indifferente
Carbonati		indifferente	indifferente	indifferente	indifferente
Reazione	pH _{KCl}	5-8	5-8	5-8	< 5; > 8
Sostanza organica	%	< 0,5	< 0,5	> 0,5	> 0,5
Ca disponibile		elevato	elevato	medio	scarso
K disponibile		elevato	elevato	medio	scarso
EC _e *	dS m ⁻¹	< 2	2-4	4-7	> 7
Falda idrica subsuperficiale		assente	assente	assente	presente

* EC_e: conducibilità elettrica dell'estratto saturo del suolo.

** Limitatamente alle difficoltà di meccanizzazione.

Bibliografia

- BARBERA, G., INGLESE, P., 1993. *La coltura del ficodindia*. Calderini Edagricole, Bologna, IT, 188.
- BARBERA, G., INGLESE, P., PIMIENTA BARRIOS, E., 1995. *Agroecology, cultivation and uses of cactus pear*. FAO Plant Production and Protection Paper 132, Roma, IT, 216.
- DE LA BARRERA, E., NOBEL, P.S., 2004. *Nectar: properties, floral aspects, and speculations on origin*. Trends in Plant Science 9, 1360-1385.
- GALIZZI, F.A., FELKER, P., GONZALEZ, C., GARDINER, D., 2004. *Correlations between soil and cladode nutrient concentrations and fruit yield and quality in cactus pears, Opuntia ficus-indica in a traditional farm setting in Argentina*. Journal of Arid Environments 59, 115-132.
- GORINI, F., TESTONI, A., CAZZOLA, R., LOVATI, F., BIANCO, M.G., CHESSA, I., SCHIRRA, M., BUDRONI, M., BARBERA, G., 1993. *Aspetti tecnologici: conservazione e qualità di fico d'india e avocado*. Informatore Agrario XLIX 1, 89-92.
- HAN, H., FELKER, P., 1997. *Field validation of water-use efficiency of the CAM plant Opuntia ellisiana in south Texas*. Journal of Arid Environments 36, 133-148.
- HOFFMANN, J.H., MORAN, V.C., ZELLER, D.A., 1998. *Evaluation of Cactoblastis cactorum (Lepidoptera: Phycitidae) as a biological control agent of Opuntia stricta (Cactaceae) in the Kruger National Park, South Africa*. Biological Control 12, 20-24.
- KNIGHT, J., 2001. *Alien versus predator*. Nature 412, 115-116.
- MOHAMED-YASSEEN, Y., BARRINGER, S.A., SPLITTSTOESSER, W.E., 1996. *A note on the uses of Opuntia spp. in Central/North America*. Journal of Arid Environments 32, 347-353.
- NOBEL, P.S., 1988. *Environmental biology of Agaves and Cacti*. Cambridge University Press, New York, NY, 270.
- NOBEL, P.S., 2002. *Cacti biology and uses*. California University Press, Los Angeles, CA, 280.
- NORTH, G.B., NOBEL, P.S., 1997. *Drought-induced changes in soil contact and hydraulic conductivity for roots of Opuntia ficus-indica with and without rhizosheaths*. Plant and Soil 191, 249-258.
- PIMIENTA BARRIOS, E., 1990. *El Nopal Tunero*. Grafica Nueva, Pipila 638, Guadalajara, Jalisco, Mexico, 246.
- SÁENZ, C., SEPULVEDA, E., MATSUHIRO, B., 2004. *Opuntia spp mucilage's: a functional component with industrial perspectives*. Journal of Arid Environments 57, 275-290.
- TURKON, P., 2004. *Food and status in the prehispanic Malpaso Valley, Zacatecas, Mexico*. Journal of Anthropological Archaeology 23, 225-251.
- WESSELS, A.B., 1988. *Spineless prickly pear*. First Perskor Publishers, Johannesburg, South Africa, 61.

Ministero delle Politiche Agricole, Alimentari e Forestali
Osservatorio Nazionale Pedologico e per la Qualità del Suolo Agricolo e Forestale

In collaborazione con:
International Union of Soil Sciences
Società Italiana della Scienza del Suolo
Commissione VI - Uso e Conservazione del Suolo

VENUTI, L., 2006. *Lenticchia*. In: Costantini, E.A.C. (Ed.), Metodi di valutazione dei suoli e delle terre, Cantagalli, Siena, pp. 922.

Collana dei metodi analitici per l'agricoltura diretta da Paolo Sequi, vol. 7

CRA - Consiglio per la Ricerca e la Sperimentazione in Agricoltura
Istituto Sperimentale per lo Studio e la Difesa del Suolo, Firenze

24. Lenticchia

*Letizia Venuti*¹

24.1. Caratteristiche della coltura	2
24.2. Tecnica colturale	3
24.2.1. Avvicendamento	3
24.2.2. Operazioni colturali	3
24.3. Requisiti colturali	6
24.3.1. Clima	6
24.3.2. Suolo	6
24.4. Attitudine delle terre alla coltivazione della lenticchia	7
24.5. Caratteri funzionali dei suoli e tabelle di valutazione	8
Bibliografia	9

24.1. Caratteristiche della coltura

La lenticchia (*Lens culinaris*, *Medicus*), il legume forse di più antica coltivazione, è originaria del Medio Oriente e si è diffusa successivamente in Egitto, nell'Europa centro-meridionale, nel bacino del Mediterraneo, in Etiopia, Afganistan, India e Pakistan, tanto da essere oggi coltivata in molti paesi del mondo; nel Mediterraneo, in particolare, viene coltivata in tutti i Paesi che si affacciano su di esso ed in Italia è concentrata soprattutto nel Centro-Sud e nelle Isole, dove ha subito negli ultimi decenni un consistente calo delle superfici investite, al punto di farla oggi rientrare nelle colture tipiche di aree marginali.

La lenticchia è una pianta annua coltivata anche ad altitudini elevate (dal livello del mare fino ad oltre 3000 m s.l.m.) ed in ambienti molto diversi fra loro, dalla steppa temperato-fredda, alle regioni subtropicali umide e secche, alla zona della foresta umida; non è invece adatta al clima tropicale umido. In Italia il suo ciclo biologico oscilla solitamente da 3-4 mesi fino a 5-6, a seconda se la semina avviene in autunno o in primavera.

¹ CNR-IRPI - Istituto Ricerca Protezione Idrogeologica, Unità di Firenze - Pedologia Applicata

24.2. Tecnica colturale

24.2.1. Avvicendamento

La lenticchia è considerata una coltura da rinnovo e miglioratrice, poiché, come tutte le leguminose, contribuisce alla fissazione dell'azoto nel terreno. Essa precede normalmente una coltura depauperante, come ad esempio il frumento o l'orzo o, alle alte quote, la segale. I residui colturali prodotti sono, una volta interrati, un buon rifornimento di sostanza organica dal momento che la loro composizione è caratterizzata da un rapporto C/N favorevole all'umificazione.

Si sconsiglia di ripetere la coltivazione della lenticchia per anni consecutivi, lasciando un intervallo di almeno 3-4 anni, a causa del rischio d'incremento di attacchi parassitari.

A volte la lenticchia, su piccole superfici, viene coltivata come ortiva.

24.2.2. Operazioni colturali

Preparazione del terreno

La preparazione del terreno è quella tipica delle colture da rinnovo: una lavorazione profonda prima delle piogge autunnali, completata da una lavorazione più superficiale, tipo fresatura, prima della semina per sminuzzare le zolle. Un letto di semina compatto e livellato, con i residui delle precedenti colture ben incorporati, è ideale per la lenticchia. Una superficie irregolare e zollosa, con abbondanza di pietrosità e di residui colturali, rende, infatti, più difficile l'incorporazione del seme ed ostacola le operazioni successive di sfalcio e trebbiatura.

Semina

La semina può essere autunnale nelle aree ad inverno mite, o, altrimenti, primaverile, con semina precoce (in Italia, gennaio-febbraio) al fine di evitare la siccità estiva. La semina viene fatta ad una profondità variabile intorno ai 4 cm, a seconda della profondità dello strato superficiale più arido, ma comunque non eccessiva, per evitare difficoltà di emergenza della plantula. La quantità di seme impiegato oscilla fra 50 e 100 kg ha⁻¹, secondo la dimensione del seme, con interfila di 20-30 cm. Per la semina si consiglia l'impiego di una seminatrice di precisione, che consente di rispettare una determinata e costante profondità di semina, e facilita il contatto fra suolo e seme e l'insediamento di una pianta come la lenticchia, poco competitiva nei confronti delle infestanti. Poiché la dimensione del seme è molto variabile, bisogna prestare attenzione alla calibratura della macchina.

A meno che la semente non sia già inoculata, essa necessita di essere introdotta con *Rhizobium leguminosarum* 24 ore, o meno, prima della semina. Esistono diversi tipi d'inoculazioni, fra cui anche la tecnica di disporre l'inoculo nel solco assieme al seme. Non sono invece consigliati altri trattamenti della semente, con insetticidi o fungicidi, che possono interferire con il processo di nodulazione.

Concimazione

Per quanto riguarda l'azoto, l'inoculazione con lo specifico *Rhizobium* dovrebbe essere sufficiente a coprire il fabbisogno della pianta; ciononostante, nel caso di presenza di un basso livello di sostanza organica (< 2%), può essere vantaggiosa la somministrazione di circa 30-45 kg ha⁻¹ d'azoto per sostenere la crescita della plantula fino allo sviluppo dei noduli radicali. Si raccomanda l'applicazione del prodotto in prossimità del seme senza tuttavia il diretto contatto con esso. Una somministrazione eccessiva d'azoto, però, inibisce lo sviluppo dei noduli radicali e causa un eccesso di sviluppo vegetativo a spese della produzione di semi.

La lenticchia, come gli altri legumi, ha un fabbisogno medio-alto di zolfo; l'applicazione di fosforo e di potassio sono raccomandati quando il terreno ne è mediamente o scarsamente dotato. Livelli di fosforo nel terreno di 30-70 kg ha⁻¹ e di potassio di 100-135 kg ha⁻¹ sono considerati ottimali per la lenticchia nella maggior parte dei suoli. L'applicazione di fosforo su fila risulta essere particolarmente vantaggioso nel caso di bassi quantitativi di questo elemento nel terreno o di pH elevato (> 7,6).

L'applicazione di un fertilizzante ternario NPK di tipo 2-3-1 al momento della semina può ritenersi sufficiente, eventualmente integrato dalla somministrazione di solfato d'ammonio al momento della fioritura.

Lotta alle infestanti

La lenticchia è poco competitiva nei confronti delle infestanti, specialmente al momento dell'emergenza; per questo si consiglia innanzitutto una lotta di tipo meccanico, eseguendo più sarchiature durante il ciclo vegetativo e qualche rincalzatura. In caso di seri problemi d'infestazione risultano utili, dopo l'emergenza, erpicature o sarchiature con lo zappatore rotativo, da effettuarsi con cautela poiché si rischia di danneggiare le piante ancora esili. Poiché una certa percentuale di plantule viene comunque inevitabilmente eliminata assieme alle infestanti, si consiglia di tenerne conto al momento della semina nel calcolo della quantità di semente da impiegare. Il passaggio con la zappa rotativa deve essere fatto normalmente da una settimana a 10 giorni dopo la semina.

Il diserbo chimico consiste nell'applicazione di glifosate come trattamento pre-semina in autunno, oppure come trattamento primaverile di post-emergenza contro la gramigna, quando questa raggiunge 15-20 cm ed è in

crescita attiva. Per il controllo delle infestanti annuali, viene effettuata una applicazione di sethoxydim come trattamento di post-emergenza, quando le infestanti raggiungono 10-15 cm di altezza.

Irrigazione

Un'eccessiva quantità d'acqua nel suolo riduce il livello produttivo, come pure lo stress idrico, soprattutto durante il periodo riproduttivo e di riempimento del seme; l'uso oculato dei sistemi irrigui assicura l'ottenimento di un soddisfacente livello produttivo, riducendo il rischio di stress idrico durante i periodi critici. La lenticchia è, infatti, una pianta con una moderata resistenza alla siccità, per la sua capacità di modificare la pressione osmotica al suo interno; ciononostante, in aree caratterizzate da siccità, durante tali periodi critici si consiglia l'adozione d'interventi irrigui per garantire una certa produttività della pianta. In tali zone, infatti, è stato riscontrato un considerevole aumento produttivo, da 450-675 kg ha⁻¹ (senza irrigazione) a 2000 kg ha⁻¹ in coltura irrigua (Muehlbauer e Tullu, 1997).

Raccolta e conservazione

Il momento ideale per la raccolta, che deve essere tempestiva per evitare la deiscenza del seme, coincide con quello in cui la pianta comincia a virare verso il giallo ed i baccelli più bassi verso il bruno-giallastro. Lo sfalcio deve essere fatto preferibilmente quando l'umidità dell'aria è sufficiente da rendere il baccello resistente, ed evitato durante le ore più calde e secche della giornata. Viene solitamente utilizzata una falciatrice a lama oscillante, regolata verso il basso, poiché la lenticchia ha uno stelo poco resistente, combinata ad un'andanatrice. L'andanatura deve essere eseguita su superficie il più possibile livellata, priva d'asperità e di pietre, per evitare perdite di prodotto. Le piante disposte in andane possono impiegare una settimana o più per essiccarsi, secondo le condizioni meteorologiche; all'interno dell'andana, la circolazione d'aria è scarsa: in condizioni di umidità eccessiva e prolungata si può verificare una decolorazione dei semi e lo sviluppo di muffe. Nonostante il seme venga considerato essiccato con un contenuto di umidità pari a circa il 14%, se si effettua la trebbiatura a questo stadio si causano elevate perdite e danneggiamento dei semi. È consigliabile quindi effettuare la trebbiatura precocemente (contenuto di umidità pari a circa 18-20%) e di procedere successivamente all'essiccazione artificiale. Se l'appezzamento ha una superficie sufficientemente livellata, si può utilizzare direttamente una mietitrebbiatrice, con velocità del battitore inferiore a quella del grano per evitare frantumazione dei semi, possibilmente combinata ad una barra falciante oscillante.

La produzione ottenibile varia secondo la varietà impiegata, della gestione e delle condizioni ambientali; in Italia, la produzione media nazionale si aggira attorno a 1 t ha⁻¹, ma si possono ottenere produzioni anche fino a 2 t ha⁻¹.

24.3. Requisiti culturali

24.3.1. *Clima*

La lenticchia è adatta a temperature basse di crescita e le piante giovani tollerano piuttosto bene i ritorni di freddo primaverili, rendendo possibile la semina all'inizio della primavera. La lenticchia è più tollerante del cece alle basse temperature, ma viene gravemente danneggiata da gelate lunghe ed intense; è moderatamente resistente al secco ed alle alte temperature, pur presentando in questa caratteristica notevoli differenze varietali, dovute al diverso comportamento nella traspirazione. È coltivata come coltura invernale negli ambienti semi-aridi tropicali e come coltura primaverile negli ambienti più freddi. La lenticchia è ampiamente diffusa negli ambienti semi-aridi del mondo, dove le produzioni non sono elevate ma di buona qualità.

Umidità e piovosità elevate durante la crescita della pianta stimolano eccessivamente lo sviluppo vegetativo a discapito della qualità; una piovosità attorno a 250-300 mm per anno è un buon compromesso fra produttività soddisfacente e qualità elevata. Stress idrico ed elevate temperature durante la fase di fioritura e di riempimento del seme riducono la produttività. La lenticchia tollera generalmente meglio la siccità che il ristagno idrico. La temperatura ottimale media durante la crescita si aggira attorno ai 24°C; la germinazione può avvenire appena al di sopra di 0°C, ma è ottimale nell'intervallo di 18-21°C, mentre temperature >27°C, sempre a questo stadio, sono dannose. In tabella 24.1 sono riportati schematicamente i requisiti climatici della lenticchia.

Tabella 24.1. Requisiti climatici della lenticchia.

Requisiti	Ottimale	Sub-ottimale	Marginale	Non adatto
Temperatura media durante il ciclo vegetativo (°C)	24	15-23 , 25-29	5-15 , 29-32	< 5 , > 32
Precipitazione media annua (mm)	700-800	600-700 , 800-1000	250-600 , 1000-2500	< 250 , > 2500

24.3.2. *Suolo*

La lenticchia si adatta ad una grande varietà di suoli, dal sabbioso all'argilloso, a patto che il drenaggio interno sia buono, poiché la sommersione o solo il ristagno idrico possono determinare la morte della pianta. Il suolo ideale è,

comunque, profondo, a tessitura franco sabbiosa, con elevato contenuto in fosforo e potassio e con un pH intorno alla neutralità.

La lenticchia tollera moderatamente bene l'alcalinità e l'acidità del suolo (intervallo ammesso di pH: 4,5-8,2; intervallo ottimale: 5,5-7,5). La tolleranza alla salinità è maggiore durante la fase di germinazione ed è compresa fra 8,4 e 13,1 dS m⁻¹. In presenza di valori maggiori, la produttività decresce rapidamente.

Per ottenere un prodotto di qualità sono preferibili suoli a fertilità moderata e con contenuto in calcare non eccessivo, che può determinare l'insorgere di difficoltà di cottura del seme.

24.4. Attitudine delle terre alla coltivazione della lenticchia

La lenticchia è una pianta rustica, che riesce a tollerare condizioni ambientali di crescita difficili, dal freddo alla siccità. Infatti, grazie alla brevità del suo ciclo, essa riesce ad evitare i periodi più freddi dell'anno e viene raccolta prima dell'esaurimento delle riserve idriche. In tabella 24.2 sono riportati i requisiti colturali della lenticchia.

In Italia la lenticchia è coltivata nelle aree svantaggiate a clima temperato, da temperato freddo (aree di montagna) a semi-arido (Isole e Sud Italia), grazie al fatto che nelle aree più fredde può essere coltivata a ciclo primaverile-estivo ed in quelle più aride a ciclo autunno-primaverile. La coltivazione della lenticchia è tipica di aree di altopiano dove la combinazione suolo-clima consente il raggiungimento di livelli qualitativi elevati. Un esempio è la lenticchia di Castelluccio di Norcia o di Leonessa, nell'Italia centrale.

Politiche di sviluppo rurale mirano a valorizzare questa coltura che, come altre, è legata alla tipicità di zone marginali.

Tabella 24.2. Requisiti per la coltivazione della lenticchia.

REQUISITI	CONDIZIONI
<i>Climatici</i>	
Temperatura dell'aria	medio-bassa
Umidità dell'aria	bassa
<i>Colturali</i>	
Tessitura	media
Disponibilità di ossigeno	alta
Disponibilità idrica	medio-bassa
Profondità del suolo (falda idrica, orizzonti impenetrabili dalle radici)	media
Disponibilità di nutrienti	media
Salinità del suolo	medio-bassa
Reazione del suolo	da subacido a subalcalino
<i>Gestionali</i>	
Trafficabilità	media
Lavorabilità e meccanizzazione	medio-alta
<i>Fattori di rischio</i>	
Rischio d'erosione	basso
Rischio d'inquinamento delle falde	basso
Rischio di degradazione per costipamento	basso

24.5. Caratteri funzionali dei suoli e tabelle di valutazione

Purtroppo, esistono pochi dati sperimentali sulle relazioni fra produzioni quantitative e qualitative della lenticchia e le proprietà del suolo; infatti, maggior attenzione è dedicata, a livello di ricerca scientifica internazionale, al miglioramento genetico della pianta. In Italia è stata realizzata una carta d'attitudine alla lenticchia nell'altipiano di Leonessa (Raglione et al., 2002). Nelle tabella 24.3 è riportata la tavola di valutazione compilata in base alla letteratura (Baldoni e Giardini, 1981; Sys et al., 1993).

Tabella 24.3. Attitudine dei suoli alla coltura della lenticchia.

Caratteristiche	Ottimale	Sub-ottimale	Marginale	Non adatta
Profondità cm	>60	40-60	30-40	<30
Tessitura	FA, FL, FAL, F, FAS	A, AL, FS, L	AL, SF, S	A _{massivo}
Salinità dS m ⁻¹	<2	2-4	4-10	>10
Gesso %	<0,5	0,5-3	3-15	>15
pH	6-8,2	5,6-6; 8,2-8,3	5,2-5,6; 8,3-8,5	<5,2; >8,5
Somma cationi basici (Ca, Mg, K, Na), cmol+ kg ⁻¹ suolo	>5	3,5-5	2-3,5	<2
Saturazione basi %	>50	35-50	<35	
Carbonio organico %	>1,2	0,8-1,2	<0,8	
Scheletro %	<15	15-35	35-70	>70
ESP %	<8	8-12	12-15	>15
Drenaggio (1)	moderatamente ben drenato, ben drenato; piuttosto mal drenato	moderatamente ben drenato, ben drenato; piuttosto mal drenato	piuttosto eccessivamente drenato, eccessivamente drenato	mal drenato, molto mal drenato
Rischio inondazioni (1)	assente	assente	rara	occasionale o più frequente
CaCO ₃ %	<10	10-50	>50	
AWC mm	>112	57-112	<57	
CSC cmol+ kg ⁻¹ suolo	>20	10-20	5-10	<5

(1) Da: Sys et al. (1993), modificato in accordo alle classi riportate in appendice al presente manuale.

Bibliografia

- BALDONI, R., GIARDINI, L., (Ed.), 1981. *Coltivazioni erbacee*. Patron editore, Bologna, 347-351.
- MUEHLBAUER, F.J., TULLU, A., 1997. *Lens Culinaris*. <http://www.hort.purdue.edu/newcrop/>
- RAGLIONE, M., LORENZONI, P., ANGELINI, R., BONIFAZI, A., FEBELLI, C., SPADONI, M., VENUTI, L., VERZILLI, C., 2002. *Carta dei suoli dell'altopiano di Leonessa (Rieti) e delle loro idoneità per alcune colture tipiche*. Edizioni Arti Grafiche Nobili Sud, Rieti, 279.
- SYS, C., VAN RANST, E., DEBAVEYE, I.R.J., BEERNAERT, F., 1993. *Land evaluation, part III. Crop requirements*. Agriculture publications n.7, General Administration for Development Cooperation, Brussels, Belgium, 166.

Ministero delle Politiche Agricole, Alimentari e Forestali
Osservatorio Nazionale Pedologico e per la Qualità del Suolo Agricolo e Forestale

In collaborazione con:
International Union of Soil Sciences
Società Italiana della Scienza del Suolo
Commissione VI - Uso e Conservazione del Suolo

PELLEGRINI, S., 2006. *Frassino maggiore*. In: Costantini, E.A.C. (Ed.), *Metodi di valutazione dei suoli e delle terre*, Cantagalli, Siena, pp. 922.

Collana dei metodi analitici per l'agricoltura diretta da Paolo Sequi, vol. 7

CRA - Consiglio per la Ricerca e la Sperimentazione in Agricoltura
Istituto Sperimentale per lo Studio e la Difesa del Suolo, Firenze

25. Frassino maggiore

Sergio Pellegrini¹

25.1. Inquadramento sistematico e principali caratteristiche botaniche.....	2
25.2. Varietà.....	4
25.3. Propagazione.....	5
25.4. Esigenze pedoclimatiche.....	5
25.5. Tecniche colturali	5
25.5.1. Impianto.....	5
25.5.2. Manutenzione e coltivazione.....	6
25.6. Patologie	6
25.7. Attitudine delle terre alla coltivazione del frassino	7
25.8. Caratteri funzionali dei suoli.....	8
Bibliografia	10

25.1. Inquadramento sistematico e principali caratteristiche botaniche²

Il genere *Fraxinus* comprende circa 70 specie arboree e arbustive, presenti prevalentemente nelle regioni temperate dell'emisfero boreale. Il nome proviene dal termine greco *phraxis*, che significa chiusura, separazione, probabile riferimento all'utilizzo di queste essenze vegetali come piante da siepe per la delimitazione delle proprietà (Gellini, 1985). I frassini sono alberi a foglie caduche, con foglie composte, opposte e ornate da stipole. I fiori sono riuniti in

Ordine: *OLEALES*
Famiglia: *OLEACEAE*
Genere: *FRAXINUS*
Specie:
Fraxinus excelsior L. (Frassino maggiore o comune).

¹ CRA - Istituto Sperimentale per lo Studio e la Difesa del Suolo, Firenze

² L'autore esprime un particolare ringraziamento alla Dr.ssa Serena Ravagni (CRA – Istituto Sperimentale per la Selvicoltura, Sezione di Arezzo) e al Dr. Francesco Pelleri (CRA. – Istituto Sperimentale per la Selvicoltura, Sezione di Firenze) per i preziosi suggerimenti e la revisione critica del testo.

racemi ascellari, con corolla non sempre presente. I frutti indeiscenti sono samare con un solo piccolo seme, pendenti in fitti mazzi. Tra le specie di frassini presenti in Europa, quelle spontanee in Italia sono il frassino maggiore (*Fraxinus excelsior* L.), l'orniello (*Fraxinus ornus* L.) e il frassino meridionale (*Fraxinus angustifolia* Vahl. e la sottospecie *oxycarpa*). Se per quanto riguarda il *F. ornus* l'identificazione non è troppo difficoltosa, le altre specie sono molto simili. Il *F. ornus* ha una fioritura successiva alla comparsa delle foglie, mentre nelle altre due specie compaiono prima i fiori delle foglie. Il carattere migliore per distinguere il *F. excelsior* dal *F. angustifolia* è il colore delle gemme, nere o nero-brune nel primo e verdi-brune nel secondo (Poli F.).

Il nome specifico in latino significa letteralmente "il più alto", con riferimento al maggior sviluppo in altezza di questa specie rispetto all'orniello. Il frassino maggiore è un albero alto fino a 30-35 m, con portamento eretto, slanciato ed elegante, di rapido accrescimento (fino a 50-60 cm l'anno nelle piante adulte) e abbastanza longevo; raramente raggiunge i due secoli di vita, ma sono stati trovati esemplari che in condizioni ambientali particolarmente favorevoli hanno raggiunto i 300 anni di vita. La chioma è irregolare e rada, soprattutto nella parte centrale. Il tronco è di solito diritto, slanciato, con ampia sezione alla base. Nelle piante isolate l'inserzione delle prime branche si trova in posizione piuttosto bassa, mentre negli esemplari in associazione e nei boschi il tronco si presenta privo di ramificazioni per un tratto più lungo. Le branche principali sono inserite sul fusto con angolo non troppo acuto; i rami giovani sono sottili, opposti e rivolti verso l'alto, lisci, lucidi, di colore grigio-verdastro che tende al nero con l'età. Le gemme sono grosse, piramidali, opposte, nere, vellutate e protette da due brattee molto sviluppate. La corteccia è liscia, grigio chiara; negli esemplari adulti tende a diventare grigio bruna e nerastra finemente fessurata da solchi poco profondi e tortuosi. Le foglie imparipennato-composte sono formate da 9-11 foglioline sessili ellittico-lanceolate di 1,5-4 x 4-10 cm, minutamente seghettate e acuminate all'apice. La pagina superiore è glabra, di colore verde scuro, opaca, mentre la pagina inferiore è più chiara e pubescente. L'emissione delle foglie è piuttosto tardiva e ritarda in genere di 2-3 settimane negli esemplari isolati rispetto a quelli in consociazione. I fiori sono delle brevi pannocchie (racemi) spesso unisessuali, privi di calice e corolla e con antere purpuree; l'impollinazione è anemofila. La fioritura avviene prima dell'emissione delle foglie (prima metà di marzo) e va quindi soggetta ai danni provocati dai ritorni di freddo.

Il frutto è una samara lanceolata lineare (7-8 x 30-35 mm). È di colore verde chiaro all'inizio dell'estate, poi passa gradatamente al bruno, al marrone scuro, fino al nerastro dopo la caduta delle foglie (fine autunno). Le samare rimangono sulla pianta durante l'inverno fino alla primavera successiva, quando avviene la disseminazione spontanea. I frutti inoltre sono un'appetita fonte di cibo per gli uccelli, fringuelli in particolare.

L'apparato radicale è robusto, con grosse radici a sviluppo orizzontale che vanno a costituire una fitta trama che stabilizza fortemente il terreno; di contro,

possono danneggiare i manufatti presenti nelle vicinanze (muri, manti stradali). Il fittone presente negli esemplari ottenuti da seme penetra in profondità, di conseguenza l'apparato radicale del frassino maggiore è capace di esplorare un considerevole volume di suolo (Pignatti, 1982).

Il frassino maggiore trova impiego ottimale negli interventi di sistemazione delle zone ripariali e nel consolidamento di terreni franosi collinari, dove è particolarmente indicato per il rimboschimento di versanti esposti a nord; è inoltre valido per la realizzazione di fasce frangivento e alberature rurali. Nelle aree non intensamente urbanizzate delle regioni alpina, padana e appenninica si presta bene all'arredo di parchi urbani e di strade ampie non intensamente trafficate avendo cura, in quest'ultimo caso, di posizionare le piante in zone a prato. Se ne sconsiglia l'uso nei parcheggi e in tutte quelle situazioni in cui può arrecare danno ai manufatti o alle piante limitrofe. Il frassino è sfruttato per il legno molto pregiato, compatto, resistente, elastico e indeformabile, di colore bruno chiaro e con riflessi lucidi, facilmente lavorabile. Per le doti di robustezza ed elasticità era usato nei tempi antichi per farne l'asta delle lance, frecce e archi. Oggi è utilizzato per fare remi e alberi di imbarcazioni, manici di utensili, mazze da golf, da hockey, stecche da biliardo e racchette da tennis. Trova inoltre impiego nella costruzione di pavimenti, mobili e compensati. Non si presta, invece, per la costruzione degli infissi, essendo poco resistente agli agenti atmosferici.

Un tempo veniva piantato anche nei pressi delle case coloniche per il fogliame, vantaggiosamente impiegato nell'alimentazione del bestiame. Il frassino è stato inoltre utilizzato, fin dall'antichità, per le proprietà medicamentose e ancora oggi in erboristeria si usano la corteccia dei rami e delle radici, le foglie e i frutti.

25.2. Varietà

Il mercato vivaistico fornisce comunemente sia la specie pura che sottospecie e ibridi simili, ma con differente sviluppo e portamento. Ciò può causare la realizzazione di impianti disformi e poco omogenei. Fra le varietà utilizzate per l'arredo urbano si ricordano il F.e. "Aurea", con foglie gialle in primavera e dorate in autunno; il F.e. "Aurea pendula", albero piccolo e di debole costituzione con germogli gialli penduli; il F.e. "Diversifolia", vigoroso, a foglie semplici o tripartite; il F.e. "Pendula", con chioma pendula e rami ricadenti, l'apice vegetativo deve essere reciso per accentuare il portamento piangente, sopporta le basse temperature e l'umidità stagnante; il F.e. "Globosa", che ha forma di piccolo cespuglio arrotondato; il F.e. "Westhof's Glorie", con emissione tardiva delle foglie, chioma stretta ed eretta nei primi anni che successivamente si apre.

25.3. Propagazione

La modalità di propagazione più utilizzata è quella per seme; la raccolta dei semi avviene alla fine di ottobre, a cui segue la stratificazione in sabbia per un anno.

25.4. Esigenze pedoclimatiche

Il frassino maggiore ha un'ampia distribuzione nel continente europeo; il suo areale si estende dalla Scozia e dalle regioni meridionali della penisola Scandinava a nord, fino alla Sicilia e alla Grecia a sud, mentre ad est giunge fino al Mar Caspio (Polunin e Walters, 1987). È un albero spontaneo e frequente nell'Italia settentrionale e centrale, più raro al sud, occupando principalmente le zone fitoclimatiche del *Castanetum* e, al Nord, del *Fagetum*. Forma di rado boschi puri, ma vive di solito insieme ad altre latifoglie (farnia, carpino bianco, aceri di montagna, faggio, abete bianco e picea) nei boschi misti delle Alpi (fino a 1.700 m) e dell'Appennino centro-settentrionale. Viene inoltre coltivato come pianta ornamentale nei parchi e nel verde urbano, lontano da case e da strade. È piuttosto resistente al freddo, al vento, alla neve e alle nebbie, anche se è sensibile alle gelate tardive una volta uscito dalla dormienza. Le gelate rappresentano una delle principali cause che provocano la biforcazione del fusto; al contrario, il frassino maggiore tollera male bassi valori di umidità atmosferica, in presenza dei quali la resistenza agli inquinanti (ad esempio, ozono) viene sensibilmente ridotta. Il frassino maggiore è una specie lucivaga, preferisce quindi zone ben esposte al sole; soltanto i giovani esemplari possono tollerare luoghi moderatamente ombreggiati. A causa del consumo idrico elevato, il principale fattore limitante la crescita è rappresentato dalla disponibilità idrica del suolo, diretta conseguenza della difficoltà di controllo della traspirazione che caratterizza questa specie (Del Favero, 1998).

25.5. Tecniche colturali

25.5.1. Impianto

Per la messa a dimora vengono di norma utilizzate piante di 1-2 anni, trapiantate preferibilmente in autunno prima delle gelate invernali. Il metodo tradizionalmente utilizzato negli interventi di riforestazione o nei nuovi impianti di arboricoltura da legno prevede la messa a dimora della singola pianta tramite scavo di una buca. È necessario in ogni caso ricordare che prove sperimentali condotte in terreni ex-agricoli della provincia di Bologna hanno evidenziato come l'aratura della superficie a 40 cm abbia prodotto risultati

significativamente migliori in termini di sopravvivenza e altezza di piante di frassino maggiore rispettivamente dopo due e quattro anni dall'impianto (Minotta, 1988). In generale, esperienze maturate in differenti ambienti pedoclimatici italiani hanno evidenziato come sia sempre necessaria una buona preparazione del suolo prima della messa a dimora delle piante, da attuarsi tramite aratura ad almeno 70-80 cm di profondità; tale modalità di preparazione del terreno produce risultati significativamente migliori in termini di sopravvivenza e altezza delle piante. Le lavorazioni superficiali, al contrario, limitano fortemente lo sviluppo delle piante (Ravagni S., comunicazione personale).

Nei rimboschimenti, per ovviare alle frequenti biforcazioni del fusto, si consiglia la realizzazione di piccoli impianti a densità elevata (2.000-2.500 piante per ettaro) in modo da agevolare la scelta di soggetti ben conformati da favorire con i diradamenti; per migliorare la forma dei fusti si consiglia la consociazione con il faggio (Bernetti, 1995).

25.5.2. Manutenzione e coltivazione

L'attecchimento è condizionato dall'età e dalle dimensioni dell'esemplare; piante di 7-10 anni e di oltre 4 m di altezza, quali quelle che possono trovare impiego negli interventi di sistemazione del verde urbano, necessitano di irrigazioni per i primi 2-3 anni successivi all'impianto, di concimazioni e leggere lavorazioni del terreno per assicurare uno sviluppo ottimale degli esemplari.

Negli impianti di arboricoltura da legno è molto importante curare, almeno nei primi anni, la potatura e la lotta contro le infestanti. Generalmente la potatura verde si esegue in primavera (maggio-giugno), liberando la freccia apicale dalla concorrenza dei rami laterali immediatamente sottostanti (scoronatura). Essendo il frassino maggiore una specie eminentemente eliofila, dopo una prima fase di qualificazione finalizzata alla formazione di un fusto dritto e privo di rami per almeno 4-6 m di altezza, si dovrebbero eseguire diradamenti atti a favorire lo sviluppo di un limitato numero di soggetti selezionati, caratterizzati da una buona conformazione del fusto, assenza di biforcazioni strette, chioma ampia e ben sviluppata (Pelleri, 2000).

25.6. Patologie

Il Frassino è pianta piuttosto resistente, subisce di rado danni gravi ad opera di fitopatie crittogamiche, batteriche o virali, mentre talora può essere attaccata da patogeni animali. Per ridurre al minimo i rischi di carattere sanitario e, di conseguenza, la necessità di fare ricorso ad interventi chimici di difesa, è raccomandabile il ricorso ad azioni di natura preventiva quali l'impiego di

materiale vivaistico sano, l'adozione di corrette tecniche agronomiche (gestione del suolo, potature) e la creazione di impianti misti.

Fra le patologie a cui può andare soggetto il frassino maggiore si ricordano i marciumi del colletto e i rodilegno. I marciumi del colletto sono infezioni veicolate da vari funghi del genere *Phytophthora*, patogeni ubiquitari che possono attaccare molte specie arboree. A seguito di queste infezioni si manifestano caratteristiche alterazioni nella zona del colletto, che evidenzia imbrunimenti della corteccia e la presenza di ampie aree necrotiche. Questi sintomi possono interessare anche la porzione basale del fusto (entro i primi 20 cm da terra) e le radici più grosse. L'ingresso del patogeno avviene attraverso le lenticelle e, soprattutto, le lesioni corticali; è necessario quindi prestare attenzione a non danneggiare i fusti durante le lavorazioni meccaniche. I prolungati ristagni idrici, inoltre, sono ulteriori fattori che predispongono le piante a questa patologia. Le piante attaccate evidenziano sintomi di deperimento quali ingiallimento delle foglie ed estesi disseccamenti; gli esemplari colpiti dovrebbero essere prontamente eliminati per ridurre i rischi di diffusione della malattia.

I rodilegno sono patogeni particolarmente dannosi per le specie arboree da legno, poiché le larve scavando gallerie al di sotto della corteccia, alterano le caratteristiche tecnologiche del legno e ne causano il deprezzamento. Il frassino può essere soggetto ad attacchi da parte del rodilegno giallo (*Zenusa pyrina*), che scava gallerie nella zona midollare dei rami, causando disseccamenti e rotture. Oltre alle evidenze a carico dei rami, segnali esterni della fitopatia sono rappresentati dalla presenza dei fori di entrata delle larve, dai quali fuoriesce rosura sotto forma di piccolissimi cubetti. La difesa si può realizzare mediante cattura massale; la lotta chimica è sconsigliabile in quanto poco efficace (i trattamenti andrebbero effettuati per tutto il periodo estivo) e dannosa per l'entomofauna utile. Qualora si voglia applicare la cattura massale, devono essere applicate entro la metà di maggio trappole a feromoni di tipo a "imbuto", in numero di circa 10 per ettaro, mantenute attive aggiungendo periodicamente (ogni 4-5 settimane) delle nuove capsule di feromone per tutto il periodo estivo. Le trappole ad "imbuto" devono essere collocate, tramite appositi sostegni, 1-1,5 m sopra la chioma. Tra gli insetti che possono creare dei danni al frassino maggiore si ricorda inoltre la *Prays fraxinella*, lepidottero minatore delle foglie e delle gemme che può essere una delle cause che provocano la biforcazione del fusto.

25.7. Attitudine delle terre alla coltivazione del frassino

Nel nostro Paese, il frassino maggiore si adatta molto bene nelle regioni climatiche temperata montana (Alpi) (Righini et al., 2001) e temperata calda subcontinentale (Appennino settentrionale), e bene nella regione temperata suboceanica (Pianura Padana); l'adattabilità nelle regioni temperata calda

oceanica (costa adriatica settentrionale), mediterranea oceanica (litorale tirrenico ligure e toscano) e mediterranea subcontinentale (litorali tirrenico e adriatico meridionali) è da discreta a mediocre, mentre è da mediocre a molto scarsa nella regione climatica mediterranea subtropicale (Puglia, Sicilia e Sardegna).

È il clima, quindi, il fattore ambientale che condiziona maggiormente la riuscita dei nuovi impianti. In Italia le uniche esperienze di valutazione delle terre alla coltivazione del frassino maggiore sono state condotte dall'Ufficio Pedologico del Servizio Cartografico e Geologico della Regione Emilia Romagna (2006) e dal Servizio del Suolo dell'Ente Regionale di Sviluppo Agricolo della Lombardia (ERSAL, 2001). Per la definizione dell'adattabilità delle terre alla coltivazione di tale specie viene quindi fatto riferimento a tali esperienze, pur ricordando che gli schemi di valutazione adottati non vogliono essere esaustivi e rappresentano solo un primo tentativo di individuazione dei caratteri pedologici che maggiormente condizionano la risposta produttiva della coltura.

25.8. Caratteri funzionali dei suoli

Fra le caratteristiche pedologiche che maggiormente influenzano la risposta vegeto-produttiva del frassino maggiore si segnalano il volume di terreno esplorabile dalle radici, l'aerazione e la salinità del suolo (tabelle 25.1 e 25.2).

Trattandosi di pianta di ragguardevoli dimensioni, con notevoli esigenze in fatto di disponibilità idrica e un apparato radicale molto sviluppato, si ritiene che non si incontrino limitazioni significative allo sviluppo del f. maggiore solo in presenza di substrati aventi una profondità utile > 100 cm. I suoli sottili (< 50 cm) non sono ritenuti idonei, oltre che per i motivi appena citati, anche perché non garantiscono un buon ancoraggio della pianta, con conseguente forte rischio di instabilità degli esemplari in condizioni di forte acclività e concomitanti avversità meteoriche (tabelle 25.1 e 25.2). Tuttavia, in ambienti caratterizzati da piovosità particolarmente elevata (intorno a 2.000 mm durante la stagione vegetativa, ad esempio, Prealpi venete e friulane) può vegetare bene anche su terreni di più modesto spessore (Pelleri F., comunicazione personale).

Il frassino è una pianta piuttosto resistente al ristagno idrico, riuscendo a vegetare anche nelle depressioni interdunali di aree boscate naturali della Pianura Padana, quali il Bosco della Mesola, tanto che incontra limitazioni severe al suo sviluppo solo in zone in cui le condizioni di saturazione del suolo permangono per periodi molto lunghi (> 1 mese), con conseguente scarsa o molto scarsa disponibilità di ossigeno a livello delle radici (tabella 25.1). Il frassino, essendo specie tipica dei climi umidi, trova condizioni favorevoli alla coltivazione in suoli lisciviati che presentano valori di salinità inferiori a $0,4 \text{ dS m}^{-1}$; livelli superiori di salinità possono ostacolare l'assorbimento dell'acqua durante i periodi di deficit idrico (tabella 25.1).

Altri caratteri pedologici, quali tessitura e reazione, non mostrano evidenti relazioni con la risposta vegeto-produttiva del f. maggiore (tabella 25.1 e 25.2). Limitazioni moderate allo sviluppo delle piante si incontrano infatti solo in presenza di substrati con tessitura grossolana o fine, o con reazione acida ($4,5 < \text{pH} < 5,5$). Suoli inospitali possono essere considerati quelli con valori estremi di pH (suoli molto acidi e fortemente alcalini), nei quali le piante incontrano severe limitazioni della crescita. Per gran parte degli autori è indifferente alla presenza del calcare attivo (Franc e Ruchaud, 1996).

Tabella 25.1. Schema di valutazione delle limitazioni pedologiche alla crescita del Frassino maggiore in Emilia Romagna.

Caratteristiche pedologiche	Grado di importanza ⁽¹⁾	Intensità delle limitazioni		
		Assenti o lievi	Moderate	Severe
Tessitura ⁽²⁾	++	media, moderatamente grossolana, moderatamente fine	grossolana, fine	
Profondità utile alle radici (cm)	+++	> 100	50 - 100	< 50
Disponibilità di ossigeno	+++	buona	moderata, imperfetta	scarsa, molto scarsa
Reazione (pH)	+	5,5 - 8,5	4,5 - 5,5	< 4,5; > 8,5
Problemi di deficit idrico	++	assente, lieve o moderato		forte, molto severo
Salinità (EC5 dS m ⁻¹)	+++		< 0,4	> 0,4
Rischio inondazione				
Inondabilità	+++	nessuno, lieve, moderato	alto	
Durata	+++	< 7 giorni	7 giorni - 1 mese	> 1 mese

⁽¹⁾ Il grado di importanza esprime sinteticamente il peso della caratteristica nell'influire sulla crescita della specie: + = minore importanza; ++ = media importanza; +++ = maggiore importanza.

⁽²⁾ Vedasi l'Appendice per la corrispondenza dei termini generali alle diverse classi tessiturali.

Tabella 25.2. Schema di valutazione delle limitazioni pedologiche alla crescita del Frassino maggiore in Lombardia (ERSAL – Servizio del Suolo, 2001).

Caratteristiche pedologiche	Grado di importanza ⁽¹⁾	Intensità delle limitazioni		
		Assenti o lievi	Moderate	Severe
Profondità utile alle radici (cm)	++	> 100	50 - 100	< 50
Drenaggio	++	buono, mediocre	mediocre, mod. rapido*	rapido, mod. rapido, lento, molto lento, impedito
Rischio di inondazione	++	nessuno, lieve, moderato	alto	
Rischio di deficit idrico (R.d.i.) ⁽²⁾	+	moderato, lieve, assente	molto severo**, forte*	
Tessitura (100 cm)	+	media, moderatamente grossolana, mod. fine	grossolana, fine	
Reazione (pH)	+	5,5 - 7,5	4,5 - 5,5 7,5 - 8,5	< 4,5; > 8,5

⁽¹⁾ + = fattori limitanti secondari; ++ = fattori limitanti principali (ERSAL, 2001).

⁽²⁾ Con questo parametro viene caratterizzato il rischio di possibili carenze nella disponibilità idrica per le colture arboree. Il dato viene espresso come relazione tra regime di umidità dei suoli, espressione sintetica correlata alle condizioni climatiche di un'area, e la loro capacità di ritenuta idrica, tenendo conto della eventuale presenza di falda o di frange capillari in prossimità della superficie (ERSAL, 2001).

* Se il drenaggio è moderatamente rapido o il R.d.i. è raro, ma l'AWC (capacità di ritenuta idrica) riferita al primo metro è > 50 mm, il grado di intensità delle limitazioni è moderato.

** Se il R.d.i. è occasionale, ma l'AWC (capacità di ritenuta idrica) riferita al primo metro è compresa tra 50 e 100 mm e la falda è assente, il grado di intensità delle limitazioni è moderato.

Bibliografia

- BERNETTI, G., 1995. *Selvicoltura speciale*. UTET, Torino.
- DEL FAVERO, R., 1998. *La vegetazione forestale e la selvicoltura nella Regione Friuli Venezia Giulia*. Regione Autonoma Friuli Venezia Giulia, Servizio della Selvicoltura, Udine, Vol.1, 191-218.
- ERSAL, SERVIZIO DEL SUOLO, 2001. *Carta di Orientamento Pedologico per l'Arboricoltura da legno della Pianura Lombarda*. A cura di: Brenna, S., Calvo, E., Sciacaluga, M..
- FRANC, A., RUCHAUD, F., 1996. *Autécologie des feuillus précieux: frêne commun, merisier, érable sycomore, érable plane*. Gestion des territoires, 18. Cemagref, 15-68.
- GELLINI, R., 1985. *Botanica forestale*. Vol. II, CEDAM (Ed.), Padova.
- MINOTTA, G., 1988. *Il rimboschimento dei terreni ex-agricoli dell'Appennino: primi risultati sul confronto tra diverse tecniche di lavorazione del suolo*. Italia Forestale e Montana, 43, 6, 474-483.
- PELLERI, F., 2000. *Indagine auxometrica e prova di diradamento in un popolamento di neoformazione a prevalenza di Fraxinus excelsior L.* Ann. Ist. Sper. Selv., XXIX, 17-28.

- PIGNATTI, S., 1982. *Flora d'Italia*. Edagricole.
- POLI, F. *Il Frassino. Scheda botanica*. <http://www.comune.fe.it/aeb/schede/frassino/frassino.htm> (verificato il 24 febbraio 2006).
- POLUNIN, O., WALTERS, M., 1987. *Guida alle vegetazioni d'Europa*. Zanichelli.
- REGIONE EMILIA ROMAGNA - UFFICIO PEDOLOGICO DEL SERVIZIO CARTOGRAFICO E GEOLOGICO REGIONALE, 2006. *Catalogo dei tipi di suolo della pianura emiliano-romagnola*. <http://gias.regione.emilia-romagna.it/suoli/guidaindice.asp> (verificato il 24 febbraio 2006).
- RIGHINI, G., COSTANTINI, E.A.C., SULLI, L., 2001. *La banca dati delle regioni pedologiche italiane*. Boll. Soc. It. Scienza del Suolo, 50, suppl., 261-271.

Ministero delle Politiche Agricole, Alimentari e Forestali
Osservatorio Nazionale Pedologico e per la Qualità del Suolo Agricolo e Forestale

In collaborazione con:
International Union of Soil Sciences
Società Italiana della Scienza del Suolo
Commissione VI - Uso e Conservazione del Suolo

NAPOLI, R., MERCURIO, R., 2006. *Noce e ciliegio*. In: Costantini, E.A.C. (Ed.), Metodi di valutazione dei suoli e delle terre, Cantagalli, Siena, pp. 922.

Collana dei metodi analitici per l'agricoltura diretta da Paolo Sequi, vol. 7

CRA - Consiglio per la Ricerca e la Sperimentazione in Agricoltura
Istituto Sperimentale per lo Studio e la Difesa del Suolo, Firenze

26. Noce e ciliegio

Rosario Napoli¹, Roberto Mercurio²

26.1. Il noce (<i>Juglans regia</i> L.).....	3
26.1.1. Inquadramento sistematico e principali caratteristiche botaniche	3
26.1.2. Caratteri botanici	4
26.1.3. Varietà	5
26.1.4. Propagazione	6
26.1.5. Esigenze climatiche.....	7
26.1.6. Tecniche colturali	7
26.1.7. Patologie.....	11
26.2. Il ciliegio (<i>Prunus avium</i> L.).....	12
26.2.1. Inquadramento sistematico e principali caratteristiche botaniche	12
26.2.2. Varietà	13
26.2.3. Propagazione	13
26.2.4. Esigenze climatiche.....	13
26.2.5. Tecniche colturali	14
26.2.6. Patologie.....	16
26.3. Attitudine delle terre alla coltivazione del noce e del ciliegio.....	17
26.3.1. Gli ambiti geografici prevalenti	17
26.3.2. Ambiti geografici di pianura e fondovalle alluvionale e/o lacustre.....	17
26.3.3. Ambiti geografici collinari	18
26.3.4. I fattori funzionali.....	18
26.3.5. Gli schemi di valutazione basati sui caratteri funzionali dei suoli e geografico-topografici.....	20
26.3.6. Esperienze in regione Emilia Romagna: limitazioni pedologiche alla crescita di noce e ciliegio da legno	20
26.3.7. Esperienze in Italia Centrale: lo studio della Regione Abruzzo.....	26
26.3.8. Esperienze di cartografia attitudinale in Piemonte	28
26.3.9. Esperienze in Regione Lombardia.....	32
26.3.10. Altre esperienze in corso e/o realizzate in Italia	41
Bibliografia	43

¹ CRA - Istituto Sperimentale per lo Studio e la Difesa del Suolo, Firenze

² Università degli Studi Mediterranea di Reggio Calabria - Dipartimento di Gestione dei Sistemi Agrari e Forestali

26.1. Il noce (*Juglans regia* L.)

26.1.1. Inquadramento sistematico e principali caratteristiche botaniche

Il genere *Juglans*, secondo la chiave analitica delle *Juglandaceae* di Hutchinson (1959), si distingue per: mallo del frutto indeiscente; guscio della noce, legnoso, rugoso; midollo suddiviso; amenti staminali non ramificati; stami 7-105; semi commestibili, molto ricchi di olio; foglie caduche.

Secondo Dode (1906-1909), al genere *Juglans* afferiscono 44 specie divise in 3 sezioni a seconda del colore della corteccia il quale sembra sia correlato alla

Ordine: FAGALES
Famiglia: JUGLANDACEE
Genere: JUGLANS
Specie:
<i>Juglans regia</i> L. (Noce).

qualità del legno: sect. *Dioscaryon* noci bianche con corteccia liscia di colore argento opaco nelle piante giovani e, successivamente, screpolata e di colore grigio in quelle adulte; sect. *Rhizocaryon*, noci nere, con corteccia di colore bruno più o meno scuro e sect. *Cardiocaryon*, noci grigie, con cortecce di

colore grigio cenere. Il noce comune viene incluso nella prima sezione.

Secondo Pardè (1952), al genere *Juglans* afferiscono le seguenti specie: *Juglans rupestris* Engelm. (Nord America); *Juglans californica* S.Wats. (Nord America); *Juglans cinerea* L. (Nord America); *Juglans nigra* L. (Nord America); *Juglans mandshurica* Maxim. (Nord America); *Juglans hindsii* Rehd. (Nord America); *Juglans torreyi* Dode (Asia orientale); *Juglans stenocarpa* Maxim. (Asia orientale); *Juglans cathayensis* Dode (Asia orientale); *Juglans sieboldiana* Maxim. (Asia orientale); *Juglans cordiformis* Maxim. (Asia orientale); *Juglans regia* L. (Asia centrale e occidentale).

Krüssmann (1986) distingue: *J. ailantifolia* Carr. (= *J. sieboldiana* Maxim. non Goepp.; *J. cordiformis* var. *ailantifolia* (Carr.) Rehd.); *J. cordiformis* var. *cordiformis* (Maxim.) Rehd. (= *J. cordiformis* Maxim.; *J. sieboldiana* var. *cordiformis* (Maxim.) Mak.), *J. californica* Wats., *J. cathayensis* Dode (= *J. draconis* Dode), *J. cinerea* L., *J. hindsii* (Jepson) R.E. Smith (= *J. californica* var. *hindsii* Jepson), *J. major* (Torr.) Heller (= *J. rupestris* var. *major*; *J. arizonica* Dode; *J. torreyi* Dode), *J. mandshurica* Maxim., *J. microcarpa* Berl. (= *J. rupestris* Engelm.; *J. nana* Engelm.), *J. nigra* L., *J. regia* L., *J. stenocarpa* Maxim.

Tutte le specie del genere *Juglans* sono diploidi ($2n=32$) ed interfertili. Tutin (1964), riporta in "Flora Europaea" solo tre specie, delle quali *J. regia indigena* nella penisola balcanica, Romania e Creta e naturalizzata in seguito alla coltivazione in varie altre aree; *J. nigra* e *J. cinerea* coltivate per il legname.

26.1.2. *Caratteri botanici*

Albero alto sino a 20-25 (30) metri, con diametro fino a circa 1 metro. In provincia di Cosenza è stata segnalata una pianta alta 26 metri con una circonferenza di 3,80 m (Alessandrini et al., 1989). Specie assai longeva, si ritiene che possa raggiungere i 900 anni (Barone et al., 1997). Fusto dritto, cilindrico, suddiviso a varia altezza in branche principali su cui si inserisce una chioma ampia e arrotondata. Corteccia per lungo tempo liscia poi si fessura longitudinalmente, di colore grigio-chiaro o argenteo-opaco sui fusti giovani, sui rami è dapprima rosso-scura poi diviene grigio-argentea. Gemme glabre, ricoperte da due perule brunastre, glabre. La gemma terminale è grossa ed è accompagnata da due gemme laterali più piccole. Rametti glabri, bruno-lucenti, portanti delle grosse cicatrici fogliari a forma di cuore. Foglie alterne, caduche, composte, lunghe fino a 35 cm, imparipennate, con 5-9 foglioline ellittiche, a margine intero, di colore verde chiaro e aromatiche. Fiori monoici. I maschili piccoli, numerosi (100-160), riuniti in amenti lunghi 6-8 cm, verdastri, penduli, si sviluppano lateralmente sui rametti dell'anno precedente, prima o contemporaneamente all'emissione delle foglie. Sono sprovvisti di petali e hanno molti stami (fino a 40) a filamento breve con grosse antere contenenti numerosi granuli pollinici (900). I fiori femminili, formati da un ovario e da stigma bilobato sessile, sono solitari, più comunemente in coppie, all'estremità dei rametti dell'anno ed in alcune cultivar anche all'estremità dei getti laterali (Ashley, Chico, Payne, ecc.). A questo proposito va rilevato che l'alto grado (80-90%) di induzione a fiore di gemme miste laterali in questo tipo di cultivar si traduce in una notevole attenuazione della dominanza apicale e quindi in una riduzione della taglia e del vigore complessivo (Germain, 1974) che ne dovrebbero sconsigliare l'utilizzo in arboricoltura da legno. La fioritura si verifica in aprile-maggio in dipendenza delle cultivar e delle condizioni ambientali. La maturità del seme si ha in settembre-ottobre nello stesso anno, a distanza quindi di 19-20 settimane dalla fioritura.

Frutto: drupa ovoidale lunga 3-4 cm e larga 2,5-3 cm, con epicarpo (mallo) carnoso, verde, ricco di tannino che si distacca a maturità: endocarpo legnoso (noce) formato da due valve rugose non deiscenti a maturità, seme (gheriglio) cerebriforme, diviso in 2-4 lobi molto solcati, costituito da due grossi cotiledoni, carnosi, oleosi, coperti da una sottile pellicola rosso-bruna. Il frutto raggiunge le dimensioni finali a circa 10 settimane dalla fioritura. La sclerificazione dell'endocarpo si completa tra la 12 e la 15a settimana dalla fioritura.

Plantula: la prima foglia è ordinariamente composta da 5 foglioline sessili, glabre, asimmetriche alla base, di forma ovato-lanceolata, di grandezza diversa (la fogliolina apicale è la più grande, le due basali sono le più piccole). Il margine fogliare è ondulato dentato; il fusticino glabro. Le foglie primarie successive, per lo più di 7 foglioline, sono simili alle precedenti ma di maggiori dimensioni. Foglie definitive imparipennate, alterne, di 5-9 foglioline, ovali, a

marginale appena ondulato. Se vengono strofinate, tanto le foglie primarie che le definitive emanano un forte odore penetrante (Magini, 1975).

Apparato radicale: robusto, dapprima fittonante, in seguito tende ad assumere un andamento orizzontale compreso per lo più tra 40 e 90 cm. In condizioni ideali, le radici si possono spingere fino alla profondità di 3 m e occupano un'area da 2,8 a 8,7 volte quella della chioma (Chernoboi, 1971).

26.1.3. Varietà

Nell'ambito di *J.regia* si segnalano alcune varietà ornamentali: *var. monophylla* a foglie semplici, molto simile al nocciolo, *var. laciniata* a foglie frastagliate con piante di notevole sviluppo, *var. heterophylla* con foglie di varie forme, *var. pendula* con rami pendenti. Krüssmann (1986) include anche: *var. adspersa* con foglie biancastre e screziate, *var. praepaturiensis* ad *habitus* vegetativo arbustivo, *var. purpurea* a lento accrescimento, con foglie rosso opaco, *var. recemosa* con frutti in racemi (10-15), *var. rubra* con semi rossi, *var. corcyrensis* a foglie molto grandi (lunghe fino a 50-60 cm), *var. bartheriana* con noce a forma di mandorla e infine la *subsp. fallax* (Dode) Popov (= *J. fallax* Dode; *J. duclouxiana* Dode) della Cina meridionale e dell'Himalaya.

Il ricorso alla propagazione per seme, in uso sino a tempi recenti, reso necessario dall'aleatorietà dell'innesto, ha determinato la diffusione in coltura di numerosi tipi genetici che tra l'altro possono essere considerati più adatti alle condizioni locali. Le cultivar-popolazione italiane di riferimento per la produzione del frutto sono: la Bleggiana diffusa nel Trentino, la Feltrina nel Bellunese, Piemonte e Lombardia, la Sorrento, la più diffusa in Italia (Campania) che copre circa il 70% della produzione nazionale.

Tra le cultivar da frutto introdotte si ricordano, le francesi: Franquette, Mayette, Parisienne, Marbot, Lara, Solèze, Meylannaise, Ronde de Montignac; le americane (Stati Uniti): Hartley, Payne, Serr, Vina, Pedro, Chico, Amigo, Tehama, Adams10, Chase D9, Geisenheim 139. È utile ricordare quelle entità che tradizionalmente sono note per la produzione di legno pregiato: San Giovanni e Malescia o Martellina. Tra le varietà con attitudini forestali, riconosciute in ambito internazionale (UPOV), Lowe e Gonzalez (2001) menzionano: Fernette, 4/6/1997, INRA - Fernor, 4/6/1997, INRA - Liba, 2/1/1997, Societe des Mais Europeens - Chereba 2/1/1997 Societe des Mais Europeens - Noba, 21/12/1998 CTIFL.

Krüssmann (1986) elenca i seguenti ibridi di *J.regia*: con *J.nigra* si ha *J. x intermedia* Carr. di cui si distinguono le varietà *vilmoreana* (Carr.) Schneid. e *pyriformis* Carr.; con *J.cinerea* la *J. x quadrangulata* (Carr.) Rehd; con *J.hindsii* (Jepson) il 'Paradox', con *J.ailantifolia* *J.x notha* Rehd., con *J.mandshurica* *J. x sinensis* (DC.) Dode.

Sul mercato francese, gli ibridi tra noce nero e noce comune (ibridi di prima generazione F1) di maggiore rilievo per la produzione di legno sono

quelli contraddistinti dalle sigle NG23 x RA e MJ 209 x RA (Bequey, 1990; Crave, 1991). Gli ibridi interspecifici francesi MJ x RA e NG23 x RA, caratterizzati da buona dominanza apicale e maggiore vigoria, hanno dimostrato una buona adattabilità in Val Padana dove il periodo estivo non presenta periodi siccitosi eccessivamente prolungati (Ducci e Tani, 1997). Esperienze di confronto su soggetti di 8 anni realizzate in Valdarno (Toscana) mostrano che il noce ibrido MJ 209 x RA ha uno sviluppo iniziale più vigoroso rispetto al noce nero ma non rispetto al noce comune (Buresti et al., 1997).

26.1.4. Propagazione

In Italia la selezione dei fenotipi superiori di noce comune ai fini dell'arboricoltura da legno fu iniziata negli anni '80 da varie istituzioni con lo scopo di ottenere individui migliorati per accrescimento, forma, resistenza alle principali avversità e qualità tecnologiche (Malvolti et al., 1998). Ancora non esiste sul mercato materiale migliorato di noce ai fini della produzione di legno di qualità. Per il momento, si può fare riferimento al materiale proveniente da fenotipi superiori. Tale materiale dovrebbe, preferibilmente, essere usato nelle medesime zone fisiografiche di provenienza del seme.

Buoni risultati per la produzione del materiale per impianti da legno si sono ottenuti con l'allevamento in cassone (Ammannati-Lazzara, 1991; Buresti, 1993c; Ducci e Tani, 1997). Con questo sistema si ottengono semenzali ben equilibrati, con un apparato radicale ben conformato e ricco di radici secondarie. Le piantine hanno dimensioni generalmente superiori rispetto ai sistemi tradizionali in pieno campo, si evita il taglio del fittone che può causare, tra l'altro, difficoltà nella ripresa vegetativa e favorire l'ingresso dei funghi agenti dei marciumi radicali. Dal punto di vista dimensionale il postime adatto all'arboricoltura da legno deve avere un diametro al colletto > 5 mm e un'altezza tra 50 e 60 cm, rapporto ipsodiametrico (h/d) compreso tra 60 e 80, essere esente da malattie, con gemma apicale ben conformata, getto terminale lignificato, fusto dritto con buona dominanza apicale, apparato radicale sviluppato e ricco di radici secondarie e capillari (Calvo e D'Ambrosi, 1995; Falleri e Giannini, 2003). Per questo è necessario eseguire una selezione in vivaio molto accurata scartando le piante difettose e quelle poco o troppo sviluppate.

Le tecniche di propagazione agamica mediante embriogenesi somatica sono ancora in una fase di perfezionamento e comunque i risultati ottenuti sono apparsi estremamente variabili in funzione del genotipo (Scaltosoyannes et al., 1997; Tang et al., 2001; Cantoni et al., 2005).

26.1.5. Esigenze climatiche

Il noce comune vegeta in ambienti con temperatura media annua compresa tra 10 e 17°C. Come pianta destinata alla produzione di legno, necessita di almeno 5 mesi con temperatura media mensile di 10°C. La resistenza alle basse temperature varia in rapporto alle diverse entità sottospecifiche, alla fase vegetativa e all'età: da giovane è sensibile alle gelate tardive anche di -3°C mentre le piante adulte, in pieno riposo vegetativo, possono sopportare -35°C. I germogli dell'anno che vegetano fino al tardo autunno, in genere scarsamente lignificati, sono maggiormente esposti a subire i danni da freddo nella primavera successiva. Condizioni ottimali di vegetazione si hanno nella fascia compresa tra la sottozona fredda del *Lauretum* e il *Castanetum* secondo la classificazione fitoclimatica di Pavari. Il noce è specie esigente dal punto di vista idrico. Secondo Bergognoux e Grosperre (1981) e Montero et al., (2003) occorrono almeno 700-800 mm annui, mentre il fabbisogno idrico estivo viene stimato intorno a 100-150 mm.

26.1.6. Tecniche colturali

Impianto

I moduli colturali che finora si sono maggiormente affermati sono i seguenti (Mercurio e Minotta, 2000):

Impianti puri

È il modulo colturale tradizionale maggiormente diffuso in Italia. Possono distinguersi due tipologie in relazione alla densità di piantagione iniziale: (a) impianti a densità definitiva, cioè costante durante tutto il ciclo produttivo, la densità oscilla tra 120 e 200 piante ad ettaro, pari a densità di 10x10 e 9x9 m, con disposizione in quadro o a settonce (Barone et al., 1997). In Francia, tradizionalmente gli impianti di noce comune vengono realizzati a densità definitiva di 70 piante ad ettaro, pari a distanze di 12x12 m. Tale scelta è dovuta sia a motivi economici per ottenere il massimo accrescimento in diametro e di rendimento in volume, sia, soprattutto, per motivi fitosanitari, per evitare, nel caso di impianti più densi, di dover ricorrere ai diradamenti, in quanto sulle ceppaie delle piante diradate, si insedia facilmente l'Armillaria. Gli Autori francesi consigliano in questi casi di arricchire il soprassuolo principale di noce con uno di accompagnamento e di eseguire, nei primi 3-5 anni, colture agrarie in consociazione; (b) impianti a densità variabile, la densità iniziale è più elevata allo scopo di contenere lo sviluppo dei rami laterali, di favorire l'accrescimento in altezza e di ottenere prodotti legnosi intercalari. In condizioni di media fertilità e impiegando materiale vivaistico comune, la densità iniziale varia tra 625 (4x4 m) e 278 (6x6 m) piante ad ettaro. Invece, nelle situazioni di elevata

fertilità e con materiale vivaistico di elevato valore colturale, la densità iniziale potrà essere compresa tra 123 (9x9 m) e 204 (7x7 m) piante ad ettaro (Barone et al., 1997). Va osservato che con densità d'impianto superiore a 330 piante ad ettaro (6x5 m) le piante entrando presto in concorrenza tra loro, richiedono diradamenti molto precoci non remunerativi (Frattegiani e Mercurio, 1991). Gli impianti puri non dovrebbero superare una superficie di 4-5 ettari. Indagini che tengono conto delle azioni concomitanti dovute alla crescita del noce in piccoli impianti e del beneficio dell'“effetto coltivazione”, fanno intravedere cicli colturali di 40-50 anni per la produzione di materiale di pregio. Cicli brevi di 25-30 anni indirizzati alla produzione di tondame da sega mostrano, al momento, una scarsa convenienza economica, almeno quando si opera al di fuori di contesti ambientali particolarmente favorevoli, per le basse rese di lavorazione connesse alle ridotte dimensioni dei tronchi normalmente ottenibili in un tale periodo. In genere, si tratterà quindi di un “turno tecnico”, proteso verso la produzione di una massa legnosa tecnicamente e finanziariamente più interessante.

Impianti misti

Sia per piede d'albero che per gruppi. Sono allo studio diverse possibilità di consociazione del noce: a) con altre specie a legname pregiato (ciliegio, frassino, acero) allo scopo di differenziare la produzione legnosa; b) con specie azotofissatrici. Gli Autori francesi sono stati i precursori di questa tecnica (Guinier, 1953; Hubert, 1979). Nel caso di impianti misti per piede d'albero con robinia, essendo questa specie vigorosa e invadente, Bequey (1991) mette in guardia sul costo eccessivo che si deve sostenere per ridurre la competitività di questa leguminosa nei confronti del noce. In Francia, l'impianto misto con ontano sembra che possa favorire l'accrescimento del noce (Bequey, 1991; 1992; 1993). In Italia sono stati eseguiti impianti misti per piede d'albero di noce, ontano napoletano e olivo di Boemia con risultati positivi almeno nei primi anni sull'accrescimento del noce (Buresti, 1993a). Va precisato che gli impianti misti con specie attinoriziche devono ancora essere attentamente valutati in quanto lo juglone prodotto dalle piante di noce comune “esercita un'azione negativa sullo sviluppo, capacità infettiva, nodulazione ed azotofissazione di Frankia sia nel suolo che nella simbiosi con piante attinoriziche, particolarmente *Alnus* ed *Eleagnus* che può avere ripercussioni sfavorevoli sulla produttività di piantagioni ove il noce è consociato” (Bosco et al., 1997), e Contu e Mercurio (2005) hanno messo in evidenza in impianti misti di noce comune e ontano napoletano su suoli calcari che non si ha la fissazione di N a causa dell'effetto inibente dello juglone in questi suoli; c) con alberi da frutto o specie mellifere (melo, nocciolo) per integrare la produzione di legno con altri prodotti (frutti, miele, ecc.); d) con arbusti di accompagnamento (ad esempio, sambuco), i quali impediscono al noce di sviluppare rami bassi e vigorosi riducendo i problemi legati alla potatura, inoltre, questi arbusti

possono ridurre il periodo di applicazione delle cure colturali e migliorare il suolo (Buresti, 1993b).

Impianti in filari

I singoli soggetti sono posti alla distanza di 8-10 m l'uno dall'altro su file semplici. Le piantine vanno messe a dimora, previa rimonda delle radici spezzate e intristite, in modo tale che il colletto sia a fior di terra. Nelle regioni dove si manifestano precocemente fenomeni siccitosi, le migliori percentuali di attecchimento si ottengono con piantagioni autunno-invernali.

Secondo Paris et al. (1995) l'adozione della pacciamatura con film plastico nero lungo la fila favorisce l'accrescimento delle piante di noce e mantiene libera dalle erbe la zona attorno alle piante. Per controllare le erbe in vicinanza delle piante può essere usato anche il diserbo chimico (attuato con prodotti a base di glifosate), in questi casi possono essere utili, per proteggere le piantine dagli effetti del diserbante, gli *shelters* a parete intera nella parte inferiore e a rete nella parte superiore.

Trattandosi di piantagioni destinate ad ottenere prodotti di qualità, si pone il problema di proteggere le piantine dai danni derivanti dagli animali selvatici e domestici e dal passaggio dei mezzi meccanici. Le reti poste attorno alla pianta si sono rivelate efficaci per quanto riguarda lo sviluppo equilibrato della piantina. I tubi di polipropilene, analogamente a quanto osservato in altri Paesi, sono stati valutati favorevolmente anche in Italia per gli effetti positivi sull'accrescimento iniziale delle piantine e per la protezione dalla concorrenza delle erbe. Le lavorazioni superficiali del terreno nelle interfile dovrebbero eseguirsi 2-4 volte l'anno nel corso del periodo primaverile-estivo per i primi 5-6 anni dall'impianto.

La tecnica della non coltura, che consiste nel mantenere costantemente inerbita la superficie del suolo, ha avuto in genere effetti negativi sull'accrescimento del noce soprattutto nelle Regioni centro-meridionali per effetto della maggiore competizione idrica esercitata dalle specie erbacee (Minotta et al., 1993; Minotta e Boschetti, 1994). Le effettive necessità di elementi nutritivi degli impianti di noce da legno in termini quali-quantitativi non sono state ancora accertate, per cui si fa tuttora riferimento alle esperienze maturate nelle piantagioni da frutto. Resta inoltre da valutare la razionalità di quest'operazione in termini di rapporto costi-benefici. Per quanto riguarda le esigenze dei vari elementi chimici, l'azoto è al primo posto. Le quantità di azoto da distribuire variano in funzione della fertilità del suolo e dell'età delle piante. In generale, le concimazioni azotate possono essere fatte nei primi 5 anni partendo dall'anno successivo dalla messa a dimora con dosi crescenti di 100 g a pianta (Bergognoux e Grosperrière, 1981). Lo spargimento del concime deve essere localizzato sotto la proiezione della chioma frazionando la dose in 2/3 all'inizio della ripresa vegetativa, a febbraio- marzo, e 1/3 a aprile-maggio. Dopo il mese di maggio è assolutamente sconsigliato l'uso di azoto poiché potrebbe causare l'allungamento del ciclo vegetativo a scapito di una buona

lignificazione dei tessuti con rischi di danneggiamenti da gelate precoci. L'uso di urea è da sconsigliare poiché favorisce un eccessivo sviluppo dei rami laterali. Se le piante sono destinate anche a produrre frutto, si possono apportare, dopo il 5° anno, 60-80 kg di P_2O_5 e 80-100 kg di K_2O ad ettaro oltre a concimazioni azotate in ragione di 80-120 kg ad ettaro (Bergognoux e Grosperre, 1981; Minotta, 1989). In ogni caso sono utili i ternari soprattutto quelli a prevalenza di azoto. Il noce è specie sensibile alle carenze di calcio (Hubert, 1979; Bequey, 1997).

Manutenzione e coltivazione

Per valorizzare la produzione di legno, le piante devono essere potate in modo da avere un fusto diritto e libero da rami per una lunghezza non inferiore a 2,50 m. Gli studi sull'architettura della chioma (Barthèlemy et al., 1997), sul ciclo di accrescimento annuale (Minotta e Boschetti, 1994; Cannavò et al., 2004) e sul confronto tra differenti tipologie di potatura (Minotta, 1997; Cannavò et al., 2004), hanno permesso di acquisire maggiori conoscenze su questo importante aspetto della tecnica colturale. La potatura di formazione inizia dal 2° anno dalla messa a dimora; consiste nell'asportare gradualmente i rami spezzati, quelli eccessivamente vigorosi e le doppie cime, attuando tutti quegli interventi utili per riequilibrare la chioma. La potatura "ad astone" che consiste nella eliminazione di tutti i getti laterali ancora allo stato erbaceo ha un effetto negativo sull'accrescimento diametrico del fusto, riferibile ad una parziale inibizione dell'attività cambiale conseguente alla eccessiva riduzione della chioma (Minotta et al., 1993; Minotta, 1997). Le potature eccessive causano stress per le piante. Infatti, la drastica riduzione della superficie fogliare provoca rallentamenti nell'accrescimento, altera i rapporti ipso-diametrici della pianta con pregiudizio della stabilità (si possono avere piegamenti del fusto se non viene sostenuto da un palo tutore) e favorisce l'emissione di rami epicormici lungo il fusto. Un'equilibrata potatura di formazione oltre a ridurre l'incidenza dei nodi, minimizza le variazioni dimensionali degli anelli e il discolorimento. Quando la pianta ha raggiunto 3 m di altezza iniziano le potature di produzione che consistono nel recidere gradualmente i rami inferiori e quelli eccessivamente vigorosi avendo cura di non eliminare più del 30% della chioma viva ogni volta. La potatura viene di norma eseguita durante il periodo di riposo, meglio poco prima della ripresa vegetativa, ma è stato messo in evidenza che può essere eseguita anche in determinati periodi estivi (Cannavò et al., 2004). Il taglio dovrà essere netto rispettando il collare alla base del ramo. Le cicatrici più grosse (diametro di 4-5 cm) dovranno essere ricoperte con mastici.

Per evitare di ricorrere alle irrigazioni si dovrebbe aver cura di scegliere terreni con buona capacità idrica o comunque stazioni in grado di soddisfare le esigenze del noce. Diversamente, le irrigazioni sono indispensabili durante il periodo giugno-agosto quando si verifica il *deficit* idrico dovuto alla forte

evapotraspirazione e alla scarsità di precipitazioni, e, nel contempo si ha, da parte della pianta, una grande richiesta di acqua per produrre la gran parte della massa vegetale annuale (foglie, frutti, rami). Le necessità idriche estive possono variare, secondo Bergognoux e Grosperre (1981), da 70 a 100 mm al mese, in funzione dell'età delle piante, dell'evapotraspirazione, dell'andamento pluviometrico, della capacità di ritenuta idrica del suolo. Le ricerche condotte da Dettori et al., 1997, su impianti di noce nelle aree collinari-montane della Sardegna centro-settentrionale, dimostrano che la carenza idrica rappresenta il principale fattore limitante per lo sviluppo, per cui è indispensabile irrigare gli impianti con apporti idrici annui di 200-300 mm da maggio a settembre per i primi 5 anni.

Nelle piantagioni dense, le piante possono entrare in competizione molto presto per cui è necessaria la riduzione della densità per evitare una sensibile diminuzione dell'accrescimento. Il grado di densità di un popolamento può venire espresso tramite il fattore di competizione delle chiome (CCF). Per ogni aumento di 10 unità di CCF al di sopra del valore di 100, il tasso di accrescimento declina del 4-5% ogni anno (Schlesinger, 1987). Sulla base di questo criterio, Frattegiani e Mercurio (1991) hanno fornito gli elementi per guidare l'esecuzione del primo diradamento. In pratica, quando il CCF raggiunge il valore di 110, è necessario effettuare il diradamento, asportando circa il 30-35% delle piante. Il diradamento dovrebbe essere eseguito con criteri selettivi, eliminando in primo luogo le piante malformate, danneggiate, malate, privilegiando i migliori soggetti e identificando le piante di avvenire, quelle cioè con fusto dritto, senza difetti, con buoni accrescimenti che potrebbero costituire la parte pregiata della raccolta finale.

26.1.7. Patologie

I pericoli maggiori per gli impianti da legno sono dovuti agli attacchi dei lepidotteri xilofagi tra cui *Zeuzera pyrina* L. (perdilegno giallo) e *Cossus cossus* L. (perdilegno rosso). Le larve del perdilegno giallo attaccano il noce soprattutto nei primi anni scavando gallerie all'interno dei rametti e del fusto. La lotta preventiva consiste nell'evitare la piantagione in prossimità delle aree frutticole e pioppicole e dove vi siano terreni con carenze idriche. La lotta diretta può essere eseguita efficacemente con metodi tradizionali tra cui quelli che prevedono l'uccisione delle larve già penetrate all'interno con prodotti chimici specifici. Infatti, il ricorso al ferormone sessuale, alla tecnica delle catture di massa e a quella della confusione sessuale non sono sempre efficaci. Il perdilegno rosso attacca le piante di noce di oltre 15 anni e le larve scavano profonde e sinuose gallerie nel legno.

Tra gli agenti patogeni si ricordano i gravi danni provocati dal marciume radicale e del colletto (*Phytophthora cactorum* -Leb.et Cohn- Schroter) e dal marciume radicale fibroso (*Armillaria mellea* -Vahl.:Fr.- Kummer) (Luisi e

Magnano, 1997). Batteriosi, antracnosi e le macchie bianche (Anselmi, 2001), sono malattie specifiche che possono risultare dannose anche ai fini della produzione legnosa.

26.2. Il ciliegio (*Prunus avium* L.)

26.2.1. Inquadramento sistematico e principali caratteristiche botaniche

Il genere *Prunus* è suddiviso in sottogeneri: i ciliegi appartengono al sottogenere *Cerasus* mentre il sottogenere *Padus* raggruppa i ciliegi tardivi. Il sottogenere *Cerasus* comprende, tra le specie arboree europee, oltre il ciliegio selvatico o montano (*Prunus avium* L.) altre due specie da frutto: il visciolo o marasco o ciliegio acido (*Prunus cerarus* L.) e il ciliegio di Santa Lucia o ciliegio canino (*Prunus mahaleb* L.). Il ciliegio selvatico può raggiungere 20-25 m di altezza e diametri di 70-80 cm.

Ordine: ROSALES
Famiglia: ROSACEAE
Genere: <i>PRUNUS</i>
Specie: <i>Prunus avium</i> L. (Ciliegio selvatico)

È un albero poco longevo, 90-100 anni. Il fusto, con buona dominanza apicale, è dritto e cilindrico. La principale caratteristica della ramificazione del ciliegio è la tendenza a riunire i rami in pseudoverticilli. La chioma, specialmente nei soggetti isolati, tende ad essere di tipo espans-piramidale. La corteccia è liscia, sottile, più o meno lucida, di colore grigio-rossiccia con numerose lenticelle disposte in piccole linee orizzontali. Con l'accrescersi del diametro, la corteccia dapprima si sfalda, formando delle strisce nel senso della circonferenza che si arrotolano, poi con l'invecchiamento si formano screpolature longitudinali. Rametti lisci, glabri. Gemme disposte a gruppetti su brachiblasti e a spirale lungo il rametto, ovoidi, appuntite, di colore rosso-bruno-scuro, glabre.

Le foglie sono alterne, poste alla base delle gemme laterali e pendule. Hanno la lamina dentellata e, generalmente, sono di forma obovato-lanceolata, acuminate all'apice, con dimensioni variabili tra 4-8 x 10-20 cm. La pagina superiore è lucida, di colore verde-scuro, quella inferiore è invece verde-chiaro e presenta una leggera pubescenza. Il picciolo è lungo 2-4 cm, con 2 ghiandole rosicce, in prossimità della base della pagina superiore. Le foglie si sviluppano subito dopo la fioritura, tra marzo e aprile. I fiori sono ermafroditi e costituiti da 5 petali bianchi riuniti dal calice, sul quale sono inseriti numerosi stami. Hanno un peduncolo di 3-5 cm, sono raggruppati alla base dei brachiblasti in ombrelle di 2-5 elementi. La fioritura può avvenire dalla fine di febbraio alla fine di marzo. Il ciliegio selvatico è una specie auto-incompatibile, ad impollinazione entomogama, generalmente effettuata da api o da bombi

(Ducci, 2005). I frutti sono drupe rotondeggianti, a mesocarpo carnoso e endocarpo legnoso, con diversa gradazione di rosso a maturità. I frutti maturano tra maggio e agosto. Seme costituito da un tegumento sottile che aderisce ad uno strato unicellulare di endosperma che, a sua volta, circonda l'embrione.

Plantula con cotiledoni convessi, ovati, sessili, con ghiandole peduncolate. Foglie primarie sempre con ghiandole, appaiate, con margine seghettato e due stipole filiformi. L'apparato radicale nei semenzali e nelle piante giovani è di tipo fittonante. Gli individui adulti producono radici orizzontali superficiali dalle quali si sviluppano numerosi polloni radicali.

26.2.2. Varietà

Nell'ambito di *Prunus avium*, la specie più importante ai fini della produzione di legno, si distinguono le seguenti varietà: *sylvestris* Dierb. (= *avium* L.), *juliana* L., *duracina* L. (Pignatti, 1982).

26.2.3. Propagazione

Il materiale di propagazione di questa specie è sottoposto alla regolamentazione della Direttiva europea 105/1999/CE e del DL 386/2003. A tal riguardo sono state individuate sul territorio nazionale le aree dove effettuare la raccolta del seme (Ducci et al., 1988; Ducci e Gras, 1998; Siniscalco, 1997; Calvo et al., 2001; Ducci, 2005).

La piantagione viene normalmente eseguita facendo ricorso a semenzali di 1 anno allevati a radice nuda in pieno campo o in cassone. Gli standard di idoneità colturale riferibili all'arboricoltura da legno prevedono un diametro al colletto > 9 mm e un'altezza > 80 cm, rapporto ipsodiametrico (h/d) compreso tra 70 e 90, oltre al soddisfacimento degli altri requisiti qualitativi di ordine morfologico e sanitario (Calvo e D'Ambrosi, 1995; Falleri e Giannini, 2003). Il ciliegio può essere propagato per via vegetativa (micropropagazione), ciò ha consentito di individuare alcuni cloni con pregevoli caratteri tecnologici e di accrescimento ed in fase di selezione (Ducci e Santi, 1997; Ducci et al., 2005). Logiurato et al., (1997) hanno osservato in alcuni cloni veneti e marchigiani differenti comportamenti nei riguardi della vulnerabilità all'embolia xilematica.

26.2.4. Esigenze climatiche

Specie assai esigente di luce. Il ciliegio preferisce stazioni con precipitazioni medie annue di 800-1.600 mm, di cui 100-150 mm durante il periodo estivo, non tollera periodi di siccità estiva superiori ai 2 mesi; la resistenza alla siccità è superiore a quella dell'acero montano e del frassino maggiore e paragonabile a

quella della rovere. Vegeta in stazioni con temperatura media annua compresa tra 8° e 15°C, è in grado di resistere alle basse temperature (fino a -20/25°C).

Può essere coltivato in un'ampia fascia compresa tra la sottozona fredda del *Lauretum* e la sottozona calda del *Fagetum* secondo la classificazione fitoclimatica di Pavari.

26.2.5. Tecniche colturali

Impianto

Sono stati individuati i seguenti moduli colturali (Mercurio e Minotta, 2000).

Impianti puri

La distanza d'impianto varia da 4x4 a 6x6 m (da 625 a 278 piante ad ettaro) se si usano i semenzali normalmente commercializzati (AA.VV., 1996). Mentre si può scendere a densità iniziali più basse (esempio 204 piante ad ettaro, 7x7m) se si può disporre di cloni selezionati (Ducci et al., 1990). La coltura in purezza non dovrebbe essere praticata su vaste superfici (non oltre 5 ettari), soprattutto se si utilizza materiale di origine clonale. In quest'ultimo caso possono essere realizzati impianti policlonali (impianti a mosaico di cloni diversi) per aumentare la variabilità genetica e innalzare la resilienza del popolamento (Ducci e Santi, 1997).

Impianti misti

Sia per piede d'albero che per gruppi (a mosaico). La consociazione si può effettuare ad esempio con noce comune, rovere, sorbo domestico, ciavardello, ontano napoletano (quale specie azotofissatrice). Negli impianti misti per piede d'albero si possono prevedere densità di 150-200 piante ad ettaro (specie principale a 8x8 o 7x7 m); con distanza della specie di accompagnamento da quella principale di 3,5-4 m.

Impianti in filari

Le piante possono essere messe a dimora alla distanza di 6-7 m l'una dall'altra. Utili sono le protezioni individuali (*shelters*, reti) per salvaguardare le piantine dai danni arrecati dagli animali e dalle lavorazioni meccanizzate. Esperienze condotte in Calabria, da Andiloro et al., (2000), mostrano dopo 4 anni dall'impianto, che gli *shelters* alti 120 cm causano fusti con forte squilibrio ipsodiametrico per cui gli Autori raccomandano l'uso di protezioni a rete anche se le piante mostrano un minore sviluppo in altezza. Dupraz e Bergez (1999) hanno dimostrato che negli *shelters* non ventilati i ridotti tassi di fotosintesi sono dovuti alle alte temperature e alla scarsa energia radiativa all'interno delle protezioni.

La pacciamatura, e in particolare quella con film plastici, va eseguita solo in presenza di terreni ben drenati per evitare fenomeni di asfissia radicale. Minotta et al., (1997) hanno messo in evidenza un effetto sfavorevole dell'inerbimento sull'accrescimento del ciliegio e in maggior misura quando nel cotico erbaceo prevalgono le graminacee. Le irrigazioni sono indispensabili nei primi 2-3 anni in concomitanza di lunghi periodi siccitosi. Devono essere eseguite 2-3 irrigazioni di soccorso nel periodo luglio-settembre. Esperienze con irrigazione a goccia condotte in Francia da Belvaux e Tron (1996) hanno accertato, dopo i primi 3 anni, effetti positivi sull'accrescimento utilizzando gocciolatori da 4 L per ora per pianta con due irrigazioni per settimana di 3 ore ciascuna rispetto a gocciolatori di 2 L per ora. Per le aree collinari-montane della Sardegna, Dettori et al., (1997) ritengono necessario un apporto idrico di 60-120 mm da maggio a settembre per i primi 5 anni.

Manutenzione e coltivazione

Nei primi 3-5 anni dalla piantagione è preferibile eseguire lavorazioni del suolo localizzate intorno alle singole piante (le quali possono essere sostituite da un diserbo chimico), evitando l'accostamento al tronco dei mezzi meccanici, poiché l'apparato radicale e il fusto sono sensibili alle ferite; negli interfilari invece le lavorazioni del terreno possono essere attuate con attrezzature meccaniche.

Le potature di formazione devono eseguirsi già dal 2° anno dalla piantagione, asportando i rami eccessivamente sviluppati, quelli danneggiati e le doppie punte (Boulet-Gercourt, 1997). I tagli dovrebbero interessare i rami di piccole dimensioni (2-4 cm di diametro). In seguito, a partire dal 4° anno, si inizieranno le potature di produzione, cercando di innalzare progressivamente la chioma, fino a 4-6 m. Quest'ultima operazione viene di solito limitata alle piante che raggiungeranno la fine del ciclo produttivo. Baldini et al., (1997) hanno riscontrato una velocità di cicatrizzazione maggiore impiegando il seghetto manuale rispetto a vari tipi di cesoie. L'altezza di potatura non dovrebbe superare il 40% della lunghezza totale del fusto. Circa l'epoca ottimale di potatura, tradizionalmente veniva indicato l'autunno o la fine dell'inverno, ma le ricerche di Fournier (1989) indicano la possibilità di operare anche nei periodi di attività vegetativa, alla fine della seconda fase di accrescimento (fine luglio), per limitare l'emissione di germogli e permettere la cicatrizzazione delle ferite entro l'anno. Calvo et al., (2001) ritengono che, per l'Italia settentrionale, il periodo migliore va dal 15 luglio al 7 agosto. Per Montero al., (2003) le potature estive sono obbligate in quanto quelle invernali favoriscono il cancro batterico. Il criterio generale da seguire, per una corretta esecuzione della potatura, sarà quello della moderazione e della gradualità degli interventi, al fine di mantenere un armonico equilibrio tra la parte epigea e quella ipogea (Mercurio e Tocci, 1982). La necessità di prevenire patologie, quali la gommosi, e la particolare conformazione della chioma con

distribuzione delle ramificazioni in “falsi verticilli” (rami inseriti nel fusto allo stesso livello), rendono però difficoltoso rispettare i criteri generali di potatura. I “falsi verticilli” vanno eliminati rapidamente in due passaggi successivi, quando i rami sono ancora piccoli. Negli impianti puri la potatura risulta più impegnativa rispetto agli impianti misti per piede d'albero dove le specie di accompagnamento, poste ad una distanza ravvicinata, limitano l'accrescimento diametrico dei rami.

Nelle piantagioni pure effettuate a densità relativamente elevata, i diradamenti rappresentano una pratica indispensabile poiché il ciliegio è specie ad accrescimento rapido in gioventù, esigente di luce e che mal sopporta la concorrenza. Sono necessari interventi precoci, selettivi, moderati e gradualmente (ogni 5-7 anni), in modo da lasciare completamente libere le chiome e favorire un accrescimento in diametro sostenuto e regolare. Il ciclo colturale dovrebbe concludersi prima dei 50-60 anni, tenuto conto della scarsa longevità della specie. In pratica, secondo la fertilità stagionale e della tecnica colturale, si prospettano cicli variabili da 25 a 40 anni.

26.2.6. Patologie

Il ciliegio è spesso interessato dai marciumi radicali provocati da *Rosellinia necatrix* (Hart.) Berl., da *Phytophthora* sp. e da *Armillaria mellea* (Vahl. Fries) Kummer che causano un indebolimento generale, vegetazione stentata, clorosi ed appassimento progressivo delle foglie ed infine la morte della pianta (Santini e Turchetti, 2005). Le malattie specifiche più importanti sono l'agente della gommosi (*Sporocadus carpophilus* -Lev.- V. Arx.=*Coryneum beijerinckii* Oud.) e soprattutto la cilindrosporiosi (*Cylindrosporium padi* -Lib.- Karst), mentre la moniliosi e la batteriosi sembrano meno temibili (Motta et al., 1997; Anselmi, 2001).

In maniera più sporadica possono verificarsi attacchi di insetti xilofagi che però causano gravi alterazioni al fusto: il *Cossus cossus* L., la *Zeuzera pyrina* L. (perdilegno rosso e giallo) e il *Capnodis tenebrionis* L.. Assai diffuso è anche l'afide nero (*Myzus cerasi* F.), responsabile di danni alle foglie e ai germogli (Francardi e Roversi, 1997; 2005). Il ciliegio può subire intense defogliazioni da parte di vari insetti (Limantria, Euprotide, Infanzia, ecc.).

26.3. Attitudine delle terre alla coltivazione del noce e del ciliegio

26.3.1. *Gli ambiti geografici prevalenti*

La diffusione di impianti di arboricoltura con queste specie sul territorio nazionale va riferita ad ambiti geografici diversi e da conseguenti caratteristiche morfo-pedologiche ben distinte. Si possono in pratica distinguere: (a) ambiti geografici di pianura e di fondovalle alluvionale; (b) ambiti geografici collinari.

Per ognuno di questi ambienti il set di caratteri interni (del suolo) ed esterni (morfologico-geografici e climatici della stazione) locali assumono diversa importanza quali fattori eventualmente limitanti la crescita culturale. Per questo spesso negli schemi di valutazione si preferisce parlare di “limitazioni” piuttosto che di attitudine, in quanto gli studi fino ad ora condotti hanno messo in evidenza i primi rispetto ad una vera e propria identificazione dei caratteri che possono “favorire” la crescita. La corrispondenza inversa tra fattori “limitanti” e massima attitudine, infatti, non è sempre verificata, in quanto l’assenza di impedimenti non identifica delle situazioni univoche in quanto a disponibilità di acqua e di nutrienti durante i cicli stagionali.

26.3.2. *Ambiti geografici di pianura e fondovalle alluvionale e/o lacustre*

Tali ambiti sono caratterizzati da suoli evoluti su depositi alluvionali/fluviali a diverso grado di energia, in zone pianeggianti e, nel caso dei fondovalle interni e delle conche lacustri, con un assetto topografico predisponente per forti interferenze climatiche locali (nebbie e/o gelate).

I caratteri esterni stazionali legati a questo tipo di ambienti sono la presenza di aree esondabili e/o di aree con forte erosione laminare. I caratteri funzionali interni dei suoli importanti legati a questo tipo di ambienti sono: le tessiture estremamente fini o grossolane (argillose e/o sabbiose), la pietrosità superficiale e lo scheletro, la presenza di argilla espandibile (vertisuoli), la presenza di orizzonti organici (histici), la presenza di falda durante l’anno (pedoclima acquico). I caratteri chimici (in particolare pH e calcare attivo) sono spesso fortemente relazionati e condizionati dai fattori fisico-idrologici e mineralogici sopraccitati.

26.3.3. *Ambiti geografici collinari*

Tali ambiti sono caratterizzati da suoli evoluti su depositi incoerenti di origine marina e/o fluviolacustre e/o fluvioglaciale e/o vulcanica del Miocene, Plio-Pleistocene e Quaternario-Olocene, nonché, in maniera secondaria, sulle formazioni litoidi collinari sia silicee che calcaree o intermedie, quali le torbiditi (Flysch), o marne calcaree e calcareo-argillose, e calcari di varia origine, massivi o stratificati. I caratteri funzionali stazionali morfo-geografici che contrassegnano questi ambienti sono la presenza di fenomeni di erosione sia laminare che incanalata da moderata a forte (ad esempio, aree calanchive), da fenomeni di massa (frane superficiali o *soil-slips*), da interferenze climatiche locali legate alla quota o ai venti dominanti in vicinanza delle creste dei rilievi, da rocciosità affiorante (solo sulle formazioni litoidi). Per quanto riguarda i caratteri interni, le tessiture estremamente fini o grossolane (argillose e/o sabbiose), la pietrosità superficiale e lo scheletro, la presenza di limitazioni radicali dovute ad orizzonti induriti o impenetrabili, la presenza di argille espandibili (vertisuoli), il regime idrico marcatamente xerico (lunghi periodi di *deficit* idrico durante il periodo estivo).

26.3.4. *I fattori funzionali*

Noce

Il noce è una specie con apparato radicale fittonante tanto che la profondità raggiunta dalle radici è sovente limitata da sfavorevoli caratteristiche del suolo, come la scarsa profondità, la presenza di orizzonti induriti e l'insufficiente grado di aerazione. Mal sopporta i ristagni idrici prolungati (Mappelli, 1995). È da tenere presente che una falda superficiale può causare una colorazione scura del legno che deprezza gli assortimenti. Le radici non si sviluppano nella zona del terreno interessata dalla falda per la mancanza di una sufficiente aerazione (Ramos, 1985), per cui anche in terreni profondi il livello della falda freatica condiziona le possibilità di estensione dell'apparato radicale e quindi dell'assimilazione di elementi nutritivi e di acqua. Il livello della falda dovrebbe situarsi oltre 1-1,5 m di profondità, in ogni caso i terreni con forti oscillazioni della falda sono da evitare.

I suoli più adatti al noce sono quelli più in generale definiti “franchi”, o comunque nelle tessiture medie (franca, franco limosa, limosa, franco argillosa). Si tratta di suoli aventi un contenuto in argilla inferiore al 25%, dal 30 al 50% di limo e dal 30 al 50% di sabbia. Un certo contenuto di argilla è importante per la ritenzione idrica, Frattegiani et al., (1996) hanno rilevato una correlazione positiva tra incremento di area basimetrica e contenuto di argilla compreso tra il 5 e il 35%. Una percentuale di argilla molto elevata determina però difficoltà nel drenaggio e limitazioni nell'aerazione del suolo, perciò, tanto

maggiori sono le precipitazioni, tanto meno un elevato contenuto di argilla può essere tollerato dal noce. Per contro i suoli marcatamente sabbiosi o ad elevata percentuale di sabbia grossolana, pur non avendo problemi di aerazione, sono caratterizzati dall'aver un drenaggio troppo rapido e uno scarso contenuto in elementi nutritivi. Se l'insufficiente potere di trattenuta dell'acqua non è compensato da un clima piuttosto piovoso o da frequenti irrigazioni, l'accrescimento del noce viene fortemente compromesso. Condizioni ottimali si hanno, secondo Becquey (1997), laddove il pH è compreso tra 6,5 e 7,5. Le piantagioni in suoli con pH superiori a 8-8,5 dovrebbero essere evitate in quanto si possono manifestare sintomi di clorosi ferrica.

Condizioni sfavorevoli si sono riscontrate in Francia in suoli mal strutturati, compatti, idromorfi (fenomeni di pseudogley, corrispondenti alle stagnic e gleyic properties secondo WRB, IUSS 2006) e suoli superficiali su rocce calcaree (rendzina, Bequey, 1991), con scarse riserve idriche (Renzic Leptosols secondo WRB 2006).

Ciliegio

Il ciliegio è specie relativamente plastica. Deleporte (1977) e Nicot (1983) non escludono l'esistenza di ecotipi differenziati soprattutto in relazione alle caratteristiche chimiche del substrato.

Si trova su substrati arenacei, granitici, calcarei, argillosi. Il calcare attivo nel profilo del suolo, anche se non rappresenta un ostacolo alla vegetazione del ciliegio, costituisce però un fattore limitante della crescita (Bosshardt, 1985), in ogni caso non dovrebbe superare il 7%. Nei suoli bruni calcarei, bruni calcici, suoli bruni più o meno lisciviati, ma non troppo acidi, il ciliegio trova condizioni soddisfacenti anche se si verificano periodi con *deficit* idrico (Lanier, 1986) per contro, se sono poco profondi, non si ottengono buoni prodotti legnosi (Masset, 1979). Secondo Franc et al., (1992) il ciliegio si adatta a suoli con alta componente argillosa, al riguardo non mancano esempi di buone piantagioni in ambiente mediterraneo (Mercurio et al., 2003) su suoli argillosi anche se migliorati con apposite lavorazioni. Masset (1979) fa però notare che in suoli compatti si può verificare nel legno il difetto della "venatura verde". Indubbiamente le migliori condizioni si hanno in suoli a tessitura sabbioso-limosa, sabbioso-argillosa, profondi, ben strutturati, con buon rifornimento idrico, areati, neutri o leggermente acidi (Schoy, 1989; Loewe et al., 2001). Secondo Crave (1989) buoni accrescimenti si possono ottenere anche su materiali sabbiosi con pH intorno a 4.5. Per Montero et al., (2003) le migliori condizioni si hanno con pH compreso tra 4,5 e 6 (7,5).

26.3.5. Gli schemi di valutazione basati sui caratteri funzionali dei suoli e geografico-topografici

Poiché l'attitudine delle terre e dei suoli alla crescita del noce e del ciliegio è fortemente relazionato alla situazione locale sia di ambito geografico prevalente che di tipologia di suoli e di limitazioni connesse, sulla base degli studi effettuati sul territorio nazionale è molto difficile, se non impossibile, formulare un unico schema di valutazione valido per tutto il territorio nazionale. Inoltre, in molti casi, lo studio delle relazioni tra la crescita colturale e le caratteristiche delle terre e dei suoli è stato effettuato in maniera congiunta per entrambe le specie, in modo tale da unificare i parametri funzionali degli schemi e le relative soglie limitanti, o perlomeno di avere poche differenze in termini dei valori-soglia o delle classi-soglia considerate. Per tali motivi vengono riportati, nel paragrafo a seguire, gli schemi elaborati all'interno delle principali esperienze effettuate a livello locale in Italia.

26.3.6. Esperienze in regione Emilia Romagna: limitazioni pedologiche alla crescita di noce e ciliegio da legno¹

Premessa

Negli ultimi decenni in Emilia Romagna, utilizzando i finanziamenti pubblici (ad esempio, Reg. CEE n. 2080/92) sono stati realizzati impianti di latifoglie che hanno interessato una superficie di circa 5.000-6.000 ettari, almeno la metà dei quali con specie pregiate e con finalità produttive. A partire dal 1994, in funzione della consapevolezza che per avere risultati soddisfacenti gli impianti di arboricoltura da legno, oltre ad essere gestiti con le necessarie tecniche colturali, devono essere realizzati in terreni ottimali, si sono effettuate alcune esperienze volte a utilizzare le carte dei suoli per approfondire le conoscenze sulle esigenze edafiche delle specie forestali (Regione Emilia Romagna et al., 1995; 1996; 1998; 2002; 2002b). Il metodo di lavoro adottato si è basato sul coinvolgimento di esperti in arboricoltura da legno e sulla definizione di schemi di valutazione che correlano le esigenze edafiche delle piante con le classi potenziali di crescita (vedi figura 1 in coda al testo).

Gli schemi di valutazione

Gli schemi di valutazione prendono in esame i caratteri del suolo in grado di condizionare direttamente la crescita delle piante e non considerano i caratteri climatici e quei caratteri (in genere esterni al suolo) che possono influenzare le

¹ A cura di: Carla Scotti - I.TER soc.coop, Bologna; Gianfranco Minotta - Università degli Studi di Torino, Dip. Agroselviter.

pratiche gestionali e i rischi di degradazione del suolo e dell'ambiente; inoltre non tengono conto dell'interazione tra i caratteri stessi. Essi costituiscono una sintesi descrittiva delle esigenze edafiche delle piante e rappresentano uno strumento metodologico "trasparente" e "condivisibile" per la produzione di Carte applicative derivate dalle Carte dei suoli.

In Emilia Romagna sono stati realizzati gli schemi di valutazione per le principali specie forestali utilizzabili in Regione sia per l'arboricoltura da legno che per la costituzione di boschi permanenti e sono consultabili in www.gias.net presso "Guida al catalogo dei suoli della pianura emiliano romagnola".

Gli schemi di valutazione sono stati realizzati da un gruppo di lavoro formato da tecnici e specialisti che operano nel territorio regionale; per la definizione di tali schemi si è fatto riferimento alle esperienze maturate in ambito regionale nel settore forestale e ad indicazioni desunte da bibliografia sia italiana che straniera. Il gruppo di lavoro interdisciplinare che ha partecipato alla realizzazione degli schemi di valutazione è composto da: esperti pedologi (ITER, RER), esperti agronomi (RER), esperti forestali (RER) e di arboricoltura (Università di Torino e Bologna, Istituto Sperimentale di Pioppicoltura - CRA), tecnici dei Servizi Provinciali e dei Consorzi di Bonifica. A questo riguardo, si deve premettere che nel territorio della pianura emiliano-romagnola gli impianti di arboricoltura da legno con specie di pregio che hanno completato il ciclo produttivo, ed i rimboschimenti che hanno raggiunto l'età adulta, sono ancora assai pochi. Tra l'altro, sono scarse anche le sperimentazioni sulla risposta delle specie forestali ai diversi caratteri del suolo, quali ad esempio la salinità, il calcare attivo, il pH, il ristagno idrico, condotte in ambito regionale. In relazione a ciò per le valutazioni in oggetto si è fatto riferimento alla letteratura nazionale ed estera sull'argomento, la quale si riferisce ad ambienti relativamente diversi da quello della Pianura Padana. Inoltre, piante della stessa specie possono mostrare adattamenti diversi ai caratteri del suolo in relazione alle caratteristiche genetiche (provenienze, razze, cloni, ecc.) e, per molte specie, le conoscenze a riguardo sono ancora poche.

Ad integrazione e a parziale verifica delle informazioni bibliografiche raccolte sono stati perciò visitati, nel corso di vari anni e all'interno dei vari progetti precedentemente citati, alcuni impianti nei quali è stato descritto il profilo di suolo. Questi impianti arborei da legno sono stati individuati utilizzando i primi risultati del "Censimento Impianti Arborei non fruttiferi (esclusi i pioppeti)" realizzato dal Dipartimento Coltivazioni Arboree dell'Università di Bologna su commissione del Servizio Parchi e Foreste della Regione Emilia Romagna, le informazioni della Carta dei suoli del territorio regionale di pianura in scala 1:50.000 e la carta dei suoli regionale in scala 1:250.000 del Servizio Geologico, Sismico e dei Suoli della Regione Emilia Romagna, la caratterizzazione pedologica di 10 impianti del Consorzio di Bonifica Reno Palata (Regione Emilia-Romagna et al., 1998), la

caratterizzazione dei 30 impianti distribuiti nel territorio di pianura e collina della regione (Regione Emilia Romagna et al., 2002b).

I valori soglia utilizzati in tali schemi sono quindi stati “tarati” dal gruppo di lavoro nel corso degli incontri in aula e in campo, e vanno considerati come “valori guida” da utilizzare per individuare la presenza di eventuali limitazioni alla crescita delle specie forestali. Si sottolinea quindi che tali schemi sono suscettibili di successivi miglioramenti e approfondimenti anche su base locale, per evidenziare quelle caratteristiche pedologiche in grado di condizionare in maniera significativa la crescita delle specie arboree da legno. Va infine puntualizzato che il buon esito degli impianti, anche nei casi in cui le specie risultino molto adatte al tipo di suolo, è comunque legato alla corretta applicazione delle opportune tecniche agronomiche (preparazione del terreno, controllo della flora infestante, potature, ecc.).

Le caratteristiche pedologiche considerate negli schemi di valutazione sono state la tessitura, la profondità utile, la disponibilità di ossigeno, la reazione (pH), il calcare attivo, la salinità ed il rischio d'inondazione. Per ciascuna di queste caratteristiche pedologiche viene indicato il grado di importanza che esprime sinteticamente il peso della caratteristica nell'influire sulla crescita della specie forestale in considerazione (all'aumentare dell'influenza del carattere aumentano i simboli “*”).

Per valutare il grado d'intensità delle limitazioni delle singole caratteristiche pedologiche si sono considerate le seguenti profondità:

- 100 cm per la tessitura considerando però solo le classi tessiturali che caratterizzano orizzonti con spessore di almeno 50 cm ad eccezione della classe tessiturale sabbiosa per la quale è sufficiente uno spessore di almeno 30 cm;
- 60 cm per reazione (pH);
- 60 cm per il calcare attivo;
- 120 cm per la salinità per tutte le specie forestali ad eccezione per i pioppi (cloni) per i quali si considerano i primi 80 cm.

Gli schemi di valutazione (tabelle 26.1 e 26.2) comprendono tre classi d'intensità delle limitazioni e si riferiscono a suoli gestiti secondo criteri agronomici sostenibili, attraverso la seguente interpretazione:

- *limitazioni assenti o lievi*: suoli che non presentano alcuna limitazione o che si prestano ad ospitare la specie da legno favorendo l'espressione della piena potenzialità produttiva quali-quantitativa; i suoli possono essere coltivati con tecniche ordinarie e non richiedono interventi specifici atti a migliorare la naturale potenzialità dei suoli;
- *limitazioni moderate*: i suoli presentano alcuni fattori di limitazione che richiedono interventi agronomici di correzione al fine di recuperare la piena potenzialità quali-quantitativa che la specie da legno può esprimere;
- *limitazioni severe*: i suoli presentano fattori severamente limitanti l'arboricoltura da legno; eventuali interventi agronomici correttivi possono

essere troppo onerosi oppure non sufficienti a recuperare la piena potenzialità quali-quantitative della specie da legno.

Tabella 26.1. Schema di valutazione delle limitazioni pedologiche alla crescita del ciliegio da legno.

Caratteristiche pedologiche	Grado d'importanza	Intensità delle limitazioni		
		Assenti o lievi	Moderate	Severe
Quota (m s.l.m.)	**	-	-	> 800
Pendenza (%)	***	< 15	15-30	> 30
Tessitura	**	media, moderatamente grossolana, moderatamente fine	-	grossolana, fine,
Profondità utile alle radici (cm)	***	> 100	50-100	< 50
Disponibilità d'ossigeno	***	buona		moderata, imperfetta, scarsa, molto scarsa
Reazione (pH)	*	6,5 - 8,5	5,4-6,4	< 5,4; > 8,5
Salinità (EC5 dS m ⁻¹)	***	< 0,4	0,4-0,8	> 0,8
Calcare attivo	*	< 7	7-12	> 12
Rischio d'inondazione (inondabilità)	***	assente, lieve	moderato	alto
Rischio d'inondazione (durata)	***	< 48 h	2 - 7 giorni	> 7 giorni

Tabella 26.2. Schema di valutazione delle limitazioni pedologiche alla crescita del noce da legno.

Caratteristiche pedologiche	Grado d'importanza	Intensità delle limitazioni		
		Assenti o lievi	Moderate	Severe
Quota (m s.l.m.)	**	< 400	400-700-	> 700
Pendenza (%)	***	< 15	15-30	> 30
Tessitura	**	media, moderatamente grossolana, moderatamente fine	-	grossolana, fine,
Profondità utile alle radici (cm)	***	> 100	50-100	< 50
Disponibilità d'ossigeno	***	buona		moderata, imperfetta, scarsa, molto scarsa
Reazione (pH)	*	5,5-8,2	4,5-5,5	< 4,5 e > 8,2
Salinità (EC5 dS m ⁻¹)	***	< 0,4	0,4-0,8	> 0,8
Calcare attivo	*	< 7	7-12	> 12
Rischio d'inondazione (inondabilità)	***	assente, lieve, moderato	-	alto
Rischio d'inondazione (durata)	***	< 48 h	2 - 7 giorni	> 7 giorni

Vengono di seguito riportati le principali considerazioni riguardanti i singoli caratteri del suolo e la loro potenziale influenza sulla crescita delle piante.

- Quota; grado di importanza **; si tratta di indicazioni orientative da valutare in funzione anche di altri caratteri stazionali come ad esempio l'esposizione del versante in cui viene realizzato l'impianto.
- Pendenza; grado di importanza ***; la pendenza oltre a condizionare le difficoltà di lavorazione e di impianto favorisce eventuali processi erosivi; in presenza di pendenza del versante è necessario attivare opportune lavorazioni e sistemazioni e favorire una corretta regimazione delle acque tramite opportuni fossi di scolo.
- Tessitura; grado di importanza ** ; la tessitura sicuramente influenza la crescita di noce e ciliegio; in alcuni casi corrette pratiche colturali come l'idonea scelta delle condizioni di umidità in cui lavorare il suolo possono mitigare, ad esempio nei suoli argillosi, gli effetti limitanti. Si è deciso di considerare la tessitura fino a 100 cm in quanto per l'ottimale crescita delle specie forestali è fondamentale un buon approfondimento radicale. Si è concordato che i netti cambi tessiturali limitano l'approfondimento radicale in quanto le radici rimangono nella parte maggiormente fertile (a meno che sotto la sabbia non ci sia approvvigionamento idrico) e portano alla valutazione della profondità utile alle radici a 60-70 cm che determina una valutazione complessiva di moderate limitazioni alla crescita del noce e del ciliegio da legno.
- Profondità utile; grado di importanza ***; il grado di importanza è elevato considerando che per l'ottimale crescita delle specie forestali è fondamentale un buon approfondimento radicale che deve essere in equilibrio con la crescita della parte aerea delle piante.
- Disponibilità di ossigeno; grado di importanza ***; questo è uno dei fattori più importanti nella valutazione delle limitazioni alla crescita delle piante; l'eventuale presenza di problematiche legate alla disponibilità di ossigeno, possono essere migliorate con opportune lavorazioni come ripuntature lavorazioni a doppio strato e favorendo una corretta regimazione delle acque tramite baulature e opportuni fossi di scolo.
- Reazione (pH); grado di importanza *; in Emilia Romagna tipicamente i suoli agricoli hanno pH variabile tra 7,8 e 8,2, valori che nelle bibliografie vengono tipicamente ritenuti moderatamente limitanti. Il gruppo di lavoro ha tenuto conto delle caratteristiche locali di pH nella definizione dei valori soglia utilizzati negli schemi di valutazione.
- Calcare attivo; grado di importanza **; non ci sono dati sperimentali locali sull'effettiva influenza del calcare attivo sulla crescita di noce e ciliegio da legno e nella definizione dei valori soglia si è fatto riferimento alla bibliografia.

- Salinità; grado di importanza ***; considerando che in suoli con problemi di salinità non crescono naturalmente specie forestali, si è stabilito un grado d'importanza massimo.
- Rischio d'inondazione; grado di importanza ***; negli schemi di valutazione vengono forniti a titolo indicativo gli intervalli di durata del rischio d'inondazione corrispondenti alle diverse intensità di limitazione, ma è necessario sottolineare che questo carattere non è descritto per ciascun suolo in quanto non è attualmente possibile darne una definizione complessiva, a causa sia della variabilità della topografia locale che delle scarse informazioni disponibili. Per questo motivo per stimare questo carattere sono necessarie indagini puntuali.

Negli schemi di valutazione il parametro “*deficit* idrico” non è stato considerato in maniera specifica in quanto l'attribuzione è complessa; inoltre questo parametro è in parte legato ad altri caratteri del suolo quali: tessitura e profondità utile.

Ambiti di pianura e collinare-montano

Tra la pianura e la collina e montagna esistono indubbiamente delle differenze ambientali che influenzano anche la crescita del noce e del ciliegio da legno. Dalle indagini realizzate in Emilia Romagna sono emersi incrementi diametrici tendenzialmente più elevati in pianura rispetto alla collina sia per il noce che per il ciliegio, con una maggiore accentuazione di questo fenomeno nel caso della prima specie rispetto alla seconda. Questo conferma la pianura quale ambiente più favorevole all'espressione delle potenzialità produttive delle latifoglie considerate, che si avvantaggiano sensibilmente dei suoli profondi tipici della pianura alluvionale. Una caratteristica dei suoli di pianura è inoltre la presenza o meno di falda ipodermica, vale a dire della falda sospesa che può essere presente entro i due o tre metri di profondità. I suoli profondi, di tessitura media, con assenza di problemi di ristagno d'acqua entro 90 cm e che presentano una falda ipodermica oscillante tra i 100-130 cm sono in grado di favorire un approvvigionamento idrico utile alla crescita di noce e ciliegio da legno.

Nelle zone collinari e montane l'attività agricola incontra maggiore difficoltà rispetto alle aree di pianura e tra l'altro non di rado le piantagioni di arboricoltura da legno vengono impiantate in terreni lontani dal centro aziendale e dunque raggiungibili con difficoltà, rendendo difficoltosa l'esecuzione di interventi colturali tempestivi, con conseguenti ripercussioni sullo sviluppo delle piante. In collina e montagna oltre la pendenza e la quota i fattori limitanti la crescita di noce e ciliegio sono causati dalla profondità utile alle radici che può essere ostacolata dalla presenza di strati rocciosi che oltre ad impedire l'approfondimento radicale non favoriscono la capacità dei suoli a trattenere acqua con conseguente rischio di *deficit* idrico per le piante.

26.3.7. Esperienze in Italia Centrale: lo studio della Regione Abruzzo

L'esperienza realizzata per conto della Regione Abruzzo, ed in particolare del settore Foreste, è stata condotta da un gruppo di lavoro multidisciplinare costituito da esperti di arboricoltura e di suolo, sotto il coordinamento dell'Accademia di Scienze Forestali. L'obiettivo di questo studio è stato quello di mettere a punto una metodologia di indagine valida per il territorio abruzzese, tale da potere essere adottata dalla Amministrazione Regionale quale base per i criteri con cui gestire l'erogazione di futuri finanziamenti nel settore. In questo ambito è stata realizzata la cartografia dell'idoneità dei suoli all'arboricoltura da legno di qualità in due aree pilota a scala di semi-dettaglio, sulla base della quale sono state identificate le metodologie di lavoro per l'indagine a livello aziendale.

Le aree pilota

Le aree campione dove è stata effettuata l'indagine di semi-dettaglio sono state: 1) Comune di Castilenti (TE) rappresentativo della Fascia Periadriatica con rilievi collinari e sedimenti plio-pleistocenici sabbioso-limoso argillosi; 2) Comune di S. Demetrio né Vestini (AQ) rappresentativo delle conche intermontane con sedimenti colluvio-alluviali e di dissoluzione carsica. In queste aree sono stati caratterizzati da un punto di vista pedologico una serie di impianti sia di noce che di ciliegio, dove sono stati raccolti dati sperimentali quantitativi di tipo dendrometrico, relativi ad un arco temporale pluriennale (vedi figure 2 e 3 in coda al testo).

Risultati metodologici

Per la realizzazione della carta delle Unità di Terre, sono state individuate le aree idonee o non idonee all'arboricoltura da legno di qualità. In particolare le aree idonee sono state ricavate escludendo "a priori" le aree caratterizzate da pendenza > 35%, aree interessate da erosione idrica diffusa forte ed incanalata (*rill* e *gully erosion*), aree calanchive, aree di divagazione ordinaria dei corsi d'acqua, aree instabili soggette ad erosione di massa (frane, ecc.), soliflusso e *creeping*, aree con limitazioni pedologiche già conosciute (zone umide, falda superficiale elevata, aree con rocciosità superficiale, ecc.) (vedi figure 3 e 4 in coda al testo).

A livello aziendale, ossia a livello particellare, l'indagine pedologica di maggior dettaglio è finalizzata all'approfondimento della conoscenza delle caratteristiche funzionali dei suoli, per mettere in evidenza quei fattori limitanti non rilevati nelle analisi precedenti per motivi di scala e di dettaglio. Le caratteristiche del suolo e della stazione vengono descritte secondo le modalità previste nel "Manuale per il Rilevamento del Suolo" (Gardin et al., 2004).

Sono stati campionati almeno due orizzonti di suolo; in ogni caso, si è tenuto conto, in maniera prioritaria, della presenza di un orizzonte lavorato, degli orizzonti ponderalmente più significativi, di orizzonti condizionanti il drenaggio o limitanti la radicazione. Su tali campioni sono state effettuate le analisi chimico- fisiche ritenute indispensabili, quali tessitura, pH (H₂O 1:2,5), calcare totale, calcare attivo, contenuto in sostanza organica, secondo i “Metodi di Analisi Chimica del Suolo” (Mi.P.A.F., 2000).

Tabella 26.3. Schema di valutazione delle limitazioni pedologiche e morfologico/stazionali alla crescita del noce e ciliegio in Italia centrale (Regione Abruzzo) per impianti in aree marginali collinari ed in aree di fondovalle e terrazzate colluvie-alluvionali.

Caratteristiche morfologico-stazionali ed interne al suolo	Grado d'importanza	Intensità delle limitazioni		
		Assenti o lievi	Moderate	Severe
Distanza dal crinale	**	-	< 30 m	-
Pedoclima (regime idrico secondo ST-USDA)	*	Udico-Ustico	Xerico	Acquico
Profondità utile alle radici (cm)	***	> 100	70-100	< 70
Drenaggio interno	***	Ben drenato	piuttosto eccessivamente mal drenato	eccessivamente drenato, mal drenato, molto mal drenato
Falda permanente (in cm dal piano di campagna)	***	> 150	70-150	< 70
Classe tessiturale (USDA)	***	F, FS, FSA, FL, FLA, FA	S, SF, AS, AL, A*	A®, L
Pietrosità superficiale ©(%)	***	< 35%	35-50%	> 50
Percentuale di superficie con rocciosità affiorante o sotto il limite della definizione di litico (< 50 cm)	***	0	1-2	>2
Reazione (pH)	***	6,5-7,5	5-6,5; 7,5-8,5	< 5; > 8,5
Calcare attivo	**	< 7	7-10	> 10
Salinità (mS cm ⁻¹)	**	< 0,15	0,15 - 0,4	> 0,4
Rischio d'inondazione (inondabilità)	***	assente, lieve, moderato	-	alto
Rischio d'inondazione (durata)	***	< 48 h	2 - 7 giorni	> 7 giorni

* Con prevalenza di argille mineralogiche del gruppo delle illiti (1:1).® Caratteristiche vertiche (presenza di facce di scivolamento e fessure dinamiche > 1 cm e profonde più di 50 cm con apertura/chiusura stagionale) © Rappresentata da pietre comprese tra i 7,5 e 25 cm di diametro medio.

I parametri pedologici e topo-orografici di riferimento ritenuti più significativi che hanno consigliato di escludere in questa fase la possibilità di realizzare impianti di arboricoltura da legno di qualità sono stati messi a punto

attraverso una calibrazione sulla base delle caratteristiche pedologiche locali dei pedopaesaggi indagati. In tali aree è stata verificata la risposta colturale delle specie impiegate alle caratteristiche funzionali e qualitative del suolo considerate “limitanti” secondo le acquisizioni più recenti. Tale proposta rappresenta comunque una delimitazione che non entra nel merito di definire in dettaglio i *range* delle caratteristiche ottimali per le varie specie. La tabella 26.3 è quindi da considerare come indicativa delle caratteristiche limite per le specie prese in esame. I limiti hanno un valore di riferimento tenuto conto delle limitate conoscenze autoecologiche delle specie prese in esame. Sarà la verifica diretta che determinerà le scelte definitive.

26.3.8. Esperienze di cartografia attitudinale in Piemonte¹

Metodologia

La metodologia di studio del territorio più consona alla realizzazione della cartografia di attitudine in scala 1:50.000 deve essere tale da garantire la possibilità di recuperare ed estendere tutte le informazioni già esistenti. La metodologia utilizzata fa riferimento alla “Classificazione delle terre” degli Autori australiani (CSIRO), che prevede un rilevamento del territorio di tipo integrato.

Si tratta di un approccio metodologico interdisciplinare: nel concetto di “Terre” vengono fatti rientrare, oltre al suolo, i principali fattori ambientali che influenzano maggiormente la maglia territoriale e cioè la geomorfologia, la litologia, il clima, la vegetazione e le attività antropiche.

Raccolta e preparazione del materiale di base

In primo luogo è stata compiuta un’attenta ricerca bibliografica al fine di definire le esigenze pedo-ambientali del ciliegio selvatico spontaneo. Tra i diversi documenti consultati, preziose informazioni sulle esigenze ecologiche di questa specie sono state ottenute seguendo le specifiche forestali francesi (Buolet-Gercourt B., 1997) che definiscono precisamente quali caratteristiche devono avere i siti per ottenere produzioni di ciliegio da legno di qualità. Inoltre, un importantissimo contributo a questa indagine deriva da un lavoro precedentemente svolto dall’IPLA sul ciliegio selvatico (IPLA e Regione Piemonte, 1998) idoneo per la raccolta di materiale di propagazione da destinare alla “vivaistica forestale” che ha fornito informazioni sulle caratteristiche edafiche e morfologiche di numerosi siti dove sono presenti esemplari spontanei di ciliegio di particolare pregio.

¹ A cura di Mauro Piazzi- IPLA, Istituto per le piante da legno e l’ambiente, Settore Pedologia, Torino

Successivamente sono state scelte tre porzioni significative del territorio piemontese comprendenti un'area di pianura e due di collina ove sono concentrati i recenti impianti, in relazione alle quali si dispone di una cartografia pedologica (Ipla e Regione Piemonte, 1999; 2000a; 2000b). Da questi documenti sono state ricavate tutte le Unità cartografiche inerenti le aree di studio.

Redazione delle carte di attitudine delle terre e della legenda

Ogni Unità cartografica della carta dei suoli può contenere una o più tipologie pedologiche (Fasi della Serie). Nel caso in cui siano effettivamente presenti due o più tipologie pedologiche, per la valutazione dell'attitudine si è considerata solo la tipologia prevalente. L'incrocio tra le qualità del suolo prevalente e le caratteristiche morfologiche di ogni Unità con le tabelle di attitudine riportate nelle pagine seguenti, ha reso possibile far corrispondere ad ogni Unità cartografica una classe di attitudine dei suoli alla coltivazione del ciliegio.

La classificazione di attitudine fa riferimento allo schema della FAO (1976, 1981) che prevede cinque classi, più specificamente ai fini del presente lavoro sono state utilizzate le seguenti quattro:

- *molto adatta*: comprende le terre che non presentano importanti limitazioni per la coltivazione del ciliegio;
- *moderatamente adatta*: vi sono incluse quelle terre che nel loro insieme hanno limitazioni per la coltivazione di qualità del ciliegio. Le limitazioni riducono la produttività o i benefici di un impianto. Ad esempio, su suoli sabbiosi e ghiaiosi il ciliegio può svilupparsi, ma nelle annate più siccitose si possono avere stress idrici che determinano accrescimenti irregolari, responsabili della diminuzione della qualità del legname da lavoro. Ancora, nel caso di suoli con orizzonti compatti prossimi alla superficie, gli apparati radicali del ciliegio non si sviluppano in profondità con diverse conseguenze: in annate poco piovose gli orizzonti più superficiali si asciugheranno rapidamente causando problemi di approvvigionamento idrico per gli apparati radicali; viceversa, in annate molto piovose si verificheranno ristagni di umidità superficiale poiché gli orizzonti compatti non permettono un buon drenaggio dell'acqua verso gli strati profondi del suolo. Entrambe queste situazioni tendono ad indebolire i ciliegi aumentando considerevolmente le possibilità di attacchi di agenti patogeni;
- *poco adatta*: comprende le terre con limitazioni che nel loro insieme sono molto rilevanti per la coltivazione del ciliegio. Ad esempio, su terre con pendenze elevate si possono avere problemi di erosione dei suoli e di *deficit* idrico poiché le acque di pioggia scorrendo rapidamente lungo le pendenze possono erodere gli orizzonti più superficiali (soprattutto negli impianti per l'arboricoltura da legno dove il suolo non è protetto dalle chiome per lunghi periodi) e non hanno il tempo di percolare verso gli strati profondi del suolo dove andrebbero a creare un riserva idrica duratura. Inoltre le

operazioni di impianto, le cure colturali e infine il taglio non sono facilmente meccanizzabili e la resa del lavoro manuale è notevolmente ridotta a causa della morfologia accidentata;

- *attualmente non adatta*: si riferisce alle terre per le quali la coltivazione del ciliegio fortemente limitata o teoricamente possibile ma non economica. Ad esempio, i suoli con una falda molto superficiale possono essere bonificati con opere di drenaggio artificiale, ma per una coltura di questo tipo, dove i profitti sono previsti nel lungo periodo, non è economicamente conveniente eseguire tali operazioni. Le tre “Carte dell'attitudine delle terre alla coltivazione del ciliegio da legno” sono state redatte alla scala 1:50.000, l'estensione di ogni area cartografata è di circa 15.000 ha e corrisponde indicativamente ad una Tavola della C.T.R. 1:25.000 (vedi figura 6 in coda al testo).

Nella legenda di ogni cartografia si sono riportate le quattro classi di attitudine con le corrispondenti caratteristiche dei suoli che determinano il passaggio da una classe all'altra.

Esigenze pedo ambientali del ciliegio in Piemonte

Nonostante il ciliegio vegeti bene su un'ampia gamma di suoli e in diverse situazioni geomorfologiche, solo determinate caratteristiche edafiche ne consentono un buon accrescimento ed una sufficiente longevità.

La disponibilità di acqua è un fattore prioritario poiché il suolo deve restare fresco nella zona esplorata dalle radici durante l'intero periodo vegetativo. I caratteri pedologici che maggiormente condizionano tale disponibilità sono: la morfologia della stazione e la profondità del suolo.

La base dei versanti e spesso le aree pianeggianti sono solitamente le aree dove l'approvvigionamento idrico è garantito con maggiore sicurezza grazie all'apporto di acqua per scorrimento dalle altre superfici: è quindi possibile trovare pregevoli esemplari di ciliegio anche su suoli sabbiosi, con scarsa capacità di ritenuta idrica, ma situati nel fondo dei valloni. Per quanto concerne la profondità del suolo, più un suolo è profondo, più ha possibilità di immagazzinare acqua utilizzabile dagli apparati radicali. I suoli limosi profondi, ad esempio, sono particolarmente favorevoli al ciliegio, ma anche i suoli argillosi ben strutturati e senza orizzonti compatti, dove è permessa l'esplorazione delle radici e dove è garantito un drenaggio sufficiente, assicurano un buon approvvigionamento idrico. Per contro, suoli poco profondi con forte accumulo di carbonato di calcio sono la causa del deperimento delle piante e di accrescimenti molto modesti.

Gli eccessi di acqua, invece, possono creare seri problemi a questa specie: nella realizzazione di un impianto bisognerà quindi tenere conto della profondità della falda e della sua fluttuazione durante il periodo vegetativo. Nelle zone alluvionali, dove spesso si hanno problemi di idromorfia per falda superficiale, il ciliegio infatti cresce solo dove il suolo è sufficientemente

drenato e la falda è sempre più profonda di 30 cm. Nei suoli in cui è presente un orizzonte impermeabile, che permette la formazione di una falda superficiale autunno/invernale, la quale asciuga progressivamente in primavera e in estate, il ciliegio potrà comunque accrescersi a condizione che la saturazione risparmi i primi 40-50 cm di suolo.

In suoli con saturazione prossima alla superficie, si possono verificare i seguenti inconvenienti: possibilità di patologie, forte sensibilità al vento per scarso approfondimento radicale, mancanza di acqua nelle estati molto secche in quanto la falda abbassandosi, anche sensibilmente, si allontana dalle radici localizzate solo negli orizzonti superficiali, oltre a completa asfissia degli apparati radicali durante le annate particolarmente piovose per totale saturazione di tutti gli orizzonti del suolo.

Un altro fattore limitante per lo sviluppo del ciliegio è rappresentato dai suoli compattati dal costipamento con mezzi meccanici, in cui l'asfissia degli apparati radicali può manifestarsi anche senza un eccesso di acqua. In tale situazione gli scambi gassosi sono poco efficaci e l'acqua che percola molto lentamente è mal ossigenata. Di conseguenza bisognerà limitare le operazioni colturali sui suoli con una struttura fragile che possono compattarsi facilmente sotto il peso dei trattori e altri mezzi, evitando ogni attività in condizioni di suolo saturo.

Per quanto riguarda la reazione del suolo, questa specie non ha particolari esigenze, potendosi trovare validi esemplari di ciliegio sia in suoli molto acidi che in suoli fortemente calcarei, ma è tuttavia molto raro che questo avvenga quando il pH scende sotto 4,5. Un suolo troppo acido non permetterà quindi ad un impianto per arboricoltura da legno di avere buoni accrescimenti, anche qualora le condizioni idriche siano soddisfacenti. Per quanto riguarda il clima il ciliegio si adatta dalle zone planiziali, a quelle collinari e pedemontane, fino a 1.000 m s.l.m., non temendo particolarmente le gelate tardive o precoci né le nevicate pesanti. Apporti idrici inferiori ai 150 mm nel periodo giugno-agosto sono un possibile limite, in particolare se associati a suoli senza falda superficiale o con tessiture grossolane.

Viene riportato di seguito lo schema riassuntivo con i caratteri pedo-ambientali considerati significativi per l'attribuzione alle classi di attitudine (tabella 26.4).

Lo schema deve essere utilizzato considerando i caratteri pedo-ambientali di ogni Unità cartografica; tra essi viene individuato quello più limitante per la coltivazione del ciliegio. In base a quest'ultimo viene attribuita la corrispondente classe di attitudine. Esempio: un'Unità su versante a debole pendenza caratterizzata da suoli franco limosi, con profondità maggiore di 50 cm, con scheletro assente, pH superiore a 4,5, senza orizzonti compatti, ma con idromorfia tra 30 e 50 cm ha, per quest'ultima caratteristica, un'attitudine bassa nonostante tutte le altre porterebbero ad un'attitudine alta.

Tabella 26.4. Schema di valutazione attitudinale dei suoli e delle terre alla crescita del ciliegio per la Cartografia 1:50.000 della Regione Piemonte.

Caratteri	Attitudine delle terre			
	Molto adatta	Moderatamente adatta	Poco adatta	Attualmente non adatta
Tessitura ¹	F-FL-FLA-FS-FSA-FA	AL-L-AS-SF	S-A	
Profondità ²	> 50 cm	> 50 cm	< 50 cm	
Scheletro	da assente a comune (0-15%)	abbondante (16-35%) ma non in superficie	abbondante (16-35%) già in superficie	molto abbondante (> 35%)
Idromorfia	assenza	presente tra 50 e 100 cm di profondità	presente tra 50 e 30 cm di profondità	presente entro 30 cm di profondità
pH	> 4,5	> 4,5	< 4,5	
Orizzonti compatti	assenza	presenti tra 50 e 100 cm di profondità		
Morfologia	pianura, fondovalle, versante a debole pendenza (5-10°)	versante a pendenza media (11-20°)	versante a pendenza elevata (> 20°)	

¹ F franco, FL franco limoso, FLA franco limoso argilloso, FS franco sabbioso, FSA franco sabbioso argilloso, FA franco argilloso, AL argilloso limoso, L limoso, AS argilloso sabbioso, SF sabbioso franco, S sabbioso, A argilloso. ² Comprende le particelle con dimensioni > 2 mm presenti nel profilo.

26.3.9. Esperienze in Regione Lombardia¹

La pianificazione territoriale degli impianti di arboricoltura da legno: metodologia ed obiettivi a seconda dei diversi livelli di scala

L'ERSAF, attraverso diverse collaborazioni con Enti di ricerca italiani e stranieri, ha sviluppato un insieme di attività finalizzate alla valorizzazione delle essenze di pregio in ambiente agricolo e forestale. Tra le attività intraprese si colloca anche la realizzazione di una rete di impianti sperimentali e dimostrativi di arboricoltura da legno che, nata nei primi anni '90 in un contesto operativo e normativo antecedente l'introduzione delle misure comunitarie di sostegno all'agricoltura, si è poi allargata a comprendere le iniziative realizzate con i finanziamenti europei.

La rete regionale si è evoluta e ampliata nel tempo e raccoglie pertanto impianti di prima generazione, caratterizzati dalla semplicità dei modelli culturali e dalla loro collocazione in stazioni marginali ed in aree di pianura;

¹ A cura di Vanna Maria Sale, ERSAF – Dipartimento dei Servizi all'Agricoltura, Milano.

impianti di seconda generazione a moduli più sofisticati e ricchi, ubicati in aree di pianura con elevate qualità di fertilità; impianti di terza generazione con l'impiego di moduli ancora più complessi e l'introduzione di specie innovative, tra cui il Perastro ed il Ciavardello. Nei primi impianti realizzati sono stati effettuati i primi diradamenti, ed altri sono in fase di realizzazione in questi anni. In tutti gli impianti rientranti nella rete regionale di Arboricoltura da legno, l'Ersaf ha continuamente monitorato e rilevato l'attività.

La divulgazione dei risultati via via raggiunti, obiettivo verso il quale sono state orientate negli ultimi anni le risorse dell'Ente, assicura un cospicuo flusso di informazioni a disposizione di coloro che sono interessati all'argomento. Di questo impegno è testimone la pubblicazione di un manuale (A.R.F. e Regione Lombardia, 2001) contenente le norme tecniche consigliate per la progettazione e realizzazione degli impianti. Il manuale contiene precise indicazioni sulla caratterizzazione stazionale da effettuare e, fra le altre, sulla lettura ed interpretazione di carte pedologiche e di attitudine, cui è subordinata la valutazione sintetica del tipo di impiego possibile (selvicoltura, arboricoltura da legno o assenza di parametri idonei alla crescita della specie) per noce, ciliegio ed altre specie arboree in diversi pedoambienti della regione.

La metodologia proposta dal manuale per valutare l'attitudine dei suoli all'arboricoltura da legno è basata sull'assegnazione di un punteggio direttamente proporzionale all'intensità delle limitazioni presenti, per i parametri pedologici o stazionali potenzialmente condizionanti l'accrescimento arboreo, secondo lo schema di tabella 26.5. Il punteggio complessivo (somma dei punteggi dei singoli parametri) determina la classe di attitudine, migliore quanto minore è il punteggio ottenuto.

Il modello prevede cinque classi di attitudine. Le prime tre classi (punteggio ≤ 70) sono adatte all'arboricoltura con limitazioni da nulle a forti; le classi 1 e 2 sono adatte a tutte le specie, mentre la classe 3 lo è solo alle specie adattate alle limitazioni presenti. Le altre due classi (punteggio > 70) sono complessivamente non adatte all'arboricoltura; la classe 4 presenta limitazioni così forti da pregiudicare la crescita adeguata di tutte le specie, a meno di consistenti interventi correttivi; la classe 5 è permanentemente non adatta. La valutazione del rischio di *deficit* idrico (tabella 26.6), sulla base di fattori climatici (piovosità annua e del periodo di crescita, temperatura annua, evapotraspirazione), permette di definire le regioni climatiche.

L'intersezione tra le classi di attitudine dei suoli e queste ultime determina, per confronto con le esigenze ecologiche delle specie considerate, le unità attitudinali o colturali. La metodologia descritta è quella usata dai tecnici forestali all'atto della scelta e realizzazione dei siti d'impianto; laddove necessario le informazioni delle carte dei suoli sono state integrate con rilevamenti, per lo più speditivi, mirati.

Tabella 26.5. Punteggi assegnati ai vari caratteri del suolo per il calcolo delle limitazioni.

Codice	Classe	Intervallo	Punti
Profondità del suolo (cm)			
1	Superficiale	≤ 25	90
2	Poco profonda	$> 25 \text{ e } \leq 50$	30
3	Moderatamente profonda	$> 50 \text{ e } \leq 100$	15
4	Profonda	$> 100 \text{ e } \leq 150$	5
5	Molto profonda	> 150	0
Drenaggio			
1	Eccessivamente drenato		30
2	Mal drenato		30
3	Ben drenato		0
4	Moderatamente ben drenato		20
5	Piuttosto mal drenato		40
6	Piuttosto eccessivamente drenato		90
7	Molto mal drenato		90
Reazione (pH)			
1	Molto acida	$\leq 4,5$	90
2	Acida	4,6-5,5	15
3	Subacida	5,6-6,5	5
4	Neutra	6,6-7,3	0
5	Subalcalina	7,4-7,8	5
6	Alcalina	7,9-8,4	15
7	Molto alcalina	$\geq 8,5$	90
Scheletro			
0	Assente	$\leq 1\%$	0
1	Scarso	1-5%	0
2	Comune	5-15%	0
3	Frequente	15-35%	10
4	Abbondante	35-70%	20
5	Molto abbondante	$\geq 70\%$	40
Pendenza			
1		0-20%	0
2		20-35%	10
3		35-50%	30
4		$> 50\%$	60
Fertilità			
% S.O. orizzonte A	Ca (meq 100g ⁻¹) primi 50 cm	TSB %	
> 2	> 1	> 50	0
> 2	> 1	15-50	5
< 2	< 1	< 15	15

Tabella 26.6. Valutazione del rischio di *deficit* idrico: parametri concorrenti alla valutazione per le varie classi.

Valutazione del rischio di deficit idrico					
Classi di rischio	Pa (mm)	Pstg (mm)	EPT (mm)	Tma (°C)	Descrizione
1	> 1.000	> 700	< 700	> 9	Aree molto adatte all'arboricoltura da legno specializzata per tutte le specieforestali. Periodi di deficit idrico sono assenti o sporadici
2	> 1.000	> 500 e ≤ 700	< 500	> 9	Aree discretamente adatte all'arboricoltura da legno specializzata. Periodi di deficit idrico da sporadici a moderatamente frequenti
3	> 700 e ≤ 1.000	≤ 500	< 500	> 6 e ≤ 9	Aree marginalmente adatte all'arboricoltura da legno specializzata; tollerate dalle specie più xerofile. Periodi di deficit idrico frequenti
4	≤ 700	≤ 500	> 500	≤ 6	Aree non adatte all'arboricoltura da legno a meno di realizzare consistenti interventi irrigui a sostegno delle colture. I periodi di deficit idrico sono molto frequenti

Dal 2001 la Regione Lombardia dispone della “Carta di orientamento pedologico all’arboricoltura da legno della pianura lombarda in scala 1:250.000”, realizzata congiuntamente dal Servizio del suolo ERSAL e dall’ARF come strumento conoscitivo da utilizzare in sede di pianificazione preliminare. La metodologia di valutazione elaborata per tale documento introduce il rischio d’inondazione tra i parametri potenzialmente limitanti l’accrescimento arboreo e propone una stima del *deficit* idrico potenziale come risultato dell’interazione tra alcuni caratteri pedologici, come la capacità di acqua disponibile, il drenaggio e l’eventuale presenza di falda, e le condizioni climatiche generali dell’area. I restanti parametri pedologici considerati sono la profondità utile del suolo, il drenaggio, la tessitura del primo metro di suolo e la reazione.

Per le specie arboree considerate sono stati elaborati modelli individuali di valutazione dell’attitudine all’accrescimento, sulla base dell’entità delle limitazioni che i suoli presentano nei parametri considerati rispetto alle esigenze ecologiche della specie. L’interpretazione dell’adattabilità pedologica di ogni specie alle condizioni presenti è stata effettuata verificando (nei suoli di pianura dell’inventario pedologico in scala 1:250.000) la presenza di fattori limitanti suddivisi in “principali”, fortemente condizionanti le potenzialità di sviluppo e crescita, e “secondari”, meno incisivi nel determinare l’adattabilità all’ambiente pedoclimatico in quanto più facilmente dei primi possono essere corretti; in questo modo si sono ottenute per ogni specie 5 classi di orientamento pedologico per l’arboricoltura da legno, definite di seguito (tabella 26.7) (vedi figura 7 in coda al testo).

Tabella 26.7. Schema di valutazione delle classi di orientamento pedologico all'arboricoltura da legno.

Classe d'orientamento pedologico	Definizione	Entità limitazioni principali	Entità limitazioni secondarie
1	Suoli favorevoli allo sviluppo della specie	1	
2	Suoli favorevoli allo sviluppo della specie ma che evidenziano la probabile presenza di limitazioni secondarie	1	1
3	Suoli con moderate limitazioni allo sviluppo della specie	2	
4	Suoli con moderate limitazioni allo sviluppo della specie ma che evidenziano la probabile presenza di limitazioni secondarie	2	1; 2
5	Suoli poco o non favorevoli allo sviluppo della specie	3	1; 2; 3

Attitudine delle terre alla coltivazione del noce in Lombardia

Gli ambiti geografici prevalenti

Questa specie predilige ambienti di pianura o altopiano, si adatta a situazioni di versante mentre non tollera morfologie concave o impluvi. Con riferimento al modello pedopaesaggistico lombardo si adatta, in colture per arboricoltura da legno, agli ambienti elencati in seguito.

Rilievi montuosi: versanti ed aree pedemontane; colline moreniche: cordoni e piane intermoreniche se ben drenate; paleoterrazzi e pianalti: terrazzi intermedi; livello fondamentale: alta pianura ghiaiosa e bassa pianura sabbiosa; valli fluviali: terrazzi fluviali e piane alluvionali stabili non inondabili.

Esigenze climatiche e pedoclimatiche del noce

Il noce predilige la fascia fitoclimatica del *Castanetum*, ma spazia fra quelle del *Castanetum* freddo e *Lauretum* freddo; necessita di una piovosità compresa tra 850 e 1.200 mm per anno ma accetta una piovosità minore (non inferiore a 700 mm per anno) se ben distribuita. La temperatura media richiesta è superiore a 10°C (con minime > -20°C) e vengono tollerate occasionali gelate tardive.

L'ambiente di crescita ottimale per il noce ha suoli profondi, freschi, a tessitura media o moderatamente fine, ben drenati e senza falda entro 100 cm, ma con buona riserva idrica, a reazione neutra o subalcalina (il *range* di pH tollerati va tuttavia da 5,0 a 8,0), affrancati dal rischio di inondazione e da consistente e prolungata siccità.

Attitudine delle terre alla coltivazione del ciliegio in Lombardia

Gli ambiti geografici prevalenti

Questa specie predilige ambienti di versante o altopiano, si adatta a situazioni di pianura mentre non tollera morfologie concave o impluvi. Con riferimento al modello pedopaesaggistico lombardo si adatta, sia come impiego selvicolturale che per arboricoltura da legno, agli ambienti che in seguito vengono citati.

Rilievi montuosi: versanti ed aree pedemontane; colline moreniche: cordoni e piane intermoreniche se ben drenate; paleoterrazzi e pianalti: sia terrazzi antichi che terrazzi intermedi; livello fondamentale: alta pianura ghiaiosa (solo impiego selvicolturale) e bassa pianura sabbiosa; valli fluviali: terrazzi fluviali.

Esigenze climatiche e pedoclimatiche del ciliegio

Il ciliegio predilige la fascia fitoclimatica del *Castanetum* freddo, ma spazia tra quelle del *Lauretum* freddo e *Fagetum* caldo; necessita di una piovosità compresa tra 1.000 e 1.300 mm per anno, ma accetta una piovosità minore (non inferiore a 700 mm per anno) se ben distribuita. La temperatura media richiesta è superiore a 3°C (con minime > -30°C) e vengono tollerate occasionali gelate tardive.

L'ambiente di crescita ottimale per il ciliegio ha suoli da moderatamente profondi a più profondi, freschi, a tessitura media, ben drenati e senza falda entro 80 cm, ma con buona riserva idrica, a reazione subacida o neutra (il *range* di pH tollerati va tuttavia da 4,0 a 8,0), affrancati dal rischio di inondazione e da consistente e prolungata siccità.

I fattori funzionali

I caratteri pedologici e stagionali che influenzano la possibilità di crescita del noce e del ciliegio sono gli stessi, ed incidono sulle due specie in modo sostanzialmente identico, ad eccezione di alcune differenze di tessitura nelle classi di limitazione lieve o moderata (tabelle 26.8 e 26.9).

Per quanto riguarda la profondità utile del suolo, il ciliegio mostra una migliore adattabilità a profondità inferiori (di poco) a 100 cm, il che lo rende più adatto del noce a popolare morfologie in pendenza. In pianura si verifica spesso l'interferenza del fattore profondità con il drenaggio. Dal momento che entrambe le specie tollerano poco gli eccessi idrici, molti ambienti francamente fluviali della pianura lombarda, dove pure i suoli sono fertili e profondi, non sono adatti allo sviluppo del noce e del ciliegio in quanto caratterizzati da un drenaggio difficoltoso; altri sono invece sottratti a questo utilizzo perché affetti da un rischio di inondazione occasionale o più frequente. Una situazione analoga si riscontra nella media pianura idromorfa (fascia delle risorgive), dove

l'impianto delle due specie è sconsigliato dalle difficoltà del drenaggio e dalla presenza di falda superficiale nel suolo.

Tabella 26.8. Schemi di valutazione basati sui caratteri funzionali dei suoli e geografico-topografici per il noce.

Tipo di Limitazione	Caratteri funzionali potenzialmente limitanti	Intensità delle limitazioni		
		1- assenti o lievi	2- moderate	3- severe
	Profondità utile (cm)	≥ 100	< 100 e ≥ 50	< 50
Principali	Drenaggio	ben drenato	piuttosto eccess. drenato*, moderatamente ben drenato	eccessivamente drenato, piuttosto eccess. drenato, piuttosto mal drenato, mal drenato, molto mal drenato
	Rischio di inondazione (r.i.)	assente, lieve	moderato	alto
Secondarie	Tessitura nei primi 100 cm	media, moderatamente fine	moderatamente grossolana	grossolana, fine
	Rischio di deficit idrico (R.d.I.)	moderato, lieve, assente	forte*, moderato**	molto severo, forte
	Reazione (pH in H ₂ O)	$6,0 \leq \text{pH} < 7,5$	$7,5 \leq \text{pH} < 8,5$	$\text{pH} < 6,0$; $\text{pH} > 8,5$

* Se il rischio di deficit idrico è forte ma la riserva idrica (AWC) riferita al primo metro è compresa fra 50 e 100 mm, e la falda è assente, il grado di intensità delle limitazioni è moderato.

** Se il rischio di deficit idrico è moderato ma la riserva idrica (AWC) riferita al primo metro è compresa fra 50 e 100 mm, e la falda è assente, il grado di intensità delle limitazioni è moderato.

Nella parte orientale della regione (pianura cremonese e mantovana, soprattutto) le limitazioni nella profondità utile del suolo possono incidere sullo sviluppo arboreo per la presenza di orizzonti a concentrazione di carbonati secondari a profondità variabile che limitano l'approfondimento radicale, riducono la riserva idrica del suolo e possono stagionalmente sostenere falde sospese. In questi territori, come pure in provincia di Pavia, vi sono ampie zone in cui il fattore funzionale più limitante è la tessitura del primo metro di suolo. Nell'Oltrepò pavese come in quello mantovano ed in ampi tratti della pianura cremonese e mantovana a nord del Po sono molto diffusi suoli con tessitura fine nel primo metro, che non offrono condizioni favorevoli alla crescita delle due specie considerate (anche perché quasi sempre associati a drenaggio difficoltoso); nella pianura pavese a nord del Po, come anche in buona parte della pianura lombarda occidentale (milanese, varesotto brianza comasca e lecchese) prevalgono suoli con tessitura grossolana, non adatti alla coltivazione del noce e del ciliegio perché soggetti a elevato rischio di deficit idrico in quanto caratterizzati da scarsa riserva idrica e drenaggio rapido.

Le tabelle proposte di seguito (tabella 26.10a, 26.10b, 26.10c) illustrano in modo sintetico gli ambienti lombardi adatti all’impianto di noce e ciliegio.

Tabella 26.9. Schemi di valutazione basati sui caratteri funzionali dei suoli e geografico-topografici per il ciliegio.

Tipo di Limitazione	Caratteri funzionali potenzialmente limitanti	Intensità delle limitazioni		
		1 - Assenti o lievi	2 - Moderate	3 - Severe
	Profondità utile (cm)	≥ 100	< 100 e ≥ 50	< 50
Principali	Drenaggio	ben drenato	piuttosto eccess. drenato*, moderatamente ben drenato	eccessivamente drenato, piuttosto eccess. drenato, piuttosto mal drenato, mal drenato, molto mal drenato
	Rischio di inondazione (r.i.)	assente, raro	occasionale	frequente
	Tessitura nei primi 100 cm	media	moderatamente grossolana, moderatamente fine	grossolana, fine
Secondarie	Rischio di deficit idrico (R.d.I.)	moderato, lieve, assente	forte*, moderato**	molto severo, forte
	Reazione (pH in H ₂ O)	6,0 ≤ pH < 7,5	7,5 ≤ pH < 8,5	pH < 6,0; pH > 8,5

* Se il rischio di deficit idrico è forte ma la riserva idrica (AWC) riferita al primo metro è compresa fra 50 e 100 mm, e la falda è assente, il grado di intensità delle limitazioni è moderato.

** Se il rischio di deficit idrico è moderato ma la riserva idrica (AWC) riferita al primo metro è compresa fra 50 e 100 mm, e la falda è assente, il grado di intensità delle limitazioni è moderato.

Tabella 26.10a. Riepilogo sintetico gli ambienti lombardi adatti all’impianto di noce e ciliegio per impieghi selvicolturali (codice = 1) e/o di arboricoltura da legno (codice = 2).

Paesaggi	Rilievi Montuosi				Colline Moreniche		
	Versanti	Aree pedemontane	Fondovalle	Cordoni	Piane intermoreniche	Aree Idromorfe	Valli Alluvionali
Specie							
Noce Europeo	2	2	-	2	2	-	-
Ciliegio Selvatico	1-2	1-2	-	1-2	1-2	-	-

Tabella 26.10b. Riepilogo sintetico gli ambienti lombardi adatti all'impianto di noce e ciliegio per impieghi selvicolturali (codice = 1) e/o di arboricoltura da legno (codice = 2).

Paesaggi	Terrazzi rilevati sulla pianura		Livello fondamentale della Pianura			
	Terrazzi Antichi	Terrazzi Intermedi	Alta Pianura ghiaiosa	Media pianura idromorfa	Aree stabili	Paleovalvei
Specie						
<i>Noce Europeo</i>	-	2	2	-	2	-
<i>Ciliegio Selvatico</i>	1-2	1-2	1	-	1-2	-

Tabella 26.10c. Riepilogo sintetico gli ambienti lombardi adatti all'impianto di noce e ciliegio per impieghi selvicolturali (codice = 1) e/o di arboricoltura da legno (codice = 2).

Paesaggi	Valli alluvionali				
	Superfici terrazzate	Piane alluvionali stabili	Aree Idromorfe	Golene aperte	Depressioni a sedimenti molto fini
Specie					
<i>Noce europeo</i>	2	2	-	-	-
<i>Ciliegio selvatico</i>	1-2	-	-	-	-

Utilizzo di pratiche agronomiche per la riduzione delle limitazioni

In Lombardia, in presenza di limitazioni stazionali o pedologiche importanti si rinuncia alla realizzazione degli impianti. In tutti gli altri casi si procede con le pratiche agronomiche standard, ossia la preparazione del terreno mediante scassi e letamazioni in fase di pre-impianto, in seguito fresature, discature, pacciamature e irrigazione nella normale manutenzione.

Poichè nel territorio lombardo, ed in particolare nella pianura, il rischio di deficit idrico è in generale presente ed in alcune parti assume intensità consistente, l'irrigazione è una pratica molto curata, soprattutto nei primi anni dell'impianto, e si riduce progressivamente con la crescita delle piante per annullarsi una volta che le piante sono adulte.

26.3.10. Altre esperienze in corso e/o realizzate in Italia

Il Progetto Riselvitalia

Nell'ambito di ulteriori lavori sperimentali tuttora in corso possono essere citati i primi risultati del progetto Riselvitalia, "Sottoprogetto 2.1.10. - Definizione di indicatori pedologici per una corretta valutazione dell'attitudine delle terre alle specie legnose di pregio" (Giordano et al., 2006). Questo sottoprogetto ha l'obiettivo di identificare parametri stazionali e pedologici significativi e/o limitanti per la riuscita del noce e di mettere a punto delle chiavi di interpretazione di carte pedologiche in termini di attitudine delle terre alla coltivazione del noce. Sono state prese in considerazione 9 aree sperimentali situate in Piemonte (4) e nelle Marche (5). La scelta delle aree sperimentali è stata conseguente all'espressione della massima variabilità per i parametri considerati e alla presenza di piantagioni di noce già affermate sulla base delle quali potere effettuare misure dendrometriche. I parametri considerati sono stati i caratteri stazionali sia topografici che climatici (altimetria, esposizione, pendenza, precipitazioni, temperature), i caratteri pedologici (regime di umidità secondo la Soil Taxonomy, profondità del suolo e delle radici, tessitura, segni idromorfia, pH, contenuto in calcare, capacità di scambio cationico nel profilo, sostanza organica, azoto totale e fosforo assimilabile nell'orizzonte superficiale), ed i dati della piantagione (sesto di impianto, pratiche colturali, età, altezza e diametro).

Nell'analisi dei primi risultati, pur considerando un numero limitato di rilevi (7 per il Piemonte e 9 per le Marche), sono stati messi in evidenza dei fattori positivamente significativi, quali il regime di umidità (gradiente positivo passando dallo xerico all'ustico e all'udico), la buona porosità, ed un arricchimento di sostanza organica ed azoto legati alla consociazione delle specie. Viceversa, sono stati osservati dei fattori negativamente significativi, quali la presenza di orizzonti argillosi compatti ed asfittici a scarsa profondità e l'impiego improprio di fitocelle che comporta malformazione radicale. Non sono state rilevate correlazioni importanti con la variazione nel suolo di tenore in carbonato di calcio, che risulta in questo caso un fattore indifferente. Sulla base di quanto evidenziato nei risultati, sono state messe a punto in prima approssimazione degli schemi di valutazione ed interpretazione di attitudine delle terre al noce (tabella 26.11), in cui il criterio di assegnazione delle classi S1, S2 ed S3 (FAO, 1976), in relazione ai vari parametri considerati, è quello della massima limitazione.

Tabella 26.11. Schema di attitudine delle terre al noce per le aree sperimentali considerate delle Marche e del Piemonte.

	S1 adatti	S2 discretamente adatti	S3 poco adatti
Regime umidità (secondo ST)	udico	ustico	xerico
Profondità utile (cm)	> 100	60-100	< 60
Orizzonti asfittici entro 1 m	assenza	< 5% segni idromorfia	> 5% segni idromorfia
Tessitura	F, FS, FSA, FL, FLA, FA	S, SF, AS, AL	A, L
Porosità > 500 µm	> 5	3 - 5	< 3
Sostanza organica (%)		2 - 1	< 1
Azoto (‰)	> 1	1 - 0,5	< 0,5

Altri studi a carattere regionale

Per quanto riguarda altri studi a carattere regionale, è possibile citare alcune prescrizioni generali dettate per la Regione Molise nell'ambito del Piano Forestale Regionale (Regione Molise, 2003), riguardanti sia caratteri interni del suolo che stazionali: "Le specie da utilizzare per impianti di arboricoltura da legno, nelle diverse zone fitoclimatiche, dovranno essere selezionate tra quelle che hanno mostrato buona adattabilità in rimboschimenti preesistenti. Noce e ciliegio potranno essere impiantati in terreni mediamente profondi, permeabili, a reazione non acida ($\text{pH} > 6$), con esclusione dei terreni argillosi, di quelli con ristagno idrico e nelle zone a forte ventosità. Di norma detti impianti saranno preferibilmente ubicati ad altitudine compresa tra 300 ed 800 m.s.l.m. Impianti ubicati ad altitudini superiori dovranno essere adeguatamente giustificati sulla base delle condizioni stazionali specifiche opportunamente documentate in progetto; ad altitudini inferiori, tale tipo di impianto sarà ammesso subordinatamente alla dimostrazione della disponibilità di acqua per irrigazione. Il turno minimo di utilizzazione per il noce ed il ciliegio è di 35 anni, salvo diversa autorizzazione in caso di sviluppo favorevole delle piante, il cui diametro di recidibilità deve comunque non risultare inferiore ai 35 cm". Altri studi sperimentali sono stati effettuati in Campania (Di Vaio et al., 2005) sulla coltivazione del noce da legno, su una serie di 13 impianti sperimentali distribuiti su tutto il territorio regionale, che hanno messo in evidenza alcune relazioni tra parametri pedologici presi in considerazione, quali la tessitura, il pH ed il contenuto di calcare attivo degli orizzonti superficiali e misure dendrometriche e di crescita culturale.

Gli impianti presentavano un'altitudine compresa tra 50 e 700 m s.l.m., con pendenze poco variabili e comunque assenti o modeste; infatti, 10 impianti sono ubicati in piano e 3 con una pendenza del 6%, 7% e 8%. Le temperature medie annue comprese tra i 12,3°C e i 17,3°C. Negli anni dell'indagine le minime precipitazioni annue verificatesi negli impianti sono state di 800 mm e

853 mm rispettivamente, mentre quelle massime sono state rilevate nella misura di 1.391 mm. In particolare, i peggiori risultati produttivi in termini di incremento di diametro medio (IDM) sono stati rilevati negli impianti caratterizzati da terreno argilloso o argilloso limoso, mentre gli accrescimenti migliori si sono registrati in terreni con un contenuto di argilla non superiore al 25 - 30%.

Particolarmente interessante risulta segnalare che nelle prove le correlazioni sopra indicate sono apparse meno significative considerando anche le piantagioni di età superiore ai 15 anni. Ciò potrebbe essere riferito a diversi fattori, quali una riduzione dell'IDM al crescere dell'età ed il maggiore approfondimento dell'apparato radicale che potrebbe rendere le piante più adulte meno influenzate dalle caratteristiche degli orizzonti di terreno più superficiali e meno dipendenti dall'acqua di precipitazione per il rifornimento idrico, almeno in presenza di falde facilmente accessibili.

Bibliografia

- AA.VV., 1996. *Guida all'arboricoltura da legno in Abruzzo*. Cogecstre (Ed.), Penne (PE).
- AGENZIA REGIONALE FORESTE E REGIONE LOMBARDIA, AGRICOLTURA, D.G., 2001. *Arboricoltura da legno, manuale tecnico-operativo*.
- ALESSANDRINI, A., FAZZUOLI, F., MITCHELL, A., NIEVO, S., RIGONI STERN, M., BORTOLOTTI, L., 1989. *Gli alberi monumentali d'Italia*. Il Sud. Abete, Roma.
- AMMANNATI, R., LAZZARA, L., 1991. *Produzione vivaistica qualificata di latifoglie pregiate*. Cellulosa e Carta, 42, 5, 54-60.
- ANDILORO, C., CANNAVÒ, S., MERCURIO, R., 2000. *Esperienze sull'uso delle protezioni individuali in piantagioni di ciliegio da legno in Calabria*. Legno Cellulosa e Carta, VI, 1, 2-9.
- ANSELMINI, N., 2001. *Problematiche fitopatologiche in Italia negli impianti da legno di latifoglie nobili*. Informatore patologico, 7/8, 12-19.
- BALDINI, S., BRUNETTI, M., FABBRI, P., 1997. *Prove di potatura con impiego di strumenti diversi in una piantagione di ciliegio da legno*. Annali Istituto Sperimentale per la Selvicoltura, Vol. XXV-XXVI (1994-1995), 345-361.
- BELVAUX, E., TRON, G., 1996. *Expérimentation d'arrosage de boisements en forêt méditerranéenne*. Forêt Méditerranéenne, XVII, 4, 287-302.
- BEQUEY, J., 1991. *Planter des noyers en milieu agricole*. Forêt Entreprise, 80, 40-47.
- BEQUEY, J., 1997. *Les noyers à bois*. IDF, Paris.
- BOULET-GERCOURT, B., 1997. *Le merisier*. IDF, Paris.
- BARONE, E., DI MARCO, L., MERCURIO, R., ZAPPALÀ, R., 1997. *Sistematica, caratteri botanici, distribuzione geografica*. In: Giannini, R., Mercurio, R., (Eds), *Il noce comune per la produzione legnosa*, Avenue Media, Bologna, 25-41.

- BARONE, E., BURESTI, E., CANNATA, F., DI MARCO, L., MERCURIO, R., MINOTTA, G., PARIS, P., 1997. *Modelli colturali e tecniche di coltivazione*. In: Giannini, R., Mercurio, R., (Eds), Il noce comune per la produzione legnosa, Avenue Media, Bologna, 115-163.
- BARTHÈLEMY, D., MERCURIO, R., SABATIER, S., 1997. *L'architettura della chioma del noce comune*. In: Giannini, R., Mercurio, R., (Eds), Il noce comune per la produzione legnosa, Avenue Media, Bologna, 57-65.
- BEQUEY, J., 1990. *Quelques précisions sur les noyers hybrides*. Forêt Entreprise, 69, 15-19.
- BEQUEY, J., 1992. *Les plantations de feuillus précieux. D'abord éviter les erreurs*. Forêt Entreprise, 81, 33-38.
- BEQUEY, J., 1993. *Quelques éléments de réflexion sur les plantations de noyers à bois à partir de l'expérience française*. Linea Ecologica, 24, 1, 19-25.
- BERGOGNOUX, F., GROSPIERRE, P., 1981. *Le noyer*. Invuflec, Paris.
- BOSCO, M., FAVILLI, F., LUMINI, E., TANI, A., 1997. *L'ecologia del noce comune*. In: Giannini, R., Bosshardt, C., 1985, Etude de quelques feuillus précieux dans le Centre de la France: Frene, Merisier, Noyers, Nogent sur Vernisson: ENITEF\CEMAGREF.
- BUOLET-GERCOURT, B., 1997. *Le merisier. Les guides du sylviculter (Deuxième édition)*. Institut pour le Développement Forestier, Paris.
- BURESTI, E., 1993a. *Orientamenti tecnici sull'impianto e la coltivazione del noce da legno*. Linea Ecologica, 24, 1, 12-18.
- BURESTI, E., 1993b. *Arboricoltura di pregio*. Agricoltura Ricerca, 147\148, 67-76.
- BURESTI, E., 1993c. *L'allevamento in cassone*. Agricoltura Ricerca, 147\148, 107-110.
- BURESTI, E., DE MEO, I., FALCIONI, S., FRATTEGANI, M., 1997. *L'utilizzo del noce comune, del noce nero e del noce ibrido in arboricoltura da legno. Primi risultati di una prova comparativa in impianti misti di 8 anni di età*. Annali Istituto Sperimentale per la Selvicoltura, Vol. XXV- XXVI (1994-1995), 243-260.
- CALVO, E., D'AMBROSI, E., 1995. *Proposte di standard di idoneità colturale per il postime vivaistico di alcune latifoglie nobili*. Monti e Boschi, 47, 4, 22-24.
- CALVO, E., D'AMBROSI, E., MANTOVANI, F., 2001. *Arboricoltura da legno*. II edizione, Regione Lombardia, ARF, Milano.
- CANNAVÒ, S., GUGLIOTTA, O.I., LAROSA, S., MERCURIO, R., 2004. *Indagini sul ritmo di accrescimento e sull'epoca di potatura in piantagioni di noce da legno*. Linea Ecologica, 36, 2, 45-50.
- CANTONI, L., ZAMBONI, A., TONON, G., 2005. *Fattori che influenzano l'embriogenesi somatica da embrioni immaturi di Juglans regia L.* SISEF, Atti 4, 145-149.
- CHERNOBOI, G.M., 1971. *The root system of Walnut under unirrigated conditions in the crimean steppe*. Tr. Gos. Nikitsk. Bot. Sada, 52, 119-123.
- CONTU, F., MERCURIO, R., 2005. *Risultati di piantagioni sperimentali di latifoglie a legname pregiato in Abruzzo*. SISEF Atti 4, 141-144.
- CRAVE, M.F., 1989. *Erables ondés, Alisier remarquables, Merisiers*. Foret Entreprise, 58, 1-4.
- CRAVE, M.F., 1991. *Noyer hybrides*. Foret Entreprise, 76, 10-11.
- DELEPORTE, P., 1977. *Essai d'une typologie des stations a Frene et a Merisier en Nord-Picardie*. Nogent-sur-Vernisson: ENITEF + annexes (Memoire), 59.
- DETTORI, S., FALQUI, A., MAVULI, S., ORRU, A., PODDIGHE, D., TODDE, M., 1997. *Prime esperienze di coltivazione di ciliegio e noce da legno in Sardegna*. Annali Istituto Sperimentale per la Selvicoltura, Vol. XXV-XXVI (1994-1995), 227-242.

- DI VAIO, C., MINOTTA, G., 2005. *Indagine sulla coltivazione del noce da legno in Campania*. Forest@, (Ed.) Italian Society of Silviculture and Forest Ecology, Vol. 2, 2, 185-197.
- DODE, L.A., 1906-1909. *Contribution a l'étude du genre Juglans*. Bull. Soc. Dendr. France, 1906, 67-97; 1909, 22-50; 165-215.
- DUCCI, F., (Ed.), 2005. *Monografia sul ciliegio selvatico (Prunus avium L.)*. CRA-Istituto Sperimentale per la Selvicoltura, Arezzo.
- DUCCI, F., DAL RE, L., PROIETTI, R., SIGNORINI, G., GERMANI, A., 2005. *Cloni di ciliegio selvatico perché no?* In: Ducci, F. (Ed.), *Monografia sul ciliegio selvatico (Prunus avium L.)*. CRA-Istituto Sperimentale per la Selvicoltura, Arezzo, 37-52.
- DUCCI, F., DE ROGATIS, A., PROIETTI, R., 1997. *Protezione delle risorse genetiche di Juglans regia*. Annali Istituto Sperimentale per la Selvicoltura, Vol. XXV- XXVI (1994-1995), 35-55.
- DUCCI, F., SANTI, F., 1997. *The distribution of clones in managed and unmanaged populations of wild cherry (Prunus avium)*. Can J. For. Res., 27, 1998-2004.
- DUCCI, F., TANI, A., 1997. *Propagazione e tecnica vivaistica*. In: Giannini, R., Mercurio, R., (Eds), *Il noce comune per la produzione legnosa*. Avenue Media, Bologna, pagine, 91-107.
- DUCCI, F., TOCCI, A., VERACINI, A., 1988. *Sintesi del registro del materiale di base di Prunus avium L. in Italia centro-settentrionale, Basilicata e Calabria*. Annali Istituto Sperimentale per la Selvicoltura, Vol. XIX, 263-302.
- DUCCI, F., VERACINI, A., TOCCI, A., CANCELI, L., 1990. *Primi risultati di una sperimentazione pilota di arboricoltura clonale da legno con Prunus avium L.* Annali Istituto Sperimentale per la Selvicoltura, Vol. XXI, 81-108.
- DUPRAZ, C., BERGEZ, J.E., 1999. *Carbon dioxide limitation of the photosynthesis of Prunus avium L. seedlings inside an unventilated treeshelter*. Forest Ecology and Management, 119, 89-97.
- FALLERI, E., GIANNINI, R., 2003. *La produzione vivaistica per l'arboricoltura da legno nel Meridione d'Italia*. Inea, Roma, 83.
- FAO, 1976. *A framework for land evaluation*. FAO soils bulletin 32, Land and Water Development Division, Rome, 1976, second printing, 1981.
- FOURNIER, D., 1989. *Modélisation de la croissance et de l'architecture du merisier (Prunus avium L.)*. Diplôme d'Agronomie approfondie. ENSA, Montpellier.
- FRANC, A., BOLCHERT, C., MARZOLF, G., 1992. *Les exigences stationnelles du merisier: revue bibliographique*. Rev. For. Franc., XLIV (n° spec. Les Feuillus Précieux), 27-31.
- FRANCARDI, V., ROVERSI, P.F., 1997. *Osservazioni sull'entomofauna fitofaga di Prunus avium L. in piantagioni da legno dell'Italia centro-settentrionale*. Annali Istituto Sperimentale per la Selvicoltura, Vol. XXV-XXVI (1994-1995), 399-412.
- FRANCARDI, V., ROVERSI, P.F., 2005. *Difesa dagli insetti fitofagi*. In: Ducci, F. (Ed.) *Monografia sul ciliegio selvatico (Prunus avium L.)*. CRA-Istituto Sperimentale per la Selvicoltura, Arezzo, 100-106.
- FRATTEGANI, M., MERCURIO, R., 1991. *Il fattore di competizione delle chiome (CCF) nella gestione delle piantagioni da legno di noce comune (Juglans regia L.)*. Monti e Boschi, 42, 5, 59-62.
- FRATTEGANI, M., MERCURIO, R., PRIMAVERA, F., 1996. *Relazione tra tessitura del suolo e coltivazione del noce da legno*. Giorn. Bot.Ital., 130 1, 421.
- GARDIN, L., COSTANTINI, E.A.C., NAPOLI, R., 2004. *Guida alla descrizione dei suoli in campagna e alla definizione delle loro qualità*. www.soilmaps.it/ita/downloads.html.

- GERMAIN, E., 1974. *Création par hybridation de variétés de noyer (Juglans regia L.) associant une floraison tardive a une mise à fruit tres rapide et une productivité élevée. Exposé d'une methode.* Ann Amelior. Plant., 29, 187-194.
- GIORDANO, A., MONDINO, G.P., PELLEGRINI, S., GARAFFI, R., GIAI MINETTI, D., 2006. *Attitudine delle terre alla coltivazione del noce.* Convegni Progetto Riselvitalia, sottoprogetto 2.1. www.arboricoltura.it/pubblicazioni/DCRiselvitalia2.1.htm.
- GRAS, M., DUCCI, F., 1998. *Prunus*. In: Scarascia Mugnozza, G.T., Pagnotta, M.A., (Ed.), Italian contribution to plant genetics and breeding, Viterbo, 876-878.
- GUINIER, P., 1953. *Le noyer producteur de bois.* Rev.For.Franc, 5, 3, 157-177.
- HUBERT, M., 1979. *Le noyer a bois.* IDF, Paris.
- HUTCHINSON, J., 1959. *The Family of Flowering Plants.* Oxford Univ. Press. I. Dycotiledons.
- KRÜSSMANN, G., 1986. *Juglans. L.* In: Manual of cultivated broad-leaved Tress and Shrubs, Vol. II, 190-194. Bt. Batsford Ltd, London.
- IPLA – REGIONE PIEMONTE, 1998. *Caratterizzazione e valutazione di stazioni piemontesi di ciliegio selvatico (Prunus avium L.) idonee per la raccolta di materiale di propagazione da destinare alla vivaistica forestale (inedito).*
- IPLA – REGIONE PIEMONTE, 1999. *Studio di caratterizzazione delle produzioni vitivinicole dell'area del Barbera d'Asti (inedito).*
- IPLA – REGIONE PIEMONTE, 2000a. *Carta dei suoli della pianura Cuneese (inedito).*
- IPLA – REGIONE PIEMONTE, 2000b. *Carta dell'attitudine alla produzione tartuficola della Regione Piemonte (inedito).*
- IUSS WORKING GROUP WRB, 2006. *World reference base for soil resources 2006*, 2nd edition. World Soil Resources Reports N.103, FAO, Roma.
- LANIER, L., 1986. *Précis de sylviculture* Engref, Nancy.
- LOGIURATO, A., SARACINO, A., BORGHETTI, M., 1997. *Analisi della vulnerabilità all'embolia xilematica ed effetto di uno stress idrico moderato in Prunus avium.* SISEF Atti I, 321-326.
- LOWE, V., PINEDA, G., DELARD, C., 2001. *Cerezo comun (Prunus avium).* INFOR, Santiago.
- LOWE, V., GONZALEZ, M., 2001. *Nogal comun (Juglans regia).* INFOR, Santiago.
- LUISE, N., MAGNANO, G., 1997. *Malattie.* In: Giannini, R., Mercurio, R., (Ed.), Il noce comune per la produzione legnosa, Avenue Media, Bologna, 181-239.
- MASSET, P.L., 1979. *Etude sur les liasons entre la qualité technologique du bois de merisier (Prunus avium L.) et la station.* Rev. For. Franc., XXXI, 6, 491-502.
- MAGINI, E., 1975. *Guida al riconoscimento pratico dei semi e delle piantine forestali.* In: Morandini, R., Magini, E, Il materiale di propagazione in Italia, Collana Verde n.34, MAF, Roma.
- MALVOLTI, M.E., CANNATA, F., GRAS, M., TANZELLA, O.A., 1998. *Juglans*. In: Scarascia Mugnozza, G.T., Pagnotta, M.A., (Ed.), Italian contribution to plant genetics and breeding, Viterbo, 872-875.
- MAPPELLI, S., 1995. *Walnut plant resistance to soil hypoxia: comparaison between J.regia and hybrid plants.* In: Panetsos, K.P., (Ed.) Development of walnut trees for wood and fruit production. Dep. of Forestry, Aristotelian University, Tessaloniki, 24-33.
- MERCURIO, R., (Ed.), 2005. *Il noce comune per la produzione legnosa.* Avenue Media, Bologna, 43-52.
- MERCURIO, R., TOCCI, A.V., 1982. *Prospettive per l'impiego del ciliegio (Prunus avium L.) nelle piantagioni da legno.* Agricoltura e Ricerca, 6, 30, 41-45.
- MERCURIO, R., MINOTTA, G., 2000. *Arboricoltura da legno.* Clueb, Bologna.

- MERCURIO, R., NAPOLI, R., PAOLANTI, M., 2003. *Impostazione metodologica per la realizzazione della Carta Regionale delle potenzialità dell'arboricoltura da legno*. In: Atti del Convegno: Le Foreste in Abruzzo fra tecnica, economia, ambiente, Direzione Agricoltura e Foreste e Sviluppo Rurale (Ed.), Regione Abruzzo, Febbraio 2003.
- MINISTERO DELLE POLITICHE AGRICOLE E FORESTALI, 2000. *“Metodi di Analisi Chimica del suolo”*. Collana di metodi analitici per l'agricoltura, Franco Angeli editore.
- MINOTTA, G., 1989. *La coltura del noce da frutto e a duplice attitudine produttiva in Italia*. Frutticoltura, 7, 23-29.
- MINOTTA, G., 1997. *Prove di potatura di allevamento su due progenie di noce da legno*. Annali Istituto Sperimentale per la Selvicoltura, Vol. XXV-XXVI (1994-1995), 323-343.
- MINOTTA, G., BOSCHETTI, W., 1994. *Indagini sul ciclo vegetativo stagionale di piante di noce (J.regia L.) allevate per la produzione legnosa in alcuni ambienti dell'Appennino settentrionale della Pianura Padana*. Atti del convegno "Arboricoltura da legno e politiche comunitarie", 22-23 giugno Tempio Pausania (SS), 123-141.
- MINOTTA, G., LOEWE, V., FERRI, D., 1993. *Indagine sulla coltivazione del noce da legno (Juglans regia L.) in alcuni ambienti dell'Appennino settentrionale e della pianura padana*. Monti e Boschi, 44, 3, 46-56.
- MINOTTA, G., ROFFI, F., BAGNARESI, U., 1997. *Indagini su modelli culturali agroforestali nell'Appennino settentrionale*. SISEF Atti I°: 199-205.
- MONTERO, G., CISNEROS, O., CAÑELLAS, I., 2003. *Manual de selvicoltura para plantaciones de especies productoras de madera de calidad*. Mundi-Prensa, Madrid.
- MOTTA, E., SCORTICHINI, M., BIOCCA, M., 1997. *Gravi malattie del ciliegio da legno in Italia centrale*. Annali Istituto Sperimentale per la Selvicoltura, Vol. XXV-XXVI (1994-1995), 373-390.
- PARDÉ, L., 1952. *Les feuillus*. La Maison Rustique, Paris.
- NICOT, P., 1983. *Etude des exigences stationnelles, des performances de croissance, de la sylviculture et de la qualité du bois du Frêne et du Merisier dans diverses stations d'Alsace*. DDAF du Bas-Rhin, 238 + annexes (Memoire ENITEF).
- PARIS, P., OLIMPIERI, G., CANNATA, F., 1995. *Influence of alfalfa (Medicago sativa L.) intercropping and polyethylene mulching on early growth of walnut (Juglans regia spp.) in Central Italy*. Agroforestry Systems, 31, 139-180.
- PIGNATTI, S., 1982. *Flora d'Italia*. Edagricole, Bologna.
- RAMOS, D.E., (Ed.), 1985. *Walnut Orchard Management*. Coop. Ext. University of California, 178.
- REGIONE EMILIA ROMAGNA, SERVIZIO SVILUPPO SISTEMA AGRO-ALIMENTARE, I.TER (SCOTTI, C.), CONSORZIO BONIFICA RENO PALATA (ZAMPIGHI, C.), DIPARTIMENTO DI COLTURE ARBOREE, UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI BOLOGNA (MINOTTA, G., BAGNARESI, U.), SERVIZIO PARCHI E FORESTE (BARATOZZI, L.), SERVIZIO DIFESA DEL SUOLO (CAVAZZA, C.), SERVIZI PROVINCIALI AGRICOLTURA, 1995. *Catalogo regionale dei principali suoli agricoli di collina e montagna, paragrafo: Scelta specie forestali*.
- REGIONE EMILIA ROMAGNA, SERVIZIO SVILUPPO SISTEMA AGRO-ALIMENTARE, SERVIZIO GEOLOGICO, SISMICO E DEI SUOLI, I.TER., 1996. *Catalogo regionale dei principali tipi di suolo agricoli della collina e montagna*.

- REGIONE EMILIA ROMAGNA, SERVIZIO SVILUPPO SISTEMA AGRO-ALIMENTARE (GIAPPONESI, A.), I.TER (SCOTTI, C., BUSETTO, R.), CONSORZIO BONIFICA RENO PALATA (GASPARINI, C., ZAMPIGHI, C.), 1998. *“Caratterizzazione pedologica 10 impianti del Consorzio di Bonifica Reno Palata (BO)”*.
- REGIONE EMILIA ROMAGNA, SERVIZIO SVILUPPO SISTEMA AGRO-ALIMENTARE, I.TER (SCOTTI, C.), CONSORZIO BONIFICA RENO PALATA (ZAMPIGHI, C.), DIPARTIMENTO DI COLTURE ARBOREE, UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI BOLOGNA (MINOTTA, G., BAGNARESI, U.), SERVIZIO PARCHI E FORESTE (BARATOZZI, L.) SERVIZIO DIFESA DEL SUOLO (CAVAZZA, C.), SERVIZI PROVINCIALI AGRICOLTURA, ISTITUTO SPERIMENTALE DI PIOPPICOLTURA DI CASALE MONFERRATO (FACCIOOTTO, G.), 1998. *Catalogo regionale dei suoli della pianura emiliano-romagnola, paragrafo: Scelta specie forestali*.
- REGIONE EMILIA ROMAGNA, SERVIZIO GEOLOGICO, SISMICO E DEI SUOLI (FILIPPI, N., GUERMANDI, M.), SERVIZIO SVILUPPO SISTEMA AGRO-ALIMENTARE (SARNO, G., GIAPPONESI, A.), I.TER (SCOTTI, C.), DIPARTIMENTO DI COLTURE ARBOREE, UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI BOLOGNA (MINOTTA, G., BAGNARESI, U.), SERVIZIO PARCHI E FORESTE (BARATOZZI, L.), SERVIZIO DIFESA DEL SUOLO (CAVAZZA, C.), CONSORZIO BONIFICA RENO PALATA (NEGRINI, C., ZAMPIGHI, C.), 2002a. *Metodologie divulgative Carta dei suoli in scala 1:250.000: realizzazione di un prototipo di Carta applicativa in area campiona*.
- REGIONE EMILIA ROMAGNA, SERVIZIO SVILUPPO SISTEMA AGRO-ALIMENTARE, DIPARTIMENTO DI COLTURE ARBOREE, UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI BOLOGNA (CINTI, S., BAGNARESI, U.), DIPARTIMENTO AGROSELVITER, UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI TORINO (MINOTTA, G.), I.TER (SCOTTI, C., MORELLI, P.), 2002b. *L'arboricoltura da legno con latifoglie di pregio in Emilia-Romagna: analisi di aspetti produttivi, economici, ambientali e vivaistici con riferimento agli impianti attuati ai sensi dei regolamenti comunitari*.
- REGIONE MOLISE, A.A.V.V., 2003. *Piano Forestale Regionale 2002-2006. Sezione 3: Gli impianti e i rimboschimenti*. www.regione.molise.it/pianoforestaleregionale/sezione3/index_sezione_3.htm.
- SCOHY, J.P., 1989. *Le Merisier*. Silva Belgica, 96, 3, 47-52, 5, 37-42.
- SANTINI, A, TURCHETTI, T., 2005. *Malattie dell'apparato radicale*. In: Ducci, F., (Ed.), Monografia sul ciliegio selvatico (*Prunus avium* L.), CRA-Istituto Sperimentale per la Selvicoltura, Arezzo, 91-94.
- SCALTOSYANNES, A., TSOLUPHA, P., PANETSOS, K.P., 1997. *Effect of genotype on micropropagation of walnut trees (Juglans regia)*. Silvae Genetica, 46, 6, 326-332.
- SCHLESINGER, R.C., 1987. *The effects of crowding on Juglans nigra growth*. Proceeding IUFRO Int. Conf. on Thinning, Moscow-Riga (URSS), Sept.9-17, 1985, Part 2, 2-13.
- SINISCALCO, C., 1997. *Mobilizzazione per innesto e conservazione ex-situ di fenotipi di ciliegio da legno individuati nell'Italia centro-meridionale*. Annali Istituto Sperimentale per la Selvicoltura, Vol. XXV-XXVI (1994-1995), 133-148.
- TANG, H., REN, Z., REUSTLE, G., KREZAL, G., GERMAIN, E., 2001. *Optimizing secondary somatic embryo production in English walnut (Juglans regia L.)*. Acta Horticulturae, 544, 187-194.
- TUTIN, T.G., ET AL., 1964. *Juglans*. In: Heywood, V.H., (Ed.), Juglandaceae, Cambridge at the University Press, Flora Europaea, I, 56-57.

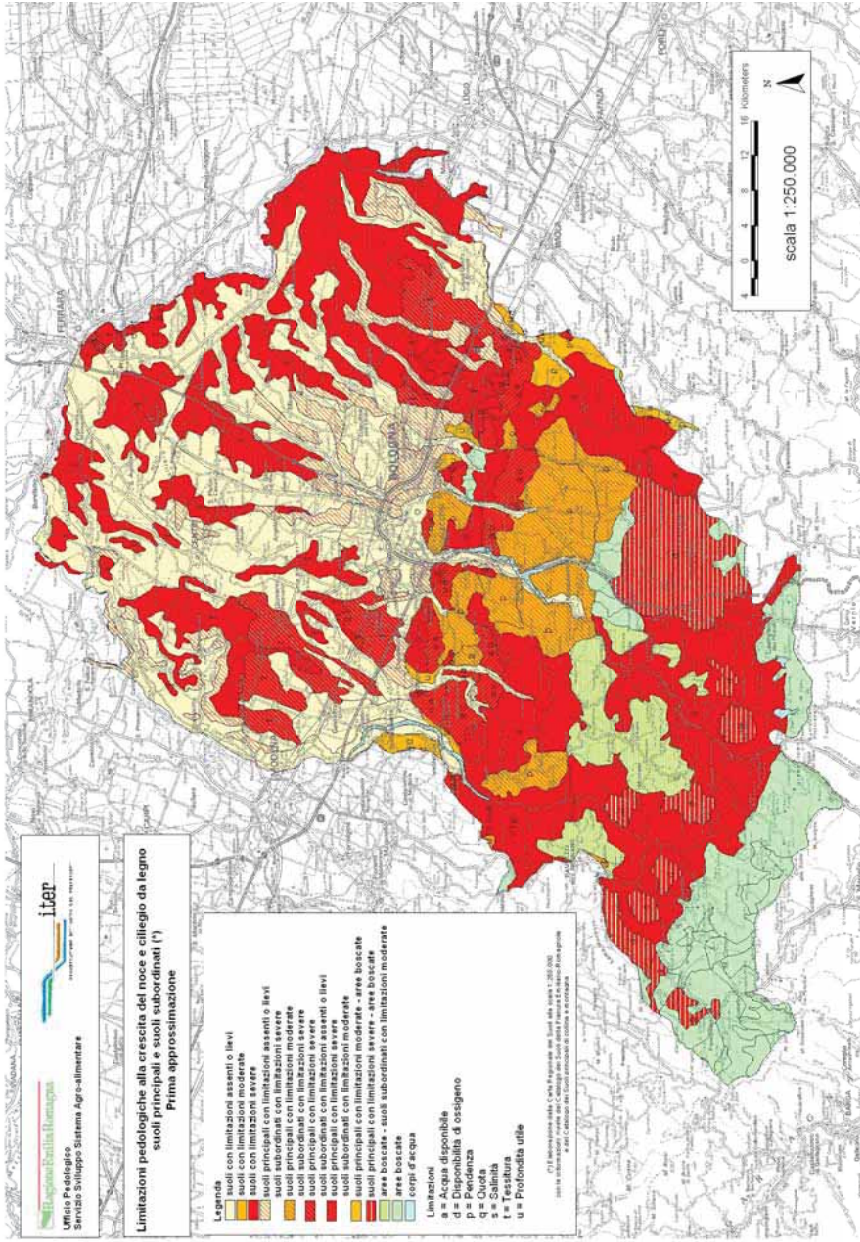


Figura 1. Primo prototipo (I.TER-RER 2001) della Carta delle limitazioni pedologiche per la crescita di nocce e ciliegio da legno realizzato per un'area campione sulla base dei dati della carta dei suoli in scala 1:250.000 della Regione Emilia-Romagna, ed. 1999.



Figura 2(a). Veduta dell'area di Castilenti (TE): si tratta di aree con pedopaesaggi evoluti su sedimenti incoerenti fini (limi argillosi) del plio-pleistocene con presenza forti fenomeni erosivi superficiali (calanchi).



Figura 2(b). Spesso gli impianti sono stati posizionati sulle testate delle aree incise, con risultato di contribuire a incrementare i fenomeni erosivi e a scarsi o nulli risultati in termini di attecchimento delle piante, a causa della asportazione del suolo fertile dovuta al livellamento dell'area di impianto.



Figura 3(a). Veduta dell'area di S.Demetrio né Vestini (AQ). I pedopaesaggi sono costituiti dalle conche e depressioni interne per lo più di origine tettono-carsica su depositi colluvio-alluviali.



Figura 3(b) Particolare di impianto di noce e del relativo suolo di origine colluviale (Typic Eutrudept, mixed, mesic, fine loamy –ST 2006; Haplic Cambisol (Calcaric, Chromic) WRB 2006); si è in presenza di una azienda efficiente, a noce comune o ciliegio montano sia misto che in purezza. La preparazione del suolo consiste in una lavorazione a due strati, ossia in una rippatura incrociata a 80 cm e in una aratura superficiale a 20-25 cm.

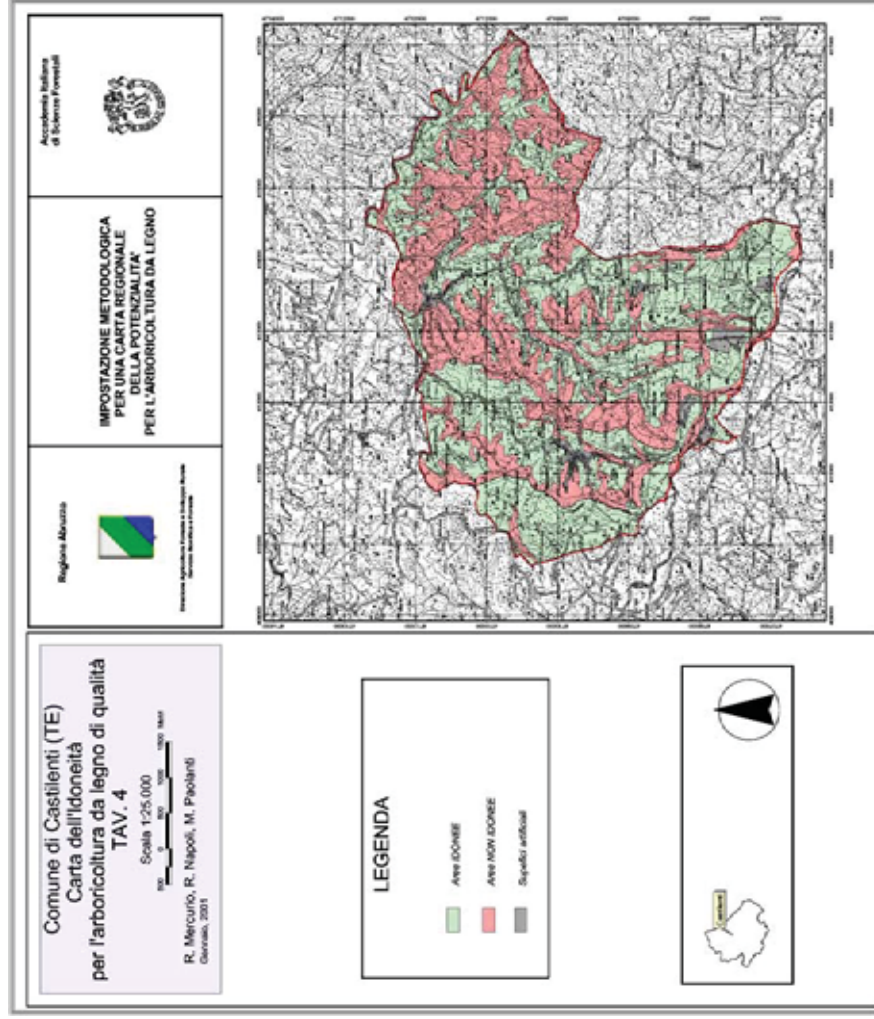


Figura 5. Esempio di cartografia tematica per l'individuazione di aree idonee alla arboricoltura di qualità (noce) per l'area pilota di Castilenti (TE).

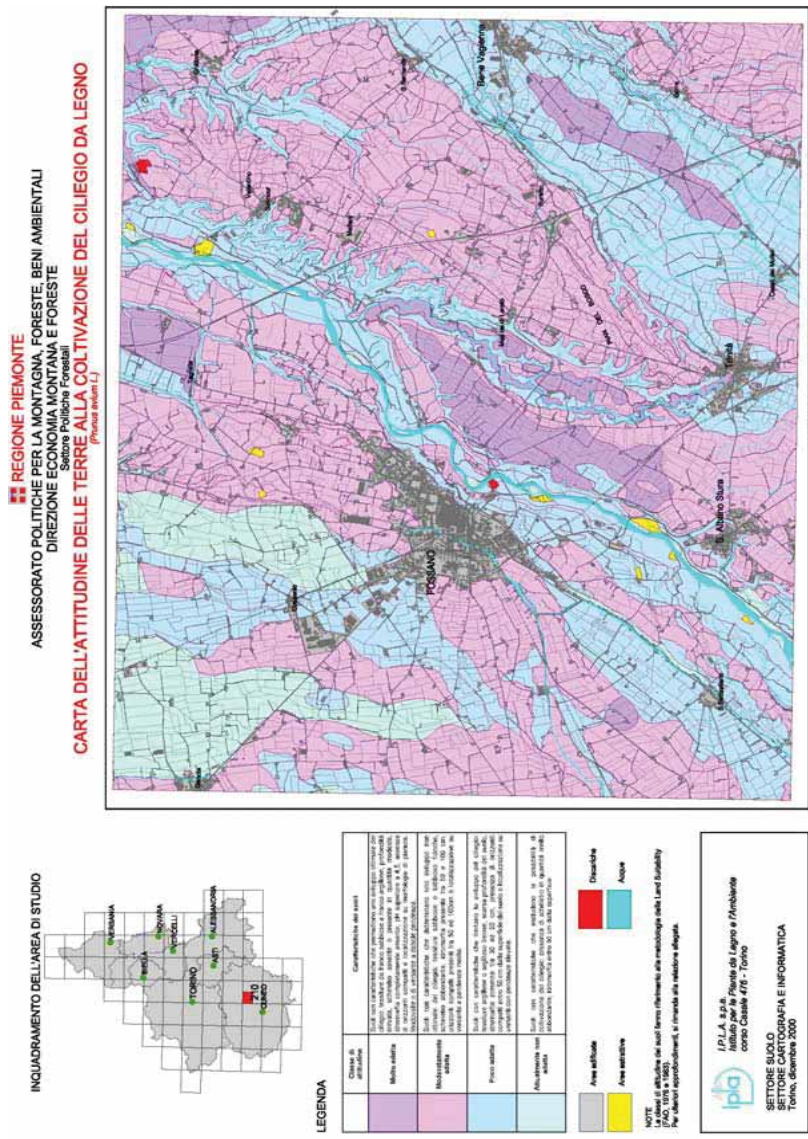


Figura 6. Esempio di cartografia tematica nella Regione Piemonte di ciliegio da legno in scala 1:50.000 su base CTR 1:25.000.

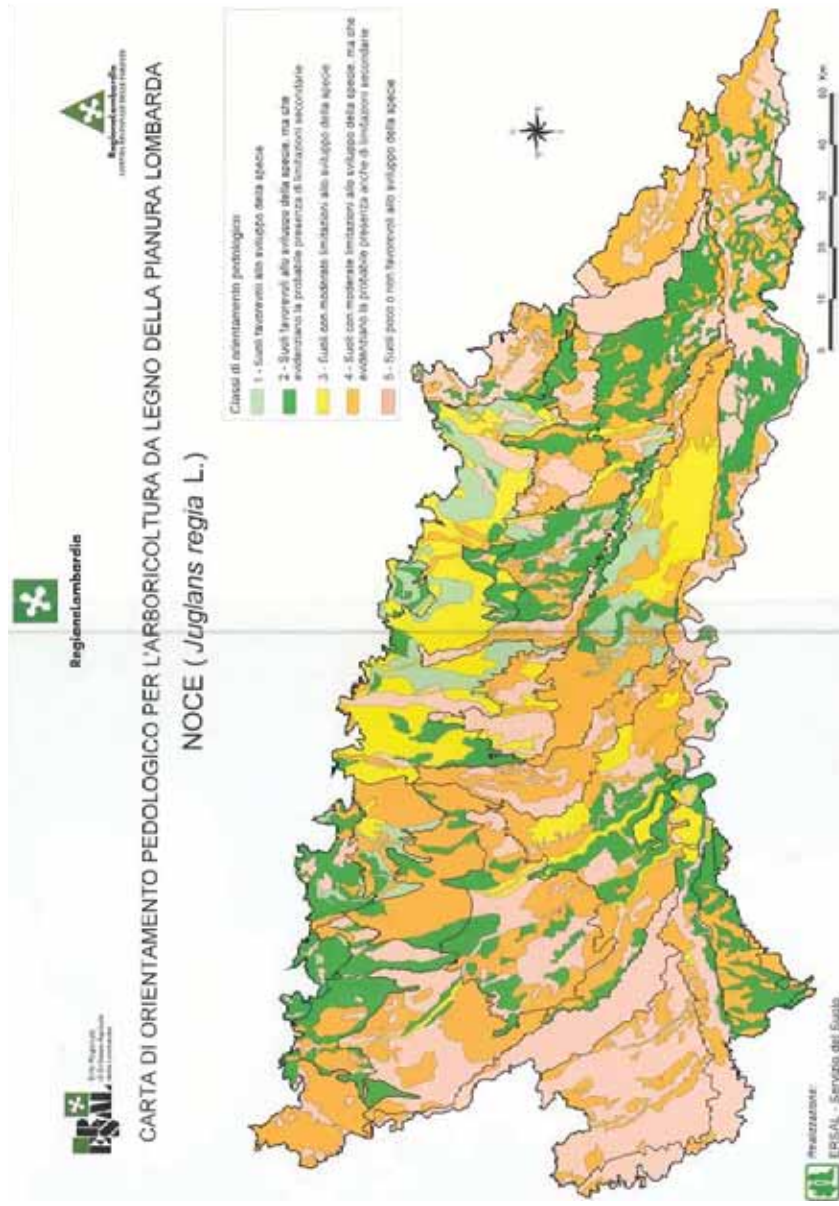


Figura 7. Carta dell'Orientamento Pedologico per l'Arboricoltura da Legno della Pianura Lombarda (Fonte Ersal-Servizio del Suolo, 2001).

Ministero delle Politiche Agricole, Alimentari e Forestali
Osservatorio Nazionale Pedologico e per la Qualità del Suolo Agricolo e Forestale

In collaborazione con:
International Union of Soil Sciences
Società Italiana della Scienza del Suolo
Commissione VI - Uso e Conservazione del Suolo

CALABRESE, F., DAZZI, C., 2006. *Agrumi*. In: Costantini, E.A.C. (Ed.), *Metodi di valutazione dei suoli e delle terre*, Cantagalli, Siena, pp. 922.

Collana dei metodi analitici per l'agricoltura diretta da Paolo Sequi, vol. 7

CRA - Consiglio per la Ricerca e la Sperimentazione in Agricoltura
Istituto Sperimentale per lo Studio e la Difesa del Suolo, Firenze

27. Agrumi

Francesco Calabrese¹, Carmelo Dazzi¹

27.1. Specie, prodotti, usi	3
27.2. Varietà.....	3
27.2.1. Arancio	4
27.2.2. Mandarino e mandarino simili	4
27.2.3. Limone	5
27.2.4. Pompelmo	5
27.2.5. Lime e limette	5
27.2.6. Cedro.....	5
27.3. Portinnesti	6
27.4. Esigenze delle piante e tecniche colturali	6
27.4.1. Clima	6
27.4.2. Alimentazione e fertilizzazione.....	7
27.4.3. Fabbisogno idrico e irrigazione.....	8
27.4.4. Gestione del suolo	10
27.4.5. Impianto, allevamento, potatura.....	11
27.4.6. Problemi sanitari e rimedi	12
27.5. Attitudine delle terre alla coltivazione degli agrumi.....	13
27.6. Caratteri funzionali dell'ambiente e produttività degli agrumi.....	14
27.6.1. Caratteri funzionali dei suoli e produttività degli agrumi.....	15
27.6.2. Caratteri funzionali del clima e produttività degli agrumi	16
27.6.3. Qualità dell'acqua irrigua e produttività degli agrumi	17
27.7. Considerazioni conclusive.....	17
Bibliografia	18

¹ Università di Palermo - Facoltà di Agraria

27.1. Specie, prodotti, usi

Col termine agrumi (*citrus*, *agrumes*, *citricos*, *agrios*, ecc.) si intende un gruppo di specie il cui frutto (esperidio) si caratterizza per avere il succo raccolto in vescicolette interne agli spicchi (o segmenti), a loro volta aderenti a un asse centrale (medula) e tra di loro (Calabrese, 1991; 2002). L'epicarpo è costituito

Genere: *Citrus*

Sottogenere I: *Eucitrus* (frutti eduli)

C. medica: cedro

C. limon: limone

C. aurantifolia: lime e limette

C. aurantium: arancio amaro

C. sinensis: arancio

C. reticulata: mandarino

C. grandis: pomelo

C. paradisi: pompelmo

C. indica

C. tachibana

da un albedo interno (parte bianca spugnosa) e un flavedo esterno, variamente pigmentato, che ingloba minuscole vescicole contenenti oli essenziali. Tutte le parti del frutto di varie specie possono essere utilizzate per fini commerciali: consumo fresco, succo, oli essenziali, "pastazzo" (residuo della spremitura) per l'alimentazione animale, pectine, coloranti, ecc. Il frutto di buona parte degli agrumi commestibili a maturazione è ricco di zuccheri (10-14%) e acidi (0,8-1,5%

in aranci, mandarini, clementine; 5,0-6,5% nel limone), con prevalenza dell'acido citrico e notevole contenuto di acido ascorbico (vitamina C) (40-70 mg per 100 cc di succo). Due arance al giorno soddisfano il fabbisogno umano giornaliero di tale vitamina. Notevole è anche l'apporto di provitamina A (carotenoidi) e, in alcuni frutti, anche di licopene (pompelmo e pomelo rosa) e antocianine (arance rosse) che, assieme all'acido ascorbico, sono potenti antiossidanti.

Gli agrumi sono i frutti più prodotti a livello mondiale (105.677.706 t nel 2003) (FAO, 2003). In Italia se ne producono 2.927.794 t complessive (2003), di cui 62% arance, 18% limoni, 16% mandarini e clementine (ISTAT, 2003). Alcuni Paesi producono quasi esclusivamente per il mercato fresco, altri (Argentina per il limone, Brasile per le arance, Messico e Portorico per le lime) trasformano una consistente parte in succo e in diversi prodotti secondari (limonene, bucce candite o essiccate, flavonoidi, essenze).

In Italia, la trasformazione industriale riguarda circa il 40% del prodotto; in particolare, si trasforma il 38% delle arance, il 60% dei limoni, il 14% dei clementine, il 14% dei mandarini e il 72% dei pompelmi (2001). Nel caso del bergamotto (Calabria), tutto il prodotto è avviato all'ottenimento dell'olio essenziale, impiegato in profumeria, cosmesi e in prodotti alimentari aromatizzati.

27.2. Varietà

Le varietà in alcune specie (arancio, mandarino e mandarino-simili) sono numerose, mentre in altre (limone, lime, cedro, pompelmo), poche (AA.VV., 1967; Spina, 1990).

27.2.1. Arancio

Nell'arancio (specie più coltivata al mondo), le cultivar si dividono commercialmente in quattro gruppi (Calabrese, 1991; 2002): bionde ombelicate; bionde non ombelicate; pigmentate rosse; "vaniglia" (in italiano) o "acidless" (in inglese). Al gruppo delle ombelicate si ascrivono varietà di grande pregio e diffusione: Navelina, New Hall, Washington navel, Navelate, Lanelate (nell'ordine di maturazione, da fine ottobre a maggio nel Mediterraneo). Si tratta di varietà destinate prevalentemente al mercato fresco. Tra le bionde non ombelicate domina la Valencia che, assieme alla Washington navel, rappresenta la cultivar più ampiamente diffusa a livello mondiale. Tra le altre vanno ricordate: Shamouti (Israele), Ovale calabrese (Italia), Verna e Salustiana (Spagna), Pera (Brasile). La Valencia è a maturazione tardiva (aprile-giugno nel Mediterraneo), a duplice attitudine (fresco e trasformato), con frutti molto ricchi in succo (48-50%). Il gruppo delle varietà a frutto pigmentato rosso è allocato quasi esclusivamente nel Mediterraneo, con epicentro in Italia, dove incide per più del 70% sulla produzione di arance. La cultivar prescelta è la Tarocco, con vari cloni (oggi i preferiti sono Scirè e Gallo). Il frutto è subacido. Il succo dell'arancia rossa è monopolio dell'Italia. Il quarto gruppo, quello delle varietà che producono un'arancia a basso contenuto di acidi (0,1-0,2% riferito al succo) è poco noto; si trova in vari paesi: Sud America, India, Pakistan, Tunisia, ecc. In Italia si ha una varietà, chiamata Vaniglia apireno, a frutto senza semi e serbevole anche all'albero, coltivata in Sicilia tra Ribera e Castelvetro. Questo tipo di arancia risponde bene alle esigenze di coloro che soffrono di problemi gastrici.

27.2.2. Mandarino e mandarino simili

Questi agrumi, noti internazionalmente come "easy peeling" (facili da sbucciare) e diffusi in tutti i continenti, si possono aggregare in cinque gruppi (Calabrese, 1991; 2002): satsuma, king, mandarini veri e mediterranei, tangerini, mandarini a frutto piccolo. I satsuma sono molto noti in Oriente (di grandissima importanza in Giappone). Nel Mediterraneo l'unico Paese che li coltiva in forma massiccia è la Spagna. Si tratta di mandarini a maturazione precoce (fine di settembre-novembre), a frutto apireno, immessi sul mercato con l'epicarpo verde. Aprono la stagione agrumicola. I king sono mandarini orientali, di scarso valore commerciale, a buccia rugosa, con semi. I mandarini veri e mediterranei sono diffusi in Oriente (cv. Ponkan) e nel Mediterraneo (oggi quasi esclusivamente in Italia, con le cultivar Avana, in declino, e Tardivo di Ciaculli). Nel gruppo dei tangerini si inseriscono numerose cultivar e ibridi di *Citrus reticulata*, a frutto apireno o con semi, a varia epoca di maturazione, eterogenee nella morfologia e al gusto. Anche i clementine del Mediterraneo si possono collocare commercialmente in questo gruppo (geneticamente si tratta

di tangor, nome che designa gli ibridi tra il mandarino e l'arancio, sia amaro che dolce). I clementine sono oggi i mandarini più diffusi e consumati in Europa. Esistono varie cultivar a maturazione scalare (ottobre-febbraio) tra cui Marisol, Nules, Hernandina, Clementine tardivo. Il gruppo dei mandarini a frutto piccolo si trova in Oriente. Non ha alcuna importanza commerciale a causa della modesta pezzatura dei frutti e della presenza di semi.

27.2.3. Limone

Si tratta di una specie quasi esclusivamente coltivata nel Mediterraneo, in California e in Argentina. Sono poche le varietà. In Italia prevale il gruppo Femminello; in Spagna dominano le cultivar Fino e Verna; in California, Lisboa e Eureka; in Argentina, la Genoa. Il frutto del limone è destinato al consumo fresco e alla trasformazione industriale. Gli oli essenziali del limone italiano sono i più apprezzati al mondo.

27.2.4. Pompelmo

Poche sono le varietà di pompelmo coltivate: Marsh (a polpa chiara), Redblush o Ruby (a polpa rosa-rossa) nei paesi caldi, Star Ruby (a polpa rosa) anche nei paesi meno caldi, dove mantiene la colorazione rosa in inverno. La pigmentazione rosa-rossa è data dal licopene, termolabile, degradato progressivamente dall'abbassamento della temperatura. È la naringina, maggiormente concentrata in ambienti freddi (compreso il Mediterraneo), a dare sapore amarognolo al frutto.

27.2.5. Lime e limette

Le lime sono agrumi a frutto acido o dolciastro. Nel primo caso surrogano il limone nei paesi caldi. Hanno oli essenziali particolari, impiegati in profumeria e cosmesi. La cultivar più diffusa è la Messicana, a frutto piccolo e ricco di semi. La Persian o Tahiti e la Bearss, invece, producono un frutto apireno, delle dimensioni di un limone. La lima dolce (per bassa acidità) più diffusa è la Lima di Palestina, usata in passato anche come portinnesto. Le limette, diffuse nel Mediterraneo, a frutto acido (Marocco), o dolciastro, hanno scarso valore commerciale.

27.2.6. Cedro

È questo un agrume noto fin dall'antichità, usato anche per fini religiosi (durante la Festa dei Tabernacoli dagli Ebrei) (Calabrese, 2004). Interessa soprattutto la trasformazione industriale per l'ottenimento delle bucce (albedo

molto spesso) candite. Si coltiva in piccola scala in Italia (Calabria) e a Porto Rico. La migliore cultivar è la Diamante o Liscia di Diamante.

27.3. Portinnesti

Oggi, i portinnesti più diffusi al mondo appartengono al gruppo dei citrange (ibridi di *Poncirus* per arancio), per via della loro resistenza a una gravissima malattia chiamata Tristezza. È ancora in uso l'arancio amaro (in alcuni paesi del Mediterraneo, ma non in Spagna), agrume sensibile al virus della Tristezza, ma non quando è innestato col limone. Altri portinnesti meno usati sono: citrumelo Swingle, Rough lemon, mandarini Cleopatra e Sunki. Col ritrovamento di focolai di Tristezza anche in Italia, si è posto il problema della sostituzione dell'arancio amaro, attualmente portinnesto quasi esclusivo negli impianti del nostro Paese, perché sensibile alla virosi in combinazione con arancio, mandarini, pompelmo ed altre specie. La Regione Sicilia ha scelto la strada di indirizzare l'aiuto pubblico soltanto agli agrumeti che escludano l'arancio amaro, tranne nei casi in cui non vi siano portinnesti alternativi che si adattino ai terreni e alle acque di irrigazione. Anche nel nostro Paese la scelta va verso i citrange, purché su di essi non si innestino marze portatrici di altre malattie (soprattutto exocortite) e negli impianti si effettuino potature attente ad evitare la contaminazione da piante infette a quelle sane. È bene sapere, infine, che i citrange sono meno tolleranti dell'arancio amaro al calcare e ai sali delle acque e del suolo.

27.4. Esigenze delle piante e tecniche colturali

27.4.1. Clima

Gli agrumi, con buona approssimazione, possono essere coltivati tra il 40° latitudine Nord e il 40° latitudine Sud. Le singole specie, però, manifestano esigenze climatiche diverse. Gli agrumi più tolleranti nei confronti del freddo (fino a -2°C) sono il *Poncirus* (a foglia caduca), alcune cultivar del *Citrus reticulata* e il genere *Fortunella* (kumquat o mandarino cinese). I meno tolleranti sono le lime, già danneggiate in prossimità di 0°C, a cui segue il limone. Lo zero vegetativo è situato tra 12 e 13°C per la massima parte delle specie. Le migliori condizioni per l'attività vegetativa sono comprese tra 24 e 30°C. L'arresto è intorno ai 38°C. Temperature superiori a 40°C sono tollerate meglio in presenza di elevata umidità ambientale. Danni si manifestano se le alte temperature sono accompagnate da bassa umidità atmosferica (< 50%) e vento. Sono i fiori, i frutticini e le parti più tenere della pianta che subiscono danni. I più esigenti di calore sono i pomeli ed i pompelmi a colorazione rosa, il cui pigmento (licopene) è gradualmente distrutto dal freddo (già al di sotto di

13-14°C). I frutti di queste specie sono più acidi e amari (per il più elevato contenuto di naringina) nel Mediterraneo. La migliore qualità si ottiene nelle aree tropicali. Al contrario, le arance pigmentate rosse abbisognano di basse temperature (< 13-14°C) durante la maturazione per assumere la migliore tinta. In ambienti freddi (media invernale < 10°C), però, queste stesse varietà, pur pigmentando eccellentemente, producono un frutto troppo acido anche a completo stadio di maturazione. Il loro migliore *habitat*, quindi, è geograficamente ristretto. Come norma generale si può dire che i carotenoidi (che danno il colore arancione) si sintetizzano in maggior misura nelle terre comprese tra il trentaduesimo ed il quarantesimo parallelo. Più si va verso l'equatore e più sbiadita o assente è la presenza di questi pigmenti nel frutto maturo. I frutti della stessa specie ottenuti nei climi tropicali e umidi sono più succosi e meno provvisti di zuccheri e acidi di quelli degli ambienti temperato-caldi. Le migliori qualità commerciali complessive per le arance e i mandarini si ottengono in questi ultimi climi (Mediterraneo, California, Argentina, ecc.).

L'apporto naturale d'acqua è poco considerato nel caso degli agrumi, dato che in penuria di piogge si ricorre all'irrigazione. Vi sono ottimi agrumeti in zone subdesertiche.

27.4.2. Alimentazione e fertilizzazione

Gli elementi maggiormente utilizzati dagli agrumi sono: azoto, calcio e potassio. Il fosforo è necessario in quantità minori. I microelementi (zinco, manganese, magnesio, ferro, ecc.), pur se necessari in modesta quantità, incidono molto sull'armonia vegeto-produttiva delle piante e sulla qualità dei frutti (AA.VV., 1968).

Nella tabella 27.1 vengono riportate le percentuali dei principali elementi nelle foglie di 4-7 mesi di età, del flusso primaverile, collocate nell'area equatoriale ed esterna della chioma, in rametti privi di frutti. Nella pratica, basta controllare periodicamente negli anni il contenuto minerale (riferito al peso secco) delle foglie per rendersi conto della situazione alimentare dell'agrumeto. Per mantenere lo stato nutritivo ideale bisogna restituire annualmente all'impianto ciò che gli viene sottratto attraverso l'allontanamento del frutto e della legna di potatura, per lisciviazione e gassificazione. Nel Mediterraneo, i quantitativi medi di tali asportazioni annue, rapportati a 30 tonnellate di produzione, sono forniti nella tabella 27.2 (Calabrese, 1988). La concimazione viene effettuata dopo la raccolta, in unica soluzione (poco prima della ripresa vegetativa) o in due tempi per l'azoto (fine inverno, inizio estate). Maggiore frequenza è necessaria nei terreni a tessitura grossolana, dove l'apporto può essere frazionato anche in 3-4 occasioni. Per le cultivar a maturazione tardiva tutta la concimazione va effettuata in estate, dopo l'arresto vegetativo (in Italia intorno alla metà di luglio). Nei casi, sempre più frequenti, di fertirrigazione, gli elementi della nutrizione vengono forniti dall'inizio dell'estate (dopo la

cascola di giugno) sino alla fine dell'estate. Questa pratica deve essere bene gestita, soprattutto nei mandarineti, nei clementineti e negli aranceti con cultivar vegetativamente poco stabili (Brasiliano di Ribera, Ovale Calabrese, ecc.), se non si vuole provocare una forte cascola a seguito dello stimolo vegetativo indotto, soprattutto a inizio estate. In alcune aree della Sicilia, microcarenze di zinco, magnesio e manganese vengono corrette con irrorazioni alla chioma.

Tabella 27.1. Contenuto di elementi nutritivi in foglie di arancio di 4-7 mesi, del ciclo primaverile, appartenenti a rametti privi di frutti (Cohen, Israele, in Calabrese, 1988).

Elemento	Quantitativo su sostanza secca	Valore di deficienza	Carenza moderata	Optimum	Livelli alti	Valore di eccesso
Azoto	%	2,2	2,2-2,4	2,5-2,7	2,8-3,0	3,0
Fosforo	%	0,09	0,09-0,11	0,12-0,16	0,17-0,29	0,3
Potassio	%	0,7	0,7-1,1	1,2-1,7	1,8-2,3	2,4
Calcio	%	1,5	1,5-2,9	3,0-4,5	4,6-6,0	7,0
Magnesio	%	0,2	0,20-0,29	0,30-0,49	0,50-0,70	0,8
Zolfo	%	0,14	0,14-0,19	0,20-0,39	0,40-0,60	0,6
Boro	ppm	20	20-35	36-100	101-200	260
Ferro	ppm	35	35-49	50-120	130-200	250
Manganese	ppm	18	18-24	25-49	50-500	1000
Zinco	ppm	18	18-24	25-49	50-200	200
Rame	ppm	3,6	3,7-4,9	05-12	13-19	20

Tabella 27.2. Quantificazione delle asportazioni (in Kg) di elementi in un aranceto della Sicilia (con 30 t di produzione) (Calabrese, 1988).

Asportazioni e perdite	N	P	(P ₂ O ₅)	K	(K ₂ O)	Ca	Mg
Frutti	42	7,50	(17,10)	45,00	(54,20)	17	10,5
Potatura	29	1,00	(2,29)	4,5	(5,40)	66,5	2,0
Lisciviazione	70?	4,50	(9,50?)	25,00?	(30,00?)	41,5?	6,0?
Gassificazione	30?						
TOTALE	171	13,00	(28,89)	74,50	(89,60)	125,0	18,5

? = dato incerto e/o variabile.

27.4.3. Fabbisogno idrico e irrigazione

Gli agrumi coltivati sono originari di zone asiatiche umide. Per questo gli alberi hanno apparato radicale molto superficiale. Negli ambienti dove si hanno periodi siccitosi, come il Mediterraneo, si interviene con le irrigazioni. Queste variano molto in volume e turno, in dipendenza della tessitura del suolo e del

metodo irriguo. Riguardo a quest'ultimo, va detto che in Italia il metodo preferito è a microgittata ("baffo" o "farfalla"), con erogazione di $40-80 \text{ L h}^{-1}$, pressione di circa 1,5 bar, gittata radiale di circa 1,5-2,0 metri. Il metodo a goccia è poco applicato, soprattutto a causa del fatto che i consorzi distribuiscono l'acqua in maniera poco collimante coi bisogni temporali delle piante e spesso in quantità insufficiente.

In alcune aree del Meridione, dove la piovosità è dell'ordine di 500-600 mm anno^{-1} , le acque utilizzate per l'irrigazione sono spesso troppo ricche di sali, con conducibilità che può superare i $2,5 \text{ dS m}^{-1}$. Cosa, questa, che viene tenuta in conto (tabella 27.3) per la scelta del portinnesto (l'arancio amaro in passato è stato prediletto anche per la buona tolleranza a queste acque). Abbandonato ormai il metodo a sommersione per la sua scarsa efficienza (intorno al 30-35%), i metodi a bassa pressione e localizzati (efficienza superiore all'80%) consentono forti risparmi d'acqua. Nei suoli a tessitura tendenzialmente franca (come buona parte delle Terre Rosse costiere del Mediterraneo) volumi di $250-300 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ per singola adacquata sono sufficienti per inumidire il profilo del suolo fino a 60-80 cm, ove è presente la massima parte del capillizio radicale. In questi suoli si adottano generalmente turni di circa 15 giorni, con inizio intorno alla metà di giugno. Non sempre si è in condizioni di operare razionalmente. Anzi, non è infrequente il caso, soprattutto in Sicilia, di scarsa disponibilità idrica. Ragione vuole che non si lesini acqua nella fase di moltiplicazione cellulare del frutto e in quella di prima distensione, ma, semmai, si salti qualche adacquata a fine estate.

Tabella 27.3. Decremento di produzione indotto dalla crescente salinità dell'acqua irrigua, per portinnesto di media tolleranza (Ayers e Westcot, 1985).

ECw (dS m^{-1})	Decremento (%)
1,1	0
1,6	10
2,2	25
3,2	50

ECw = conducibilità elettrica dell'acqua irrigua.

In alcune aree costiere della Sicilia, in suoli a tessitura tendenzialmente sciolta, le irrigazioni sono effettuate a ritmi brevi (7-8 giorni) e volumi ridotti ($180-200 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ col microgetto). Applicando la fertirrigazione, i turni e i volumi assicurano anche la continuità dell'alimentazione minerale. Nel caso del limone, là dove si pratica la "forzatura" per ottenere frutti da raccogliere nella successiva estate (verdelli), l'irrigazione o si inizia a luglio o si sospende a fine giugno, fino a provocare una visibile disidratazione delle foglie. A tale punto si riprende ad irrigare e si somministrano moderate quantità di fertilizzanti.

In Italia non vengono generalmente usati tensiometri o altri metodi oggettivi per la misurazione dello stato idrico del terreno. Per questo vi è

empirismo nello stabilire l'inizio della stagione irrigua. Le stesse vasche evaporimetriche, indicative per aree territoriali omogenee, sono poco impiegate (e solo dalle Istituzioni Pubbliche). Dove esistono i consorzi sono questi a decretare l'apertura e la chiusura della stagione irrigua, secondo la disponibilità dei bacini. In Sicilia è stato creato un servizio regionale che informa telematicamente gli agricoltori di come irrigare e quando, anche in relazione alla fenologia della pianta (www.sias.regione.sicilia.it, verificato il 31/1/2005).

27.4.4. Gestione del suolo

Nella coltura degli agrumi, l'attenzione dedicata al suolo varia in dipendenza di molteplici fattori. Ciò che è valido in alcuni ambienti può non esserlo in altri. Le erbe, spontanee o seminate, ad esempio, arrecano un vantaggio o uno svantaggio a seconda dei casi. In Italia si applicano le seguenti tipologie di intervento al terreno: diserbo meccanico, diserbo chimico, non coltura (Calabrese, 2002).

La prima pratica è la più diffusa e la meno inquinante. Essa fa uso di attrezzi meccanici, i quali, operando molto superficialmente, trovano impiego con il precipuo scopo di eliminare le erbe infestanti nel periodo in cui esse sono veramente nocive, cioè in primavera-estate. Solitamente sono sufficienti un paio di interventi molto superficiali. Un altro intervento si effettua a fine inverno per l'interramento dei concimi. A poco a poco è stata abbandonata l'idea di tenere perennemente il terreno sgombro da erbe. Non vi è motivo che queste, in autunno-inverno (periodo delle piogge nel Mediterraneo), vadano soppresse, perché, anzi, svolgono la funzione di ridurre la costipazione del suolo per i passaggi umani e meccanici e controllano l'erosione nei suoli in pendio; inoltre, le erbe interrate a fine inverno danno un notevole apporto organico, calcolato intorno a 20-30 t ha⁻¹ di materia fresca. È questo, in pratica, l'unico ritorno di materia organica nella coltura convenzionale, dal momento che la pratica della letamazione è del tutto scomparsa dagli agrumeti italiani. Va tenuto in conto, tuttavia, che, là dove si temono gelate, non è conveniente lasciare un cotico erbaceo perché con esso la temperatura prossima al suolo si porta a valori leggermente più bassi di quelli dei terreni nudi non lavorati.

Il diserbo chimico si è andato sempre più diffondendo nel nostro Paese. In questo caso le erbe spontanee vengono controllate con specifici prodotti. In passato, quelli più utilizzati agivano selettivamente in pre-emergenza. Oggi si va verso quelle formulazioni i cui principi attivi (tipo glifosato), penetrati nelle piante, traslocano verso le radici, dove si accumulano uccidendo le cellule. Questi prodotti sono preferiti ai disseccanti per contatto (tipo gramoxone) e, tra l'altro, hanno il vantaggio di degradarsi con rapidità nel terreno.

I diserbanti sono necessari nel caso della "non coltura", quando la macchina è determinatamente esclusa. Questa pratica consente il massimo di automazione di operazioni quali l'irrigazione e la concimazione. La

conseguenza è l'abbassamento dei costi a cui prioritariamente l'impresa agrumicola tende.

In Italia, di aziende agrumicole condotte con inerbimento pilotato o naturale estivo ve ne sono poche, a motivo del maggiore fabbisogno idrico. E nel Meridione la penuria d'acqua è un problema oggettivo. L'inerbimento è soprattutto giustificabile nei limoneti perché le erbe spingono in basso le radici delle piante e riducono le infezioni di mal secco attraverso la penetrazione radicale (mal fulminante).

27.4.5. Impianto, allevamento, potatura

L'impianto viene oggi effettuato con piante allevate in fitocelle. Nella scelta delle distanze e dei sestii, un ruolo determinante è svolto dal portinnesto e dal vigore della cultivar che vi è innestata (AA.VV., 1973). I sestii a geometria rettangolare (6x4 m – 7x5 m) oggi sono quelli preferiti perché consentono la costituzione di barriere vegetali continue lungo le file, staccate dalle attigue, consentendo i movimenti umani e meccanici.

La densità risente molto della strategia culturale, se, cioè, si vuole scegliere l'impianto definitivo o quello "dinamico", che prevede l'eliminazione di un certo numero di alberi quando questi si "serrano" e sovrappongono i loro manti vegetativi. Vi sono, poi, portinnesti nanizzanti, come il Flying dragon, che consentono di adottare distanze brevi (2,5 – 3 m nella fila, 4 m nell'interfila).

La forma prediletta negli impianti moderni è quella a "chioma piena", con la vegetazione che si adagia al suolo o si stacca poco da esso per tagli orizzontali della parte più bassa della chioma (forma a "gonna"), eseguiti al fine di evitare, in alcune situazioni, che i patogeni del terreno attacchino i frutti e le foglie più basse.

Qualsiasi taglio nella fase giovanile rallenta l'accrescimento degli alberi e, per questo, si tende ad abbandonare la consuetudine di educare le piante a una forma obbligatoria. Così facendo le piante crescono in maniera più naturale e assumono forme cespugliose, in cui l'unica operazione indispensabile è il raccorciamento della freccia di prolungamento a una certa età (3-4 anni dall'impianto). Nelle piante adulte, l'unico concetto che guida la potatura è il mantenimento di una chioma che "respiri" per il passaggio dell'aria e della luce. Ciò si ottiene con tagli di diradamento di branche e branchette che occupano spazi riempiti da altra vegetazione. L'agrumo ha bisogno di diradamenti piuttosto che di raccorciamenti. I tagli possono avere cadenza pluriennale, soprattutto se le piante sono giovani e appartengono a particolari specie (limone, pompelmo). Sono principalmente i mandarini e i mandarino-simili che abbisognano di potatura annuale, più incisiva. I succhioni non vengono soppressi acriticamente, dato che essi si rendono produttivi in pochi anni.

Perciò, sono eliminati quelli che si inseriscono sul tronco, sulle grosse branche e quelli “chiusi” da altra vegetazione.

Nel limone, la potatura può avere valenza sanitaria per eliminare tempestivamente branche e branchette che mostrano segni di mal secco. La potatura si effettua sempre dopo la raccolta e cade nella maggior parte dei casi a fine inverno, tranne che per le cultivar tardive (Valencia, Lanelate, ecc.), su cui si opera in estate (dopo l'arresto vegetativo). Nel limone è preferita la potatura a fine marzo-primi di aprile (poco prima dell'emissione dei bottoni fiorali) per sfuggire per quanto possibile alle infezioni del *Phoma* (causa del mal secco) favorite dai venti e dall'umidità. La potatura estiva che prima veniva raccomandata non è più consigliabile perché i nuovi germogli, che si formano in successione, vengono attaccati nelle foglie dalla minatrice serpentina (*Phyllocnistis citrella*). La potatura meccanica, che consente risparmi di tempo anche dell'ordine del 90%, in Italia non si è mai affermata. La macchina non esegue diradamenti, ma raccorciamenti, e non sono questi i tagli più indicati per gli agrumi. La macchina, quindi, sarebbe l'ultima *ratio* in caso d'impossibilità di servirsi del lavoro umano. Meglio rispondente è la potatura “agevolata”, la quale fa uso di attrezzature da taglio pneumatiche, che fanno risparmiare anche il 40% circa sui tempi di lavoro.

27.4.6. Problemi sanitari e rimedi

Tre sono oggi i grandi problemi sanitari degli agrumi: mal secco, tristezza, mosca della frutta. Gli altri sono gestibili con appropriati controlli. Il mal secco (*Phoma tracheiphila*) è malattia endemica che attacca le piante di limone con infezioni che partono dalla parte apicale dei rami e si muovono ad andamento basipeto, oppure attaccano le radici (mal fulminante). Nessun tentativo di lotta con mezzi chimici risulta praticabile o per l'inefficacia o per i costi. L'unico strumento a disposizione degli agricoltori sta nella scelta di cultivar tolleranti (non resistenti), e oggi ve ne sono. Ciò, però, riguarda i nuovi impianti.

Il problema della tristezza (virus CTV), è sorto negli ultimissimi anni, soprattutto a causa dell'importazione di materiale infetto. Questa, oggi, è la più grave minaccia per l'arancicoltura, la mandarinicoltura e la pompelmicoltura italiana, perché le piante si trovano quasi esclusivamente innestate su arancio amaro, con combinazioni di innesto sensibili al virus. L'unico effettivo rimedio, perciò, risiede nel cambio del portinnesto, e riguarda solo i nuovi impianti.

La terza grave avversità è la mosca mediterranea della frutta (*Ceratitis capitata*), la quale in autunno depone sui frutti e rovina l'epicarpo con chiazze precocemente dechlorofillizzate. I frutti possono disarticolarsi e cadere. In questo caso, i mezzi chimici ci sono e sono efficaci, ma ciò impedisce la coltura biologica.

27.5. Attitudine delle terre alla coltivazione degli agrumi

Anche se i notevoli progressi compiuti dal miglioramento genetico e dalle tecniche colturali consentono di ottenere agrumeti in condizioni non ottimali, la realizzazione di una agrumicoltura di qualità deve essere preceduta da una oculata analisi dell'ambiente in cui le piante devono vegetare e produrre; clima, suolo e qualità dell'acqua irrigua sono sicuramente i principali fattori da considerare. Particolare attenzione merita la scelta del portinnesto (tabella 27.4).

Tabella 27.4. Requisiti ottimali per la coltivazione degli agrumi, anche ai fini della qualità.

REQUISITI	CONDIZIONI
Climatici	
Temperatura	$> 3^{\circ}\text{C}; < 30^{\circ}\text{C}$
Temperatura minima assoluta	$0 - 1^{\circ}\text{C}$
Umidità atmosferica	$> 50\%$
Precipitazioni	Integrabili dall'irrigazione fino a $900-1.000 \text{ mm anno}^{-1}$
Pedologici	
Profondità	$> 60 \text{ cm}$
Tessitura	franca o tendenzialmente tale
Permeabilità	$50 - 150 \text{ mm h}^{-1}$
Drenaggio	buono
Disponibilità di ossigeno	elevata e costante
Reazione (pH)	preferibilmente $6,5 - 7,5$
Salinità del suolo	su arancio amaro $< 3,5 \text{ dS m}^{-1}$ su citrange $< 2,5 \text{ dS m}^{-1}$
Calcare attivo	su arancio amaro $< 10\%$ su citrange $< 7\%$
Gestionali	
Salinità dell'acqua irrigua	su arancio amaro $< 3,0 \text{ dS m}^{-1}$ su citrange $< 2,0 \text{ dS m}^{-1}$

Il clima è un fattore di decisiva importanza per la coltura degli agrumi, i quali in zone climaticamente non idonee hanno una vegetazione stentata e forniscono produzioni di modesta qualità. Anche se le singole specie manifestano esigenze climatiche diversificate, generalizzando, si può affermare che le temperature minime e massime entro le quali gli agrumi non risentono di alcun danno sono comprese tra 2 e 38°C . Comunque, le temperature ottimali per l'attività vegetativa (che ha inizio a circa 13°C), e per quella produttiva, sono comprese tra 18 e 28°C . In alcune specie, temperature più basse, anche di molto, di 20°C durante la fase di maturazione, migliorano la qualità del frutto. Le basse temperature, in corrispondenza delle quali le piante incominciano a subire i primi leggeri danni, sono quelle inferiori a 2°C .

Temperature alte, superiori a 40°C, causano danni per disseccamento delle foglie, a cominciare dai margini e da quelle più tenere, arresto dello sviluppo dei frutti e deprezzamento della produzione. Sia per le basse che per le alte temperature occorre sottolineare che l'effetto negativo dipende da fattori intrinseci alla pianta (specie, varietà, stato vegetativo, portinnesto, ecc.) e estrinseci (cure colturali, tipologia di suolo, pioggia, vento, ecc.). In genere, però, sono le basse temperature quelle che, nel nostro ambiente, si rivelano le più dannose agli agrumi.

Le piogge insufficienti e mal distribuite, che caratterizzano l'ambiente mediterraneo, assicurano al massimo la metà del fabbisogno idrico degli agrumi, il quale, adottando i più moderni metodi di irrigazione tubata e localizzata, viene valutato sui 900-1.000 mm all'anno, con un'ampia variabilità dovuta alle caratteristiche del suolo, alla specie, al portinnesto. Le piogge autunnali hanno un effetto favorevole sia sulla vegetazione che sulla pezzatura e qualità della produzione, mentre le piogge invernali abbondanti, soprattutto nei suoli "pesanti", sono pericolose perché attivano il marciume asfittico e parassitario. Sempre con riferimento al clima e alle sue relazioni con altitudine ed esposizione, occorre sottolineare come nell'areale di coltivazione degli agrumi (Italia Meridionale ed Isole) il limite altitudinale non dovrebbe superare i 350 metri. Più ci si spinge verso il limite nord della coltura (40° parallelo) più si deve ridurre l'altitudine. In caso di esposizione ai venti, freddi o caldi, vanno installati frangiventi. I fondivalle possono essere soggetti a gelate dalle quali qualche volta ci si difende installando pale rotanti, sostenute da piloni metallici, che hanno la funzione di invertire la fuga del calore dagli strati più bassi. Nei riguardi del suolo, gli agrumi si adattano a molte tessiture, tranne che a quelle a notevole prevalenza di particelle fini. I migliori risultati si ottengono nei suoli franchi, fertili, profondi, con buona dotazione in sostanza organica, permeabili e ben drenati, anche se alcuni portinnesti si possono impiegare in terreni tendenzialmente compatti (purché sgrondanti), e sabbiosi (a bassa ritenuta idrica e minerale). Il pH più rispondente è compreso tra 6,5 e 7,5 ma vi sono portinnesti con cui si può superare facilmente questo range. In Italia, ad esempio, è possibile con l'arancio amaro.

Gli agrumi sono piante estremamente bisognose di ossigeno. In carenza di ricambio d'aria, come avviene nei suoli argillosi ed asfittici, l'apparato radicale, alla ricerca di ossigeno, risale nel terreno. L'irrigazione rappresenta un fattore indispensabile nel Mediterraneo. Riguardo alla qualità delle acque impiegate, queste devono rispondere ai requisiti di cui al paragrafo 27.6.3.

27.6. Caratteri funzionali dell'ambiente e produttività degli agrumi

In Italia, non sono note esperienze di valutazione delle terre alla coltivazione degli agrumi. È necessario, perciò, fare riferimento ai dati tratti dalla letteratura,

ma con un'osservazione di fondo che si rifà ai canoni fondamentali della "*Land Suitability*", attinenti la valutazione in termini di idoneità alle condizioni locali. Essendo la Sicilia la regione d'Italia ove gli agrumi sono maggiormente diffusi, per formulare uno schema metodologico volto alla definizione dell'adattabilità delle terre all'agrumicoltura, viene fatto riferimento a essa per gli aspetti relativi al suolo, al clima, alla morfologia e alla qualità delle acque.

27.6.1. Caratteri funzionali dei suoli e produttività degli agrumi

Come già evidenziato, fra i parametri pedologici che influenzano la risposta produttiva degli agrumi, rivestono importanza soprattutto la tessitura, la reazione e la permeabilità. Per ciò che concerne la profondità, va sottolineato che in Sicilia esistono e producono perfettamente agrumi su suoli profondi 70 o anche 50 cm, che poggiano su un substrato tenero e permeabile, tale da non ostacolare lo sgrondo delle acque. Per definire l'adattabilità delle terre alla coltivazione degli agrumi si è scelto pertanto il valore indicativo di 70 cm.

Per quanto riguarda la tessitura, i suoli migliori sono quelli tendenzialmente franchi, cioè dotati di equilibrata presenza di argilla, limo e sabbia. Decisamente sfavorevoli sono i suoli con elevato contenuto in particelle fini (limo e argilla), in cui il lento smaltimento idrico provoca problemi di asfissia e parassitari. I suoli con percentuali di sabbia eccessive (superiori al 75%) hanno scarsa ritenzione idrica e minerale e costringono a maggiore attenzione culturale. Decisamente non adatti sono i suoli a forte componente limosa o argillosa (> 60% valutata nell'insieme).

Nei confronti della reazione, si ritiene che i valori ottimali per gli agrumi siano compresi fra 6,5 e 7,5. Sempre per adeguarsi alla realtà ambientale siciliana, tale "*range*" è stato leggermente ampliato per evitare che suoli con pH di 8,0 - 8,2, su cui insistono agrumi innestati su arancio amaro, con risultati produttivi soddisfacenti, vengano giudicati non idonei. Occorre comunque sottolineare che suoli con valori di pH superiori a 8,4 e inferiori a 6,0 sono inospitali. Per definire l'adattabilità alle terre in relazione alla reazione, sono state accomunate le classi S2 e S3, mentre per ciò che attiene al drenaggio, non sono state effettuate distinzioni fra le classi, considerando adatto l'ampio "*range*" di tipologie da normale a rapido e inadatto solamente un drenaggio di tipo ostacolato.

Relativamente al contenuto in carbonati, si è fatto riferimento al calcare attivo, essendo il valore del totale poco indicativo. Infine, si è voluto considerare il parametro giacitura, dando risalto alla pendenza come fattore limitante: quella ottimale è lievemente inclinata, tale da facilitare lo sgrondo delle acque senza creare problemi culturali. All'aumentare del valore della pendenza si verificano una serie di problemi relativi alle operazioni culturali, all'erosione, ai tempi di movimento degli uomini e delle macchine. Nella tabella

27.5 sono riportati i diversi livelli di adattabilità degli agrumi in relazione ad alcuni caratteri funzionali del suolo.

Tabella 27.5. Adattabilità degli agrumi in relazione ad alcuni caratteri funzionali del suolo.

Parametro	S1	S2	S3	N
Profondità (cm)	> 70	70-40	40-30	< 30
Tessitura	Franca Franco-sabbiosa Franco-argilloso-sabbiosa	Sabbiosa Sabbioso-franca Franco-argillosa Argilloso-sabbiosa	Franco-limosa Franco-argilloso-limosa	Argillosa Limosa Argilloso-limosa
Permeabilità (mm h ⁻¹)	50 - 150	15 - 50 > 150	5 - 15	< 5
Drenaggio		Da normale a rapido		Ostacolato
Reazione (pH)	6,0 - 7,5		5,5 - 6,0 7,5 - 8,4	< 5,5; > 8,4
Calcare attivo (%)				
arancio amaro	< 7	8 - 10	11 - 12	> 12
citrango	< 5	6 - 7	8 - 9	> 9
Pendenza %	< 15	15 - 25	25 - 30	> 30

27.6.2. Caratteri funzionali del clima e produttività degli agrumi

Riguardo al clima, si è ritenuto di esaminare, insieme con l'altimetria, il parametro temperatura, ma non il parametro pioggia, considerato che una moderna agrumicoltura in Italia abbisogna sempre di apporti idrici artificiali essendo insufficienti quelli naturali (vedi paragrafo 27.4.3). I valori riscontrati in Italia tra il 37° ed il 40° parallelo, in cui la coltura degli agrumi insiste, sono adeguati, constatando che temperature al di sopra di 40°C sono relativamente frequenti, ma che, al tempo stesso, si mantengono per poco tempo, e perciò sono perfettamente superabili dalla pianta. È necessario, comunque, proteggere gli impianti con frangiventi lungo le coste per evitare che all'effetto calore si sommi quello del vento, che esalta la disidratazione. Il clima è influenzato anche dall'interazione che si stabilisce tra latitudine e altitudine, per cui si può senz'altro ritenere che, in Sicilia, l'altitudine massima prudenzialmente non deve superare i 350 m s.l.m.

Nei confronti dell'altimetria si osserva che si hanno differenze di adattabilità in relazione alle specie e alle varietà. Il limone in Sicilia si trova lungo le coste. Sono i mandarini e i mandarino-simili che possono coltivarli alle maggiori altitudini. Riguardo all'arancio, le cultivar pigmentate rosse, se poste ad altezze superiori ai 250 m, anche in Sicilia, producono frutti che permangono troppo acidi a maturazione. È chiaro che l'altitudine, per un giudizio oggettivo, deve essere posta in relazione alla latitudine, per cui le possibilità di successo colturale, alla stessa altitudine, si riducono dal 37° al 40°

parallelo. Si considera, con molta approssimazione, che per gli agrumi l'innalzamento di 100-120 m corrisponde alla variazione di un parallelo. Sono, perciò, i valori termici locali che devono guidare la scelta (tabella 27.6).

Tabella 27.6. Adattabilità degli agrumi in relazione ad alcuni caratteri funzionali del clima in Sicilia. Andando verso nord sono necessari aggiustamenti dipendenti dalla latitudine.

Parametro	S1	S2	S3	N
Temperatura	2	0 - 2	-2 - 0	< -2
(range annuale in °C)	30	31 - 35	36-45	> 45
Altimetria (m s.l.m.)	0 - 100	100 - 250	250 - 350	> 350

27.6.3. Qualità dell'acqua irrigua e produttività degli agrumi

Gli agrumi sono variamente sensibili alla qualità dell'acqua d'irrigazione ed in particolare al suo livello di salinità, che, primo fra tutti, rappresenta un dato vincolante, in quanto un aumento della concentrazione salina provoca danni che si tramutano in perdite di produzione (vedi paragrafo 27.4.3). In effetti, l'eccessiva salinità delle acque rappresenta uno dei problemi maggiori dell'agricoltura siciliana. Occorre ovviamente considerare la diversa sensibilità dei differenti portinnesti alla presenza di sali nell'acqua irrigua, che risulta maggiore per il *Poncirus* e i suoi ibridi, compresi i citrange. È per tale motivo che, per esprimere le relazioni qualità dell'acqua irrigua/adattabilità della coltura, si è fatto riferimento a due portinnesti (tabella 27.7)

Tabella 27.7. Adattabilità di alcuni portinnesti di agrumi in relazione alla salinità dell'acqua irrigua.

Classe	S1	S2	S3	N
Salinità (dS m ⁻¹)				
su arancio amaro	< 2,0	2,1 - 2,5	2,6 - 3,0	> 3,5
su citrange	< 1,5	1,6 - 1,8	1,9 - 2,2	> 2,3

27.7. Considerazioni conclusive

Volendo sottolineare che la valutazione dell'attitudine delle terre ad ospitare agrumi dipende molto dal portinnesto impiegato, si ribadisce come l'analisi del profilo del suolo debba essere prevalentemente rivolta alla definizione di due parametri di qualità: la tessitura e lo spessore, che, se limitato, deve quanto meno poggiare su un substrato tenero e permeabile. Infatti, ciò che è deleterio per gli agrumi è la difficoltà di sgrondo delle acque, le quali, accumulandosi, determinano asfissia e favoriscono l'aggressione dei patogeni del suolo. Nel

nostro Paese, in molte Terre Rosse costiere si rinvencono ottimi agrumeti in suoli profondi 50 -60 cm su rocce tufacee (ad esempio, *Rhodoxeralfs* della fascia costiera del Palermitano), ma vi sono anche agrumeti in suoli sciolti (*Haploxeralfs* delle aree costiere della Sicilia sud-orientale), tendenzialmente argillo-limosi (*Haploxerepts* della Piana di Catania), o anche con notevole presenza di argilla (più del 50%) (*Haploxererts* di fondivalle più o meno inclinati e variamente sparsi) (Fierotti et al., 1988).

Fra i parametri di qualità chimica del suolo, maggiore attenzione merita la reazione. Nel nostro Paese il pH dei suoli varia molto in funzione della presenza di calcio. Prevalentemente i valori oscillano da pH 6,5 a 8 - 8,2. Purtroppo, i portinnesti derivati dal *Poncirus*, come i citrange, oggi impiegati anche in Italia perché tolleranti nei confronti della Tristezza, risentono negativamente dell'elevato contenuto in carbonati e bicarbonati. Fortunatamente, in Italia non vi sono problemi di eccesso di boro, come in altre parti del mondo a clima caldo-secco. Semmai, in alcune aree siciliane (costa del Ragusano, aree marginali della pianura di Catania) vi sono carenze di alcuni microelementi (magnesio, zinco, manganese), che vengono corrette effettuando appropriate irrorazioni alla chioma con specifici prodotti.

Bibliografia

- AA.,VV, 1967. *Citrus Industry*. Vol. I, University of California.
 AA.,VV, 1968. *Citrus Industry*. Vol. II, University of California.
 AA.,VV, 1973. *Citrus Industry*. Vol. III, University of California.
 AA.,VV., 1985. *Trattato di Agrumicoltura*. Edagricole, Bologna.
 AYERS, R.S., WESTCOT, D.W., 1985. *Water quality for agriculture*. Irrig. and drain. paper 29 (Rev. 1), FAO, Roma.
 CALABRESE, F., 1988. *Gli agrumi: Nutrizione e concimazione*. Italkali, Palermo.
 CALABRESE, F., 1991. *Gli agrumi: in Frutticoltura speciale*. Reda, Roma.
 CALABRESE, F., 2002. *Origin; history; soil; cultural practices*. In: Citrus, Taylor and Francis, London and New York.
 CALABRESE, F., 2004. *La favolosa storia degli agrumi*. L'Epos, Palermo.
 FAO, 2003. *Annuario dati statistici*. Roma
 FIEROTTI, G., DAZZI, C., RAIMONDI, S., 1988. *Commento alla Carta dei Suoli della Sicilia (a scala 1:250.000)*. Regione Sicilia, Ass. Territorio Ambiente, Palermo.
 ISTAT, 2003. *Annuario dati statistici*. Roma
 SPINA, P., 1990. *Gli Agrumi*. Edagricole, Bologna.



Figura 1. Moro: la più pigmentata arancia rossa italiana.



Figura 2. Agrumeto: piante allevate a chioma piena.

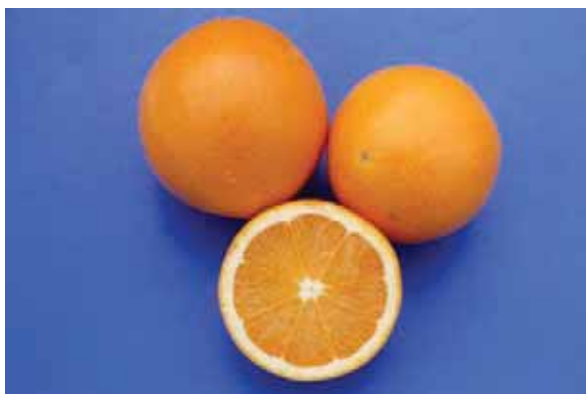


Figura 3. Navelate: cultivar ombelicata tardiva.



Figura 4. Le Terre Rosse sono tipici suoli della agrumicoltura siciliana.

Ministero delle Politiche Agricole, Alimentari e Forestali
Osservatorio Nazionale Pedologico e per la Qualità del Suolo Agricolo e Forestale

In collaborazione con:
International Union of Soil Sciences
Società Italiana della Scienza del Suolo
Commissione VI - Uso e Conservazione del Suolo

BUCELLI, P., COSTANTINI, E.A.C., 2006. *Vite da vino e zonazioni vitivinicole*. In: Costantini, E.A.C. (Ed.), *Metodi di valutazione dei suoli e delle terre*, Cantagalli, Siena, pp. 922.

Collana dei metodi analitici per l'agricoltura diretta da Paolo Sequi, vol. 7

CRA - Consiglio per la Ricerca e la Sperimentazione in Agricoltura
Istituto Sperimentale per lo Studio e la Difesa del Suolo, Firenze

28. Vite da vino e zonazioni vitivinicole

Pierluigi Bucelli¹, Edoardo A.C. Costantini,¹

28.1. Introduzione	2
28.1.1. I fattori del sistema vitivinicolo, i suoi obiettivi e il ruolo della pedologia..	3
28.2. Caratteristiche genetiche della specie	5
28.3. Requisiti della coltura	6
28.3.1. Clima.....	6
28.3.2. Topografia.....	10
28.3.3. Geologia e geomorfologia	11
28.3.4. Fertilità del suolo	13
28.3.5 Paesaggio	28
28.4. Rilevamento pedologico e viticoltura.....	33
28.4.1. La valutazione della difficoltà di gestione agrotecnica del suolo	34
28.4.2. Modalità e profondità di scasso e delle sistemazioni idraulico agrarie.....	35
28.4.3. Suolo e densità di impianto.....	37
28.4.4. Scelta dei portinnesti.....	40
28.4.5. Scelta degli inerbimenti	44
28.5. Applicazioni degli studi sul rapporto pianta/ambiente: il terroir e le zonazioni viticole.....	48
28.5.1. Indicazioni metodologiche per la valutazione delle terre di un comprendorio vitivinicolo	50
Bibliografia	55

28.1. Introduzione

Nel presente capitolo verranno affrontati i temi relativi alla valutazione del suolo e delle terre per l'attitudine alla vite da vino e le zonazioni vitivinicole. Si tratta di temi molto complessi ed articolati, per i quali è disponibile

¹ CRA-Istituto Sperimentale per lo Studio e la Difesa del Suolo, Firenze

un'imponente mole di pubblicazioni, che è molto difficile sintetizzare in un capitolo di un manuale. Per questo motivo, la valutazione attitudinale tramite semplici tavole di valutazione è sembrata essere una semplificazione che poteva risultare eccessiva per molti casi applicativi. Nel capitolo è stata quindi privilegiata la trattazione rispetto alla schematizzazione, facendo riferimento ai fattori limitanti la coltura e alle esigenze della specie e considerando che non sempre le limitazioni edafiche devono essere considerate negativamente, in quanto possono risultare un importante fattore di qualità e tipicità del vino prodotto. La trattazione intende fornire elementi utili alle valutazioni in quei settori del sistema vitivinicolo in cui l'indagine pedologica può fornire un risultato particolarmente importante e significativo.

28.1.1. I fattori del sistema vitivinicolo, i suoi obiettivi e il ruolo della pedologia

I fattori che concorrono nel determinare le condizioni e il successo di un sistema vitivinicolo sono molteplici e la loro importanza varia a seconda delle diverse realtà produttive. Oltre ai fattori fisici, che verranno più diffusamente trattati in seguito, sono presenti fattori professionali, politici e amministrativi, infrastrutturali e contestuali, ed infine immateriali, che stanno assumendo sempre maggiore importanza nel determinare il successo commerciale di un vino (figura 28.1).

Tra i fattori emergenti, vi è certamente quello della sostenibilità della viticoltura, intendendo con il termine di "viticoltura sostenibile" un'attività che risponda ai bisogni dei produttori e consumatori contemporanei senza compromettere la capacità delle generazioni future di rispondere ai loro (Vaudour, 2005). Una viticoltura quindi che tuteli il reddito degli agricoltori e le aspettative qualitative dei consumatori, ma anche la conservazione del suolo e dell'ambiente, la tutela e valorizzazione del paesaggio. Rientrano in questo concetto anche l'accezione di "viticoltura biologica", "protezione integrata" e, in buona parte, anche quello di "viticoltura di precisione".

Oltre a rientrare tra i fattori politici ed amministrativi, in virtù della recente modifica della politica agricola comune (PAC) dell'Unione Europea e delle relative direttive di accoglimento nazionali (Decreto MiPAF del 13 dicembre 2004 sulla cosiddetta "condizionalità"), la viticoltura sostenibile è certamente anche un fattore di immagine. Infatti, la diffusione nell'opinione pubblica di una certa etica ambientale promuove l'allargamento della capacità di percezione dei "guasti" ambientali conseguenti ad una viticoltura non ragionata non solo agli esperti del settore, ma anche ad un pubblico più vasto.

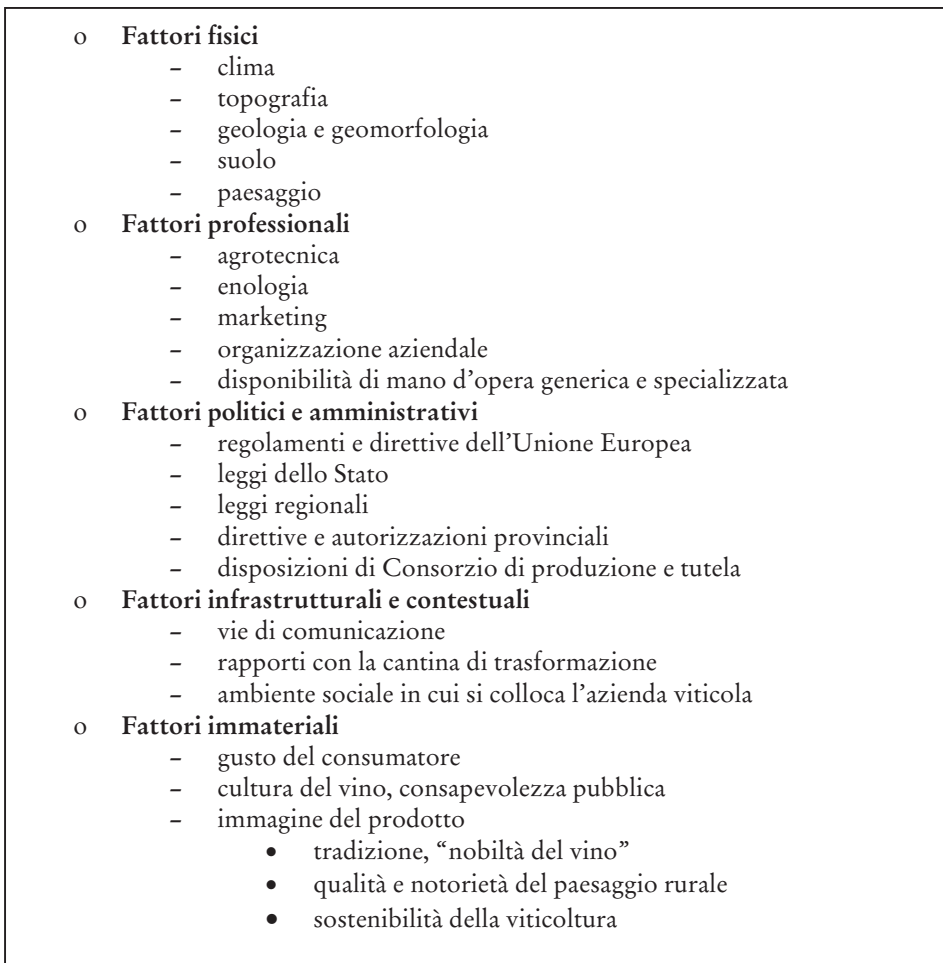


Figura 28.1. I fattori del sistema vitivinicolo.

La possibilità inoltre, in un non lontano futuro, di arrivare ad una certificazione pubblica della sostenibilità ambientale dell'azienda, "vendibile" sull'etichetta della bottiglia di vino, rende la viticoltura sostenibile una prospettiva sempre più interessante per i produttori.

La viticoltura sostenibile quindi deve perseguire la realizzazione di itinerari di produzione il più possibile rispettosi dell'ambiente e del paesaggio, per i quali il contributo del pedologo può essere determinante in molte forme, come riportato in figura 28.2. In questo capitolo si cercherà di fornire alcuni elementi tecnici alla base delle valutazioni riportate.

- o **Rilevamento e cartografia**
 - di base (carta dei suoli, carta delle Unità territoriali di base e dei terroirs)
 - attitudinale (zonazione a scala diversa, in particolare provinciale, comprensoriale, aziendale)
 - tematica (capacità d'uso, difficoltà di gestione agrotecnica, sostenibilità culturale, carte dei caratteri funzionali per la viticoltura)
- o **Decisioni all'impianto**
 - scelta degli appezzamenti, dei vitigni, dei portainnesti, delle densità di impianto e dell'orientamento dei filari, scelta delle essenze negli inerbimenti, problemi fitosanitari (clorosi, mal dell'esca)
 - sistemazione del terreno (livellamento e riporto di terra, stabilità del versante), progettazione dei drenaggi superficiali e profondi
 - concimazione di fondo, sovescio
- o **Decisioni nella conduzione del vigneto**
 - concimazione annuale,
 - conservazione del suolo,
 - gestione dell'agrotecnica (lavorazioni, potature, trattamenti antiparassitari)

Figura 28.2. Le valutazioni pedologiche per una viticoltura sostenibile.

28.2. Caratteristiche genetiche della specie

Ogni vitigno s'identifica con proprie caratteristiche genetiche che ne influenzano il comportamento vegetativo, produttivo e qualitativo, fattori questi che risultano poi più o meno stabili nei vari ambienti. Molti parametri sono determinati in gran parte dal patrimonio genetico, in particolare, l'andamento delle fasi fenologiche o le caratteristiche di base del grappolo e del mosto (qualità e ricchezza fenolica ed aromatica, rapporto zuccheri/acidi, ecc.). Vi è però una diversa reattività e stabilità varietale al sito di coltura. Esistono infatti vitigni che si adattano bene anche ad ambienti dissimili, garantendo sempre risultati soddisfacenti (ad esempio, Cabernet sauvignon e Chardonnay, coltivati in tutto il mondo), e che interagiscono in misura minore con l'ambiente circostante, rispetto a vitigni che invece rispondono prontamente anche a piccole variazioni pedologiche e climatiche, come ad esempio il Sangiovese. Su questa seconda tipologia genetica il lavoro degli esperti ambientali può risultare determinante, evitando il rischio di declassare varietà e/o ambienti in seguito ad errate valutazioni. Infatti, un vitigno potrà esprimere tutta la sua potenzialità solo se collocato nell'area adatta, o viceversa un ambiente potrà differenziarsi e acquistare fama solo se coltivato con il vitigno

ad esso più appropriato. Stesse considerazioni si possono fare anche per i cloni ed il loro comportamento.

Nell'ambito della disponibilità varietale, va ricordato un punto di forza del settore viticolo, in particolare di quello italiano: l'elevato numero di vitigni autoctoni esistenti e quindi l'enorme variabilità genetica su cui può poggiare una diversificazione e un'originalità produttiva difficilmente eguagliabile. Diventa così un vero elemento di superiorità disporre di un vasto assortimento varietale, selezionatosi in funzione di determinati ambienti, a cui fare riferimento per produzioni tipiche, uniche ed originali. La ricchezza genetica e la conseguente variabilità del potenziale viticolo permette, se correttamente affiancata da una attenta valutazione qualitativa, di differenziare le produzioni legandole ancor più alle caratteristiche naturali e all'antica storia dei loro luoghi di origine.

- o **Clima**
 - radiazione, temperatura, piovosità
- o **Topografia**
 - quota, esposizione, insolazione, distanza dalle masse d'acqua
- o **Geologia e geomorfologia**
 - materiale genitore del suolo, alterazione, pool geochimico e qualità delle acque, drenaggio profondo, erosione superficiale e franosità, falde idriche e risorgive
- o **Fertilità del suolo**
 - temperatura del suolo, nutrizione idrica, drenaggio e disponibilità di ossigeno, nutrizione minerale, concimazione, orizzonti e fattori limitanti l'approfondimento radicale
- o **Paesaggio**
 - ecosistemi (agroecotopi)
 - lunghezza e dimensione degli appezzamenti
 - saturazione culturale del paesaggio

Figura 28.3. Caratteri funzionali dei fattori fisici del sistema vitivinicolo.

28.3. Requisiti della coltura

28.3.1. *Clima*

I requisiti colturali della vite fanno in primo luogo riferimento alle esigenze termiche e radiative. La latitudine determina le variazioni nelle ore di luce e di conseguenza la coltivazione della vite non può spingersi oltre il 50° parallelo nord (con particolari protezioni può arrivare anche a 52°) e il 45° sud. Tra 0° e

30° (regioni equatoriali e tropicali) è possibile la coltivazione della vite anche con più cicli produttivi annuali, ma con scarsa qualità delle uve, solitamente destinate al consumo fresco o alla produzione di succhi. Alle latitudini della viticoltura italiana i parametri climatici principali che influenzano la qualità delle produzioni vitivinicole sono la radiazione solare, la temperatura e la piovosità. Nella tabella 28.1 sono sintetizzati i principali rapporti tra ciclo vegetativo ed andamento climatico.

Tabella 28.1. Principali effetti dei fattori climatici e pedoclimatici sul ciclo vegetativo (Storchi e Tomasi, 2005, modificata).

Parametro e mese di riferimento	Effetto positivo sul parametro	Effetto negativo sul parametro
Epoca di germogliamento (fine marzo- metà aprile)	Alte temperature del mese precedente il suo verificarsi, dopo un periodo iniziale di basse temperature	Basse temperature dell'aria, basse temperature dei suoli
Accrescimento germogli (aprile-maggio)	Alte temperature medie	Basse temperature medie dell'aria e del suolo
Epoca di fioritura (maggio – primi di giugno)	Temperature fino ad una soglia ottimale di 31-32 °C	Eccessi termici, carenze termiche
Fertilità delle gemme	Alta temperatura ed elevata insolazione durante la differenziazione a fiore (maggio-giugno dell'anno precedente)	Basse temperature, scarsa insolazione
Agostamento / invaiatura (fine luglio-agosto)	Piogge non elevate, temperature medie alte ma senza eccessi	Eccessiva disponibilità idrica
Epoca di maturazione (settembre-ottobre)	Moderato stress idrico, temperature medie alte ma senza eccessi	Eccessiva disponibilità idrica, temperature basse

Da tempo sono note le relazioni tra temperatura e peculiarità dei vini, derivanti queste ultime dalle diverse gradazioni zuccherine raggiunte dalle uve, dai contenuti acidi, dalla intensità aromatica, dai livelli quantitativi e di estraibilità degli antociani e di condensazione dei tannini, dalle attività enzimatiche e così via. I vini migliori derivano da uve ben mature, equilibrate nella composizione e nelle quali la temperatura non ha limitato per eccesso o per difetto la sintesi dei costituenti. L'intensità del colore e dell'aroma viene penalizzata in ambienti con basse temperature di maturazione a favore di una potenziale miglior delicatezza, ma dall'altro lato temperature troppo elevate riducono la sintesi delle sostanze coloranti e accelerano la degradazione dei composti aromatici maggiormente termolabili e degli acidi essenziali per una buona armonia complessiva.

Gli effetti della temperatura vanno però analizzati in funzione dello stadio vegetativo della vite. La soglia minima di temperatura necessaria alla ripresa del ciclo vegetativo (zero di vegetazione) si colloca mediamente intorno a 10°C. Nel corso del riposo invernale la vite è in grado di resistere ai grandi freddi (fino a -15°C), mentre le gelate primaverili causano spesso danni ai giovani germogli quando la temperatura dell'aria si abbassa a -2,5°C. In generale, le migliori annate sono quelle con temperature primaverili superiori alla media (fioriture precoci a cui fanno seguito in genere maturazioni anticipate) e con temperature medio/alte nel periodo invaiatura-raccolta.

Gli elementi del clima vanno però valutati congiuntamente e nell'interazione tra loro; così la temperatura va legata direttamente alle ore di sole e all'insolazione. La combinazione di questi due fattori ha effetti diretti su gran parte dell'attività vegetativa, di accumulo, riproduttiva e di mantenimento della vite. Le ore di sole sono positivamente correlate con la quantità di uva prodotta e con la sua qualità, solo però se temperatura ed umidità relativa dell'aria sono in un range favorevole. Negli ambienti caldi per ottenere vini pieni e corposi sono necessarie più ore di sole rispetto ad ambienti termicamente meno dotati, a causa dei maggiori consumi per respirazione (Gladstones, 1992; Storchi e Tomasi, 2005).

Diversi Autori si sono occupati delle relazioni tra parametri analitici dell'uva (e dei vini) e fattori meteorologici, anche a fini di previsioni vendemmiali. È stata evidenziata l'importanza delle temperature nel determinare la qualità in ambienti settentrionali, in particolare la correlazione diretta degli zuccheri ed inversa dell'acido malico nei confronti delle sommatorie termiche. Lo scarso contenuto in acido malico ottenuto in climi caldi è spiegabile sia con la stimolazione dell'enzima della degradazione del malico, che con il precoce arresto della crescita dei germogli, dove avviene la sintesi dell'acido.

La sintesi degli zuccheri è presieduta dalla fotosintesi, che avviene in condizioni ottimali a 23-27°C ed è proporzionale all'irraggiamento solare fino ad illuminazioni medie, dell'ordine di 300 W m⁻², ma raggiunge un tetto alle insolazioni forti, oltre il quale rimane costante; le foglie di vite sembrano infatti incapaci di utilizzare più della metà della luminosità fruibile e pertanto la disponibilità naturale in radiazione luminosa non costituisce quasi mai un fattore limitante della fotosintesi (Huglin e Schneider, 1998).

Sulla sintesi degli antociani hanno grande influenza le condizioni pedoclimatiche e l'agrotecnica. In particolare, il rapporto tra apparato vegetativo e grappoli, funzione anche del tipo di allevamento e di potatura adottati, ha un grande ruolo sulla quantità di antociani accumulabili. Numerose esperienze concordano nell'attestare un rapporto ottimale tra foglie illuminate e uva pari a 1,2 m² di foglie per chilo d'uva. I fattori naturali invece che maggiormente influenzano la quantità di antociani presenti nei vacuoli cellulari delle bucce sono la temperatura, la luce e la disponibilità idrica, i quali governano l'intensità e la persistenza delle vie biosintetiche che portano alla

sintesi delle sostanze coloranti o, in altri termini, definiscono le potenzialità massime ottenibili in resa qualitativa. La sequenza di queste reazioni enzimatiche coinvolge nei primissimi stadi la fenilalanina (PAL) e successivamente, attraverso una serie di tappe catalizzate da vari enzimi, si giunge al precursore comune a tutti i flavonoidi, il calcone (Heller e Forkmann, 1988). In questa fase metabolica la fenilalanina gioca un ruolo chiave, in quanto si stabilisce una concorrenza tra il metabolismo primario degli amminoacidi, che porta alla sintesi delle proteine, e quello secondario, che determina l'accumulo delle sostanze polifenoliche. Se le condizioni di luminosità non sono ottimali, la biosintesi può indirizzarsi verso la produzione di proteine piuttosto che di polifenoli.

Anche l'elevata disponibilità di azoto favorisce la prima via e indirettamente deprime l'accumulo delle sostanze fenoliche, aumentando lo sviluppo vegetativo della vite e quindi l'ombreggiamento (Roubelakis-Angelakis e Kliever, 1986; Price et al., 1992). Temperature diurne superiori a 35°C e notturne sopra 30°C annullano la sintesi antocianica; il range ottimale per la loro sintesi è infatti compreso tra 17 e 26°C, mentre vi è una inibizione alla formazione degli antociani in grappoli posti a temperature troppo elevate, così come in quelli eccessivamente ombreggiati. Questo apre una serie di considerazioni legate all'effetto combinato luce – temperatura, tanto che grappoli al sole possono raggiungere nelle ore centrali della giornata temperature troppo elevate per una ottimale biosintesi delle sostanze coloranti; ciò si ripercuote sull'utilità degli interventi in verde (cimature e sfogliature) attuati con la finalità di esporre il grappolo al sole per ottenere una migliore colorazione.

In presenza di elevate temperature, l'analisi delle singole antocianine evidenzia delle differenze a carico soprattutto della malvina, che risulta meno abbondante in acini e grappoli esposti al sole. La malvina costituisce il prodotto finale e più stabile della sintesi antocianica, pertanto la sua quantità può essere considerata un indice dell'attività enzimatica che risulta leggermente rallentata nelle condizioni di maggior insolazione, a causa dei valori limite delle temperature raggiunte nel corso della maturazione dalle bacche al sole (Cacho et al., 1992). Vi sono infatti relazioni nette tra luce, temperatura e sintesi antocianica, che evidenziano l'effetto inibitore di temperature massime oltre una certa soglia (39-40°C). Ciò può verificarsi più volte nel corso della maturazione, anche in normali condizioni climatiche, per cui diventa importante privilegiare una media esposizione di tutti i grappoli, piuttosto che intervenire con interventi drastici (ad esempio, di sfogliatura) che possono creare situazioni di eccesso termico.

L'accumulo in zuccheri è solitamente superiore nelle bacche esposte al sole. Ciò può essere giustificato dai maggiori valori di traspirazione e quindi da un flusso floematico più intenso negli acini al sole. Temperature elevate in maturazione determinano una netta riduzione dell'acido malico, composto più sensibile alla temperatura rispetto al tartarico, e la cui ridotta presenza rende,

soprattutto i vini bianchi, meno freschi e piacevoli. La sintesi degli aromi, pur avendo una forte base genetica, è influenzata dall'attività di vari sistemi enzimatici ed aumenta con le temperature fino ad un certo livello, per poi decrescere. In condizioni non limitanti di luce ed acqua si ritengono ottimali temperature di 20-22°C (Champagnol, 1986; Huglin e Schneider, 1998).

Negli anni recenti nuovi modelli matematici e statistici hanno portato sempre più a definire le relazioni tra clima e genotipo e sempre più il ciclo vegetativo annuale è stato scomposto in sottocicli, nei quali si sono indagati compiutamente gli effetti del clima. In particolare, le condizioni climatiche primaverili e quelle del periodo che intercorre tra l'invasatura e la raccolta risultano determinanti per la qualità delle uve. In genere fioriture anticipate, leggeri stress idrici in fase di maturazione e raccolte non troppo anticipate risultano importanti fattori di qualità.

28.3.2. Topografia

L'altitudine influisce direttamente sulle temperature. In media si ha una diminuzione nella temperatura di 0,6°C ogni 100 metri di quota e ciò corrisponde ad un ritardo da 2 a 3 giorni nella vegetazione (Kriedmann et al., 1971). Nelle aree mediterranee solitamente la coltivazione della vite non si spinge oltre 600 metri, salvo particolari microclimi ed esposizioni come in Val d'Aosta, Valtellina, Trentino Alto Adige e pendici dell'Etna e del Vesuvio.

Negli ambienti collinari l'orografia del sito porta con sé numerose implicazioni di carattere climatico a cui si aggiungono effetti sul ruscellamento e sull'erosione. Pendenza, esposizione del versante ed altitudine sono i principali fattori che incidono sui livelli termici, sulle escursioni notte/dì, sulle ore di sole, sull'inclinazione dei raggi incidenti, sui movimenti delle masse d'acqua, sulle precipitazioni, ecc. Anche nell'ambito dello stesso vigneto posto in collina, i moti ascendenti diurni e discendenti notturni dell'aria creano situazioni di diversità termica in tutti quei casi in cui la pendenza del rilievo permette all'aria di drenare e risalire nell'arco della giornata. La parte più a valle del vigneto sarà allora investita dall'aria più fresca che durante la notte scorre lungo il pendio e che al mattino successivo deve riscaldarsi per invertire il suo cammino. Di conseguenza nello stesso vigneto si possono avere aree con differenti valori termici medi e con escursioni termiche altrettanto diversificate.

Anche l'esposizione del versante vitato può portare, come è noto, ad ottenere delle uve dalle caratteristiche compositive assai variabili. La scelta del versante riveste, in effetti, notevole importanza nell'interazione tra vitigno e clima. I versanti termicamente più favoriti sono il sud e l'ovest; in quest'ultimo caso l'insolazione, accompagnata dal massimo cumulo termico delle prime ore pomeridiane, si protrae più a lungo rispetto agli altri versanti. L'esposizione del vigneto influenza infatti la quantità di radiazione solare disponibile per le piante e nelle condizioni limite di latitudine ed altitudine diviene vincolante,

per cui ai limiti nord della coltivazione o in alta collina si utilizzano solo esposizioni a sud o sud-ovest.

La scelta del vitigno può essere quindi determinata dalla quota e dall'esposizione del versante. I vitigni rossi, ad esempio, hanno maggiori esigenze termiche rispetto ai bianchi, mentre questi ultimi hanno la necessità di preservare la composizione e i livelli dei precursori aromatici varietali, composti questi estremamente sensibili alle alte temperature.

Anche la presenza di masse di acqua (mare, laghi) o boschi estesi ha effetto sul clima, mitigando gli eccessi termici ed influenzando l'umidità relativa dell'aria: il vapore acqueo emesso durante il giorno arresta una parte delle radiazioni solari, ma durante la notte si oppone all'irraggiamento del calore. La distanza dalle masse d'acqua ha anch'essa un riflesso sulle brezze diurne e notturne, sulle escursioni termiche stagionali, sulla frequenza degli eventi piovosi, ecc.

28.3.3. Geologia e geomorfologia

La geologia di un territorio influenza il vino in molteplici modi. La natura geologica influisce anzitutto sulla forma del paesaggio, conferendogli morfologie, spazi ed articolazioni proprie, che contraddistinguono un comprensorio di produzione. Infatti, il paesaggio del vino, con tutte le sue implicazioni di carattere visivo, i possibili legami con la storia e il contesto culturale in cui si colloca, ha molteplici relazioni con la geologia del luogo.

La natura e l'evoluzione geologica di un comprensorio non formano solo il paesaggio, ma hanno anche un'influenza sulla coltivazione della vite e sul risultato enologico. Questa si realizza direttamente attraverso i processi geomorfologici, che modellando il rilievo e determinando il mesoclima, condizionano la coltivazione della vite attraverso la morfologia e i processi di erosione, ma soprattutto in modo indiretto attraverso il suolo. La natura della roccia, infatti, influenza in modo importante le caratteristiche mineralogiche, chimiche e fisiche del suolo.

Un'ulteriore correlazione tra la natura litologica della roccia e la coltura della vite riguarda l'influenza sulla qualità dell'acqua. L'origine e il contenuto minerale dell'acqua irrigua possono essere importanti, in quanto alcune caratteristiche del vino possono essere più influenzate dalla composizione dell'acqua che del materiale genitore del suolo, soprattutto dove vi è una pratica irrigua prolungata nel tempo. La composizione dell'acqua, infatti, è fortemente influenzata dalle rocce tra le quali percola.

Roccia madre e materiale genitore del suolo

Le rocce possono avere composizione chimica molto diversa, in dipendenza dei minerali di cui sono composte e delle relazioni tra loro. La componente dominante delle rocce alla superficie terrestre è la silice (SiO_2), sottoforma di

quarzo. Il quarzo è composto da una molecola di atomi legati in modo covalente ed è tra i più resistenti tra i minerali di origine naturale: non si altera facilmente ed è chimicamente inerte; infatti, la maggior parte dei suoli sabbiosi contengono quarzo. Altri minerali, coinvolti con la silice in diverse strutture, hanno legami più deboli e sono generalmente una miscelazione di magnesio (Mg), calcio (Ca), potassio (K), sodio (Na) ed altri elementi minori che possono essere rilasciati nell'ambiente dall'alterazione meccanica o chimica, provvedendo i nutrienti essenziali alla crescita della vite ("*pool* geochimico"). I quattro elementi principali (Mg, Ca, K, Na), in particolare, presenti in proporzione variabile nel suolo, determinano in modo sostanziale la chimica della soluzione circolante e influiscono sul risultato qualitativo della vite.

Il contenuto minerale delle rocce determina anche la tessitura del suolo, cioè la dimensione e la forma delle particelle minerali, e influisce sulla struttura del suolo, cioè sull'arrangiamento, combinazione e orientamento delle particelle minerali ed organiche, influenzando così sulla profondità e facilità di radicazione, quindi sulla capacità della vite di assorbire acqua ed elementi nutritivi.

La nutrizione idrica e minerale è in buona parte condizionata dalla trattenuta idrica del suolo, perché è sempre l'acqua il veicolo della nutrizione minerale. Sulla trattenuta idrica del suolo, oltre alle caratteristiche tessiturali e strutturali, gioca un ruolo importante anche la mineralogia delle argille. Questa determina anche il *pool* di nutrienti scambiabili con la soluzione acquosa circolante e disponibili per la pianta, valutabile attraverso la misura della capacità di scambio cationico (CSC). L'abbondanza e il tipo di argilla determina la CSC; ad esempio, sedimenti ricchi di caolinite e illite hanno suoli con bassa CSC, mentre quelli con montmorillonite hanno alti valori di CSC.

La disponibilità idrica è influenzata, oltre che dalla natura delle rocce e dei sedimenti, dalla loro disposizione in strati. Gli strati impermeabili trattengono l'acqua e limitano il drenaggio profondo. Quando posti a "reggipoggio", cioè su piani che intersecano la superficie del versante, possono intercettare l'acqua di infiltrazione e condurla alla superficie, causando risorgive che possono innescare fenomeni di erosione superficiale e di massa. Il fenomeno è particolarmente grave nei vigneti che hanno subito sbancamenti che hanno asportato la maggior parte del suolo. La copertura pedologica, infatti, è in grado di regimare il ciclo dell'acqua, assorbendo e trattenendo una grande quantità di acqua, sia di pioggia che di provenienza sottosuperficiale, e regolandone il deflusso, soprattutto superficiale, favorendo quello ipodermico. Un versante invece che ha visto asportata la copertura di suolo mostra l'affioramento del substrato, il quale è pressoché incapace di assorbire e trattenere l'acqua, favorendo così il suo rapido deflusso superficiale e l'innescare di ruscellamenti e burronamenti, se il substrato è poco permeabile, o la sua saturazione, se invece è tendenzialmente limoso e sabbioso, con conseguenti frane e smottamenti. Poiché l'alterazione della roccia influenza importanti qualità dell'ambiente viticolo, quali la natura fisica e chimica del suolo, il

drenaggio superficiale e profondo, è possibile tentare delle generiche associazioni tra ambiente geologico e vocazione viticola. Le viti poste su suoli molto sottili, dove la roccia è superficiale, possono presentare stress idrici eccessivi, anche se le radici possono raggiungere oltre 6 m di profondità. D'altra parte, suoli molto profondi e con presenza di falda idrica superficiale, come quelli su sedimenti alluvionali, producono grappoli che mancano della concentrazione dei succhi necessaria per ottenere vini di grande qualità. I comprensori viticoli su rocce calcaree fessurate e carsificate, che favoriscono l'allontanamento degli eccessi idrici tramite il drenaggio profondo, hanno spesso una buona vocazione viticola. Dove il materiale genitore del suolo è il calcare, i suoli sono in genere argillosi e siltosi, trattengono una buona quantità d'acqua, mentre i graniti e le arenarie producono per alterazione sabbie e ghiaie, che si disseccano molto facilmente. D'altra parte, suoli pietrosi in superficie favoriscono l'assorbimento di calore in profondità e limitano l'evaporazione e l'erosione idrica superficiale. Non tutti i frammenti di roccia sono inoltre da considerarsi inerti, quelli a tessitura fine e quelli che mostrano alterazione, anche incipiente, trattengono una certa quantità d'acqua e possono anche scambiare elementi nutritivi. È anche per questo motivo che alcuni comprensori viticoli su suoli pietrosi e rocciosi sono considerati a buona vocazione qualitativa. I suoli derivati da rocce calcaree hanno anche il vantaggio di favorire la decomposizione ed umificazione della materia organica, per la presenza di carbonati. In genere, la presenza di una certa quantità di calcare attivo è associata alla produzione di vino di qualità. Anche suoli su rocce acide però possono produrre vini di alta qualità. In Francia, ad esempio, sono famosi quelli prodotti sui graniti del Haut-Beaujolais, i Côte Rôtie e Alsace.

28.3.4. Fertilità del suolo¹

La vite è una pianta frugale che si adatta a crescere in molteplici condizioni pedologiche. Questo rende possibile la sua coltivazione in molte aree, che risultano però essere diversamente vocate alla produzione di uva da cui è possibile ottenere un vino di qualità. È per questo che i territori a maggiore vocazione sono di solito quelli dove da più lungo tempo i viticoltori hanno saputo trovare, dopo una lunga serie di tentativi, la giusta armonia tra caratteri edafici, varietà di vite ed agrotecnica. Le generalizzazioni sono quindi difficili, anche se è ormai dimostrato che il bilancio dei nutrienti, in particolare azotati, e la nutrizione idrica sono i fattori pedologici maggiormente determinanti il risultato produttivo e qualitativo. È altresì noto che la fertilità del suolo vocato alla viticoltura di qualità deve essere moderata, rifuggendo i suoli troppo fertili come quelli troppo impoveriti. Nei paragrafi seguenti è stato sintetizzato lo

¹ Capitolo realizzato con il contributo di Stefano Campagnolo, CRA-Istituto Sperimentale per lo Studio e la Difesa del Suolo, Firenze.

stato dell'arte sulle conoscenze dei principali caratteri e qualità del suolo che determinano differenti condizioni di fertilità, indicando come è possibile intervenire per ottimizzare il risultato qualitativo della vite.

Temperatura del suolo

La temperatura del suolo agisce sul metabolismo della pianta nei riguardi della sintesi ormonale e dell'assorbimento minerale. È noto che più è abbondante la dotazione di macropori, per la tessitura grossolana o per la buona struttura, più facilmente il terreno sgronda le acque in eccesso e si riscalda in primavera e nel corso della stagione. Il comportamento termico del terreno dipende, infatti, dall'umidità e dalla porosità che condizionano la capacità calorifica volumica e la conduttività termica del suolo (Vaudour, 2005). L'esperienza insegna che ad un precoce riscaldamento primaverile del terreno, legato alla macroporosità, ma anche ad altri fattori dell'ambiente, quali esposizione e drenaggio esterno del suolo, corrisponde un germogliamento anticipato, fattore questo di pregio per il rapido formarsi di un apparato fogliare elaborante. L'importanza della temperatura del suolo sulla precocità della vite e sul livello di maturazione raggiunto alla vendemmia è stato dimostrato in alcune aree viticole della Francia settentrionale (Alsazia, Valle della Loira). In quest'ultima zona sono state misurate differenze di temperatura media del suolo di 1,7°C ad una profondità di 5 cm e di 2,4°C a 100 cm fra un suolo sabbioso e un suolo sui limi di selce del Senoniano. Nessuno scarto significativo fu invece registrato durante lo stesso periodo (marzo-luglio 1988) per la temperatura dell'aria, prossima a 14°C (Morlat et al., 2001). Nei casi in cui il germogliamento sia più tardivo, per fattori legati alla temperatura e all'umidità del suolo, oppure dovuto a minori temperature dell'aria, nelle potature lunghe (Cappuccina, Guyot, Sylvoz, Pergola) è frequente l'instaurarsi di differenti gradienti vegetativi lungo il capo a frutto, con ripercussioni poi sui caratteri qualitativi dell'uva. Nei casi in cui questi fenomeni siano più evidenti, appare opportuno allora l'adozione di potature corte tipo Cordone speronato e di sesti più contenuti, che favoriscano una maggiore omogeneità fenologica e vegetativa nei capi a frutto e lungo il cordone permanente.

Bilancio idrico del suolo e nutrizione idrica

Nell'ambiente mediterraneo, caratterizzato dal pedoclima xerico, la fenologia e il potenziale produttivo delle colture sono determinati soprattutto dalla disponibilità idrica, sia in termini di quantità di acqua a disposizione per le piante, che di potenziale, cioè dell'energia con cui l'acqua viene trattenuta dal terreno. Anche l'attività vegetativa e riproduttiva della vite, che rinnova tutti gli anni buona parte del suo apparato assorbente, è profondamente influenzata dall'andamento della disponibilità idrica durante l'anno. Il modello fenologico di riferimento per la vite è contraddistinto da un'attiva ripresa vegetativa

primaverile, la quale perdura fino alla fioritura, dopodiché la crescita della pianta rallenta per poi interrompersi dopo l'invaiaura. Durante la maturazione la crescita cessa e vi sono sintomi di stress non accentuato. Questa cinetica della parte aerea della pianta corrisponde ad un elevato approfondimento ed assorbimento radicale primaverile, a cui segue in estate una progressiva riduzione di attività della parte più superficiale dell'apparato radicale, quella maggiormente responsabile dell'approvvigionamento idrico e del vigore della pianta. L'acqua, infatti, è il principale regolatore dell'equilibrio ormonale nella vite (Champagnol, 1997). La regolazione si realizza attraverso la competizione tra sintesi di citochinine o di acido abscissico da parte delle estremità radicali. In primavera, quando l'acqua è abbondante, la produzione di citochinine è elevata, e con essa la crescita della pianta. All'inizio dell'estate, in corrispondenza del periodo fioritura-allegagione, l'acqua diviene meno abbondante e viene trattenuta più fortemente dal suolo, tanto che neanche la notte l'ambiente radicale riesce a reinumidirsi. In queste condizioni la sintesi di citochinine diminuisce fino ad interrompersi, mentre si hanno le condizioni per la produzione di acido abscissico in primo luogo da parte delle radici, poi anche da parte delle foglie adulte. In tal modo la crescita della pianta si arresta precocemente, tanto che la maturazione può essere assimilata ad una senescenza, caratterizzata da un equilibrio ormonale nella vegetazione e nei frutti. Queste condizioni inducono tra l'altro l'accumulo nelle bacche di antociani, tannini e composti fenolici, mentre viene favorita la degradazione dell'acido malico: processi che contribuiscono a determinare la qualità dei vini rossi, in particolare la loro finezza e tipicità (Champagnol, 1997; Lebon et al., 1997). Se però le condizioni di stress si realizzano troppo precocemente e troppo a fondo, in particolare tra il germogliamento e la fioritura, limitano lo sviluppo fogliare e il completamento degli organi fiorali. La pianta non riesce ad adattarsi al cambiamento ormonale e l'accumulo di composti nei frutti avviene in maniera squilibrata (Champagnol, 1997; Van Leeuwen et al., 1997). Prima dell'invaiaura una situazione di carenza idrica ha effetti diretti, immediati e a volte non più rimediabili sulle quantità prodotte e sulla qualità complessiva. In questa prima fase infatti l'acino è interessato da una intensa attività di moltiplicazione cellulare, fondamentale per le sue dimensioni finali. Dopo l'invaiaura si assiste invece a fenomeni di distensione cellulare. Dall'invaiaura, leggere e controllate condizioni di carenza idrica non solo non compromettono la qualità ed il peso dell'uva, ma possono portare addirittura ad una concentrazione dei soluti e ad una maturazione maggiormente indirizzata verso l'elaborazione e l'accumulo dei composti di pregio per la qualità dell'acino.

La velocità di maturazione è in gran parte determinata dal regime idrico della vite (Van Leeuwen e Seguin, 1994). Un *deficit* idrico è favorevole ad una maturazione rapida delle uve in quanto limita la taglia della bacche e riduce la competizione per le sostanze carboniose tra le bacche e gli apici. Occorre però evitare gli stress eccessivi anche a stagione avanzata, per non compromettere la

funzionalità della chioma ed in ultima analisi alcune caratteristiche qualitative come la finezza del quadro aromatico (Poni, 2005).

Contenuto idrico del suolo ed irrigazione del vigneto

La stima dello stato idrico del vigneto può essere valutata tramite diversi metodi:

1. il bilancio idrico del sistema suolo-pianta, computato in funzione degli apporti dovuti alle precipitazioni e dei consumi dovuti all'evapotraspirazione potenziale ETp corretta per il coefficiente colturale Kc;
2. la misurazione del contenuto di acqua nel suolo o del suo potenziale, forza con cui l'acqua è trattenuta dal terreno;
3. la misurazione del potenziale idrico delle vite o di organi specifici quali foglie e/o picciolo, che indica la misura dell'energia che bisognerebbe fornire per estrarre dalla pianta l'acqua che essa contiene (Van Leeuwen et al., 2003).

In seguito ad osservazioni ventennali su diverse varietà e in più zone vitate, Carbonneau (1998) ha proposto, al fine di apprezzare il livello di stress idrico, la misura del potenziale idrico fogliare di base Ψ_b (*predawn leaf water potential*), misurato prima del sorgere del sole, quando gli stomi sono ancora chiusi e la vite ha potuto riequilibrare il proprio stato idrico durante la notte, in relazione con l'acqua del suolo. Lo stress è definito nullo o lieve se il potenziale idrico fogliare di base si mantiene tra 0 e -0,2 MPa, lieve o medio entro -0,4 MPa, medio o forte entro -0,6 MPa e forte sotto -0,6 MPa.

Ojeda et al., (2003) hanno proposto diverse strategie di gestione idrica per i vitigni a bacca bianca e per quelli a bacca nera. In quest'ultimi si prevede il contenimento dell'attività vegetativa e la concentrazione dei soluti derivante dalla contrazione delle dimensioni dell'acino, mediante il mantenimento di un livello di potenziale idrico corrispondente ad uno stress idrico controllato lieve o medio per la fase compresa tra fioritura ed invaiatura, medio o forte dopo l'invaiatura e fino alla vendemmia. Per i vitigni bianchi invece, che devono conservare vivacità e freschezza nei profumi nonché salvaguardare il patrimonio in acido malico e tartarico, la strategia irrigua più adatta prevede una condizione di stress assente o lieve dal germogliamento all'invaiatura, e l'abbassamento del potenziale idrico fino a valori corrispondenti ad uno stress lieve o medio, dall'invaiatura alla maturazione, in modo da rallentare gradualmente la crescita vegetativa ed ottenere un leggero effetto di riduzione della dimensione degli acini. Nella tabella 28.2 sono riportati gli interventi colturali consigliati su Grenache noir in ambiente mediterraneo da Deloire et al., (2002; 2003), i quali hanno valutato lo stato idrologico attraverso la misurazione del potenziale idrico fogliare di base.

Tabella 28.2. Interventi culturali consigliati su Grenache noir al variare dello stato idrico della vite, in regioni mediterranee.

Stato idrico della vite (Ψ_b , Mpa)	Stadio fenologico	Caratterizzaz. del deficit idrico	Conseguenze attese	Commento	Raccomandazioni per interventi culturali *
0 a -0,2 Mpa	Da germogliamento a maturazione	Da nullo a molto leggero	Vigore eccessivo e diluizione dei metaboliti della bacca	sfavorevole alla qualità	Drenaggio possibile; forma di allevamento a controspalliera; potatura a cordone singolo o doppio; equilibrare il carico di gemme alla potatura; ridurre la fertilizzazione azotata al minimo; favorire gli interventi in verde sulla pianta per ridurre il vigore; SFEp/produzione ($m^2 Kg^{-1}$) ≥ 1 ; sfogliatura preventiva nelle zone dei grappoli all'allegagione e/o alla chiusura del grappolo Adattare la produzione in relazione alla SFEp. Possibilità di inerbimento poco concorrenziale con la vite (a base di leguminose) se ci sono problemi di erosione o di portanza
0 a -0,2 Mpa	Da germogliamento a fioritura	Da nullo a molto leggero	Crescita normale	favorevole	
-0,2 a -0,4 Mpa	Dalla fioritura alla chiusura del grappolo/ invaiatura	Medio e progressivo	Vigoria controllata (crescita vegetativa e fruttifera rallentata), nessun problema d'ordine biochimico	favorevole	Adattare la produzione in relazione con la SFEp
-0,4 a -0,6 Mpa	Dalla fioritura alla chiusura del grappolo/ invaiatura	Da medio a forte	Riduzione e/o arresto della crescita vegetativa e disequilibrio della superficie fogliare: blocco della crescita delle bacche; problemi possibili nella biosintesi dei tannini	sfavorevole	Evitare l'inerbimento; lavorazioni del suolo adatte; SFEp/produzione $\geq 1,25$ (ad esempio, $1m^2$ di superficie fogliare esposta per 0,8 Kg di uva, per m^2 o per pianta); diradamento manuale dei grappoli per ridurre il carico della vite; possibilità di apporti idonei d'acqua per aumentare il potenziale idrico fogliare a -0,4 Mpa (Ψ_b)
-0,4 a $\geq$ -0,6 Mpa	Da invaiatura a maturazione	Da medio a forte e progressivo	Pianta: rallentamento e/o arresto della crescita vegetativa; riduzione della fotosintesi; ingiallimento possibile delle foglie basali Bacche: riduzione della crescita; riduzione del deposito in zuccheri ma grado alcolico finale favorevole; possibile stimolazione della biosintesi di antociani, maturazione lenta senza blocchi ulteriori; concentrazione equilibrata dei metaboliti; aumento del rapporto buccia/polpa	favorevole	Se inerbito, tenere sotto controllo (mantenere l'inerbimento tra i filari con specie che siano secche in questa epoca per favorire la portanza); SFEp/produzione $\geq 1,25 m^2 kg^{-1}$

Stato idrico della vite (Ψ_b , Mpa)	Stadio fenologico	Caratterizzaz. del deficit idrico	Conseguenze attese	Commento	Raccomandazioni per interventi colturali *
> -0,6 Mpa	Da invaiatura a maturazione	Forte e drastico	Pianta: arresto della crescita vegetativa; ingiallimento e caduta delle foglie basali; riduzione importante della fotosintesi Bacche: riduzione importante della crescita; inibizione possibile della maturazione; riduzione importante nel deposito in zuccheri; problemi nella biosintesi degli antociani; concentrazione eccessiva dei metaboliti; aumento del rapporto buccia/polpa	sfavorevole nei terroirs dove il deficit idrico risulta drastico nel corso della maturazione	Nessun inerbimento; SFEp/carico > 1,25; diradamento manuale dei grappoli da considerare; adatte lavorazioni del suolo; possibile apporto d'acqua prima dell'invaiatura in modo che le viti rimangano a -0,6 Mpa (Ψ_b) all'inizio della maturazione

* Si suppone che il portinnesto sia adatto al tipo di suolo. La situazione ideale è riportata in grassetto. SFEp: superficie fogliare esposta potenziale.

Tutte le tecniche di impostazione di uno stress idrico controllato nella vite si ispirano al principio di restituire solamente una quota di acqua persa per evapo-traspirazione (ETe) cercando di conseguire il controllo della crescita vegetativa, il controllo della produzione e la miglior efficienza di utilizzo dell'acqua di irrigazione. Le esperienze condotte in questi ultimi anni sulle tecniche di RDI (*Regulated Deficit Irrigation*) ed altre indagini relative ad applicazioni di irrigazioni di soccorso hanno dimostrato il ruolo fondamentale che un corretto reintegro irriguo può avere sul miglioramento della qualità delle uve, sfatando il pregiudizio, ancora diffuso soprattutto nelle aree di grande tradizione viticola, che il ricorso all'irrigazione sia comunque sinonimo di scadimento qualitativo (Poni, 2000).

Nutrizione minerale e concimazione del vigneto

Gli elementi minerali che esplicano funzioni essenziali e specifiche nella vite sono oltre a carbonio, ossigeno e idrogeno, disponibili nell'aria e nelle acque, azoto, potassio, fosforo, calcio, magnesio e zolfo, tra i macroelementi e ferro, manganese, boro, molibdeno, rame, zinco, cobalto e cloro, tra i microelementi (tabella 28.3). Altri tre microelementi, silicio, alluminio e sodio, sono sempre presenti nella vite, ma non sembrano essere indispensabili (Gärtel, 1971).

La quantità di elementi minerali disponibili per la vite nel suolo, dipende da alcuni fattori fondamentali:

- la concentrazione degli elementi minerali nel suolo;
- il pH del suolo;
- la profondità del suolo utile per le radici;

- la quantità, la qualità e lo stato di alterazione dei frammenti di roccia;
- la disponibilità di acqua e di ossigeno;
- la gestione agrotecnica del terreno (lavorazioni meccaniche, inerbimento parziale o totale, temporaneo o permanente, ecc.)
- la conduzione agronomica del vigneto (fertilizzazioni organiche ed inorganiche, drenaggi, ecc.).

Tabella 28.3. Origine degli elementi minerali presenti nella vite.

	Macroelementi	Microelementi
Dall'aria e dall'acqua	carbonio, ossigeno, idrogeno	-
Dal suolo	azoto, fosforo, potassio, calcio, magnesio, zolfo	ferro, manganese, boro, molibdeno, rame, zinco, cobalto, cloro

Azoto

L'azoto è il principale macroelemento. Aumenta la vigoria dei ceppi e la loro capacità di produzione, ma una sua disponibilità eccessiva provoca un deterioramento della qualità del vino ed un aumento della sensibilità della vite a malattie crittogamiche e alla colatura. La maggior parte dei suoli assicura l'alimentazione azotata della vite grazie alla mineralizzazione della sostanza organica, fenomeno influenzato dalle caratteristiche del suolo e dal pedoclima e dunque dal "terroir".

Per ottenere uve ad elevato potenziale enologico, l'alimentazione in azoto della vigna deve essere moderata. Se un eccesso determina elevata vigoria e sensibilità alla Botrytis cinerea, la carenza può influenzare negativamente la componente aromatica delle uve, particolarmente a bacca bianca (Rapp et al., 1995). Per i vitigni rossi, i deboli apporti in azoto favoriscono la ricchezza fenolica delle uve (Van Leeuwen et al., 2000). Gli stessi autori propongono la misura dell'azoto totale e dell'azoto assimilabile del mosto quale pertinente e semplice indicatore della corretta alimentazione in azoto della vite. L'interpretazione dei dati, in relazione agli apporti di azoto al vigneto, necessita l'individuazione di valori "soglia" che variano da vitigno a vitigno. Sperimentazioni condotte nella regione di Bordeaux (Masneuf et al., 2000) evidenziano come la soglia di 180 mg L⁻¹ di azoto assimilabile nel mosto sembri soddisfare abbondantemente i bisogni della vite per un prodotto di qualità. Quando tale soglia è raggiunta, è dunque consigliato interrompere tutti gli apporti di azoto per l'anno seguente, ma in alcune situazioni di produzione di vini rossi di qualità il tenore in azoto assimilabile del mosto può essere inferiore a 130 mg L⁻¹, senza che il vigore e la produttività della vite risultino penalizzati.

Potassio

Il potassio è un elemento di fondamentale importanza per la vite, la quale è considerata pianta potassiofila per eccellenza (Fregoni, 1980; Mpelasoka et al.,

2003). Favorisce, infatti, l'accumulo degli zuccheri nelle bacche e regola l'equilibrio acidico salificando gli acidi organici dell'uva. Inoltre la sua adeguata presenza nel terreno regola l'economia dell'acqua e favorisce la resistenza alle malattie e al gelo. Durante la crescita dei tralci, la quantità di potassio accumulato dalla vite aumenta, arrivando ad un massimo iniziale tra la fioritura e l'arresto della crescita, per poi successivamente diminuire e aumentare di nuovo durante la maturazione. I bisogni giornalieri sono di circa 1-2 Kg ha⁻¹ per giorno durante la fase di crescita e di 3 Kg ha⁻¹ per giorno nel caso di vigne molto produttive. I prelievi annuali per ettaro delle foglie, dei rami e dei grappoli sono di circa 25-80 Kg (Reynier, 2000).

L'assorbimento del potassio è differente in funzione del vitigno e del portinnesto: debole per 1103 P, 140 Ru, 41 B, 110 R; forte per SO4 e 44-53. In caso di carenza di potassio durante l'estate le foglie presentano una decolorazione e poi un ingiallimento per i vitigni bianchi (flavescenza), o un arrossamento per i vitigni rossi (rosso minerale), che guadagnano progressivamente le nervature e tutto o parte del lembo ed i bordi delle foglie si piegano verso il basso. Durante la maturazione, le piante molto produttive possono presentare sulla faccia superiore della foglia delle piaghe brune nerastre o bruno cioccolato, mentre la faccia inferiore resta verde. Le foglie si seccano e cadono, prima quelle della base e poi quelle più alte. Le cause possono ricondursi alla natura del terreno (molto argilloso o molto sabbioso), all'eccessiva vigoria e alla sensibilità varietale. All'opposto, terreni eccessivamente ricchi di potassio aumentano la competizione con il magnesio, fino a inibirne l'assorbimento, con possibile comparsa di patologie quali il disseccamento del rachide (Bavaresco, 1989).

Magnesio

Il magnesio è elemento importante per la vite. Costituente della molecola della clorofilla, neutralizza gli acidi organici e partecipa con calcio e potassio al bilanciamento ionico intracellulare. È il più comune attivatore degli enzimi coinvolti nel metabolismo energetico e favorisce l'assorbimento di altri nutrienti. Le fertilizzazioni a base di solo K riducono il livello di Mg nelle piante, mentre non sembra avvenire il contrario. Nei terreni con pH di 5-5,5 e in quelli sabbiosi si riduce di molto l'assorbimento del Mg. Il ruolo del genotipo è fondamentale nel regolare la capacità di assorbimento, di traslocazione e di accumulo del Mg. Tutti i portinnesti, infatti, non hanno il medesimo comportamento nei riguardi dell'elemento. L'SO4, il Kober 5 BB e il Fercal ad esempio lo assorbono in modo insufficiente, al contrario del 140 Ru e del 1103 Paulsen (Boselli, 1986). È pertanto importante non combinare varietà sensibili al disseccamento del rachide con portinnesti che assorbono con difficoltà il magnesio. Ad esempio, Pinot nero su K 5BB e Riesling su SO4.

La carenza di magnesio può manifestarsi nei suoli leggeri e acidi soggetti a lisciviazione o in suoli che hanno ricevuto concimazioni eccessive di potassio. I sintomi appaiono prima sulle foglie della base e progrediscono verso l'alto, in

modo completamente opposto a quelli delle carenze di potassio. Alla fioritura, o anche prima, delle necrosi appaiono in posizione circolare a 10-20 mm dalla bordatura del lembo. Dopo la fioritura o all'inizio dell'estate le foglie vicine ai grappoli presentano delle colorazioni gialle, nei vitigni bianchi, gialle poi rosse o direttamente rosse sui vitigni rossi. Queste colorazioni, all'inizio marginali, progrediscono in digitazione internervatura.

Oltre ad essere importante per il metabolismo della vite, il magnesio si comporta come una "colla" che favorisce l'aggregazione delle particelle del suolo in strutture granulari. In alte concentrazioni però il Mg può sigillare la struttura del suolo, rallentando il drenaggio interno del suolo. Se il suo contenuto nel suolo è elevato in confronto al K ($K/Mg < 0,5$) sconvolge il meccanismo di assorbimento idrico della pianta, facendo apparire la vite in necessità di acqua anche quando in realtà non ne ha bisogno. Un basso rapporto K/Mg può anche conferire ai vini un aroma di erba o vegetale, che può non essere desiderato. I suoli su serpentiniti, i suoli alluvionali con sedimenti provenienti da queste rocce, presentano spesso questo problema. Questi suoli inoltre possono essere poco strutturati, in quanto l'eccesso di magnesio può agire da disperdente.

Sebbene le concimazioni potassiche possono ovviare all'eccesso di magnesio, nei suoli su serpentiniti resta il problema del nickel, contenuto come elemento traccia, ma che può ugualmente risultare tossico per la vite. Anche la scelta del portinnesto può aiutare nei suoli ricchi di Mg, poiché alcuni sono più tolleranti di altri. Un altro sistema è quello di evitare che le acque provenienti dal dilavaggio di queste rocce raggiungano per scorrimento superficiale o ipodermico il vigneto, tramite drenaggi, affossature e fossi di guardia a monte.

Calcio

Il calcio è l'elemento maggiormente assorbito ed utilizzato dalla vite, ma nei terreni italiani è spesso presente in dosi adeguate. Terreni con livelli di carbonato di calcio non inferiore al 6% influenzano positivamente la qualità dell'uva in termini di maggior tenore zuccherino e finezza aromatica del vino prodotto. Quando è presente in eccesso determina la clorosi ferrica. Alcune esperienze hanno indicato nel rapporto di 6:1:1 tra Ca, Mg e K l'indicatore di condizioni ottimali di fertilità per l'ottenimento di vini di grande qualità.

Fosforo

Il fosforo esplica funzioni biologiche molto importanti entrando nella composizione delle vitamine, degli acidi nucleici e dei trasportatori di energia che presiedono al metabolismo degli zuccheri. Non sembra avere influenza sulla produttività se non quando interviene a correggere le carenze di azoto diminuendo la sensibilità alla colatura e alle malattie crittogamiche. È comunque considerato regolatore dello sviluppo delle piante. I tralci ben provvisti in P_2O_5 sono quelli che evidenziano una fertilità maggiore delle

gemme. Favorisce inoltre lo sviluppo delle radici ed é dunque indispensabile nella fase di impianto del vigneto.

Nel suolo è elemento generalmente poco mobile e si trova sotto forme diversamente accessibili alle radici: nella soluzione acquosa circolante costituisce una riserva limitata, ma immediatamente sfruttabile; assorbito dal complesso argillo-umico costituisce la parte preponderante della riserva scambiabile che viene liberata facilmente per compensare le perdite da prelevamento dalla soluzione circolante. Questa forma costituisce, insieme alla precedente, la riserva detta “assimilabile”. Legato alla materia organica costituisce una riserva momentaneamente indisponibile, ma progressivamente liberabile tramite la decomposizione biologica, mentre è totalmente inutilizzabile sotto forma di fosfato, che è insolubile o molto poco solubile ed è derivato dalla roccia madre, dalla precipitazione progressiva del fosfato disciolto nei suoli calcarei o, al contrario, molto acidi (SCPA, 1986).

Sostanza organica

La sostanza organica del suolo raggruppa l'insieme degli esseri viventi e dei resti vegetali e animali presenti nel suolo a un dato momento, di origine naturale o apportati dall'uomo. Il suo contributo nel determinare la fertilità del suolo è universalmente riconosciuto, basti ricordare che l'*humus* si combina alle argille formando il complesso argillo-umico, che è alla base della struttura pedologica; la sostanza organica umificata inoltre migliora la ritenzione dell'acqua, tampona il pH, regola l'attività biologica ed aumenta la capacità di scambio cationico, la sua decomposizione infine porta alla cessione di elementi nutritivi alla soluzione circolante. Nonostante la sua importante funzione, è difficile stabilire delle soglie di sufficienza o di dotazione ottimale di contenuto di sostanza organica nel suolo. Questo perché il suo ruolo è sempre indiretto (le piante sono esseri autotrofi e quindi non utilizzano la sostanza organica del suolo) e varia notevolmente a seconda del tipo di suolo, in particolare in funzione della sua tessitura e struttura, giocando un ruolo progressivamente maggiore nei suoli argillosi e poco strutturati. Nei terreni vitati poi il ruolo della sostanza organica può essere negativo, in quanto sorgente di un eccesso di azoto o induttrice di condizioni di eccessiva fertilità. È un fatto che spesso i suoli dei vini di alta qualità sono molto poveri di sostanza organica. Nella tabella 28.4 sono riportati alcuni valori indicativi dei livelli di sostanza organica nei terreni vitati.

Tabella 28.4. Livelli di sostanza organica nel terreno (Bavaresco, 2005).

Sostanza organica %	
Molto povero	< 1
Scarsamente dotato	1 – 1,5
Mediamente fornito	1,6 – 2,0
Ben fornito	2,1 – 2,5
Ricco	> 2,5

Ferro

Il ferro assorbito dalle radici é indispensabile alla sintesi della clorofilla e interviene nei processi di respirazione e di fotosintesi. Il ferro é presente nel suolo dove viene assorbito generalmente senza problemi dalle radici della pianta. Tuttavia un eccesso di anioni bicarbonato e la presenza di altri condizioni sfavorevoli, quali il pH alcalino del suolo, possono causare il problema della clorosi.

La clorosi ferrica é la diretta manifestazione di una carenza ferrica a livello delle foglie, che riduce o impedisce la sintesi della clorofilla. Questa carenza ferrica può essere dovuta sia ad una insufficienza di assorbimento del ferro dalle radici sia ad una sua insufficiente migrazione, sia ai due fenomeni simultanei. Il Fe é normalmente presente nel suolo in numerose forme minerali, la cui solubilità é molto debole. Nei suoli calcarei, sotto l'azione dell'acqua del suolo carica di gas carbonico, si forma bicarbonato di calcio (HCO_3^-) che mantiene il pH della soluzione del suolo tra 7,5 e 8,5 e riduce la concentrazione in ferro solubile disponibile per la pianta. Tanto più elevata è la concentrazione di calcare attivo, tanto più alto è il rischio di avere fenomeni clorotici. Questo concetto è tradotto in pratica dall'indice del potere clorosante (IPC) (Juste e Pouget, 1972):

$$\text{IPC} = \text{CaCO}_3 \times 10^4 / \text{Fe}^2 \quad (1)$$

dove CaCO_3 è la percentuale di calcare attivo e Fe è il ferro estraibile in ossalato di ammonio espresso in mg Kg^{-1} . Le soglie massime di IPC tollerate dai più importanti portinnesti sono riportate nella tabella 28.15.

Altri fattori che possono aggravare i sintomi della clorosi sono l'insufficiente riserva di amido, ad esempio, per una raccolta eccessiva l'anno precedente, oppure per il debole accumulo di amido in piante giovani, in quanto le piante fino a due o tre anni di vita sono molto soggette alla clorosi; l'elevata vigoria della vite, che aumenta il fabbisogno in ferro; la sensibilità varietale e dei portinnesti: esistono vitigni particolarmente sensibili come i Pinot, il Cabernet Sauvignon, il Picolit, il Moscato d'Amburgo, il Ribolla gialla, per citare i più noti, mentre alcuni portinnesti quali il Fercal, il 140 Ru e il 41B sono particolarmente resistenti (Bavaresco, 2002); la conduzioni agronomica del suolo: le operazioni colturali che favoriscono lo sminuzzamento degli elementi calcarei (lavorazioni del terreno); la liberazione di gas carbonico (apporto di sostanza organica fresca); le concimazioni nitriche abbondanti.

I sintomi della clorosi ferrica iniziano durante la fase di crescita primaverile con l'ingiallimento delle foglie apicali a partire dall'estremità. Tale decolorazione interessa il lembo delle foglie mentre le nervature restano verdi. La crescita é rallentata, i rami sono allo stesso modo decolorati e nei casi più gravi si verifica il disseccamento dei germogli fino, assai raramente, alla morte della pianta. La malattia si manifesta spesso al momento della ripresa vegetativa, per poi sparire, non senza però aver ormai nuociuto al metabolismo della

pianta e aver comunque inciso sulla sua produzione e longevità. Le produzioni possono essere diminuite anche del 50%.

Boro

Il boro é un microelemento indispensabile per i vegetali, poiché influisce sul metabolismo degli acidi nucleici, sulla sintesi proteica, sull'attività meristemica ed in particolare sullo sviluppo e la funzionalità degli organi di riproduzione. Interviene inoltre sulla traslocazione degli idrati di carbonio e in generale sul trasporto di molte sostanze attraverso le membrane vegetali (Jackson et al., 1975).

Il ruolo fisiologico del boro nella vite é confermato da alcuni sintomi di carenza caratteristici. Si può manifestare boro carenza in suoli poco provvisti dell'elemento per costituzione, oppure in suoli dai quali il boro é stato dilavato. La carenza é tuttavia frequente anche quando il boro é presente in quantità sufficiente ma in forme poco assimilabili. Una porzione notevole di boro é contenuta nella sostanza organica o é adsorbita sulla superficie dei colloidi umici; il contenuto di boro assimilabile generalmente segue la ripartizione dell'*humus* nei profili del terreno e si accumula negli orizzonti umici. È inoltre presente in quantità variabile nella soluzione circolante dei terreni come borati solubili o come acido borico non ionizzato. In queste forme può essere facilmente assorbito dalle piante, ma altrettanto facilmente può essere lisciviato (Corino et al., 1990).

Tabella 28.5. Livelli critici di boro in diversi tipi di terreno (Bavaresco e Vercesi, 1996).

Livelli di boro	
Terreno argilloso	< 0,8 mg kg ⁻¹
Terreno di medio impasto	< 0,5 mg kg ⁻¹
Terreno sciolto	< 0,3 mg kg ⁻¹

Le tipologie di suolo più soggette alle carenze in boro sono quelle fortemente calcaree, con argille molto plastiche e i terreni sciolti e poveri in sostanza organica. Risulta infatti molto significativa la correlazione tra il contenuto in boro assimilabile e la sostanza organica. La carenza di boro si manifesta più frequentemente in condizioni di scarsa disponibilità idrica, di alte temperature dell'aria e durante i periodi di più rapido sviluppo: il boro infatti é un elemento molto mobile nello xilema e poco mobile nel floema. Fra i sintomi vi é la degenerazione dei meristemi apicali e radicali, con il conseguente rallentamento della crescita di germogli e radici. I sintomi di carenza compaiono nel periodo della fioritura inizialmente sui ceppi più deboli, nelle zone più povere del vigneto e sono più evidenti sulle parti giovani delle piante e all'inizio della vegetazione. Le prime foglie rimangono piccole e le successive, nelle parti distali dei germogli, presentano caratteristiche decolorazioni a mosaico con macchie tra le nervature di colore giallo o rosso vivo, prima discreto, poi tendono a confluire e formare delle digitazione internervatura. I germogli

principali hanno spesso internodi ravvicinati ed apici necrotici per ostruzione dei tessuti vascolari. Nei casi gravi i fiori cadono e le infiorescenze seccano, le bacche interessate restano piccole e prendono toni plumbei (Corino et al., 1990).

Rame

Il rame è un altro elemento indispensabile alla vita vegetativa della vite. Influenza quasi tutte le vie metaboliche ed agisce direttamente sulla sintesi della lignina e sui processi riproduttivi. Risulta inoltre essere indispensabile per la sintesi della clorofilla, delle proteine e delle vitamine A e C (Fregoni e Corallo, 2001). La carenza, piuttosto rara nei vigneti, è causa di sterilità del polline e si manifesta con necrosi puntiformi ai bordi del lembo, caduta precoce delle foglie apicali e seccume degli apici.

I trattamenti antiperonosporici con prodotti cuprici possono provocare accumulo di rame assimilabile negli strati superficiali del terreno, soprattutto in terreni con pH bassi, poveri di sostanza organica, di calcare attivo e di colloidi minerali. Le analisi compiute in diversi vigneti dimostrano che il contenuto in rame può variare notevolmente, da poche unità a molte centinaia di ppm (Costantini, 1999). Il tasso normale è compreso tra i 20 ppm (terreni sabbiosi) e 100 ppm (terreni argillosi). Un contenuto superiore ai 100 ppm è considerato anomalo. Per quanto riguarda gli eccessi, la vite sfugge alle elevate dosi di rame nel terreno perché ha un apparato radicale distribuito fra i 20-30 e 70-100 cm, in cui il tenore di rame è generalmente basso.

Il rame è antagonista del Fe, ostacolandone l'assorbimento e l'utilizzazione da parte della pianta. Anche elevate dosi di fosforo associate a eccessi di rame incrementano i rischi di clorosi ferrica. Si può far fronte ad eccessi di Cu apportando materia organica, in quanto gli acidi umici sono in grado di assorbire il Cu e renderlo insolubile.

Zinco

Lo zinco è uno dei principali oligoelementi. La vite ha bisogno di circa 100-500 g di zinco per ettaro ogni anno. Al contrario, concentrazioni superiori a queste soglie possono causare tossicità. Lo zinco ha tendenza ad accumularsi nei suoli a pH superiore a 6 e in prossimità dei pali di sostegno in metallo zincato della vite, dove sono state misurate concentrazioni di 2.300 ppm (Müller e Breiter, 1999). L'effetto di tossicità può apparire sotto forma di un ritardo di crescita e di crescita comunque ridotta delle radici. La tossicità può manifestarsi non solo sulla pianta per eccesso di zinco nei tessuti, ma anche per via indiretta andando ad influenzare altri elementi essenziali. Tenori elevati, infatti, possono avere un'influenza negativa sul tenore in ferro delle piante, essendo lo zinco antagonista nell'assorbimento del ferro.

Capacità di scambio e pH

I nutrienti, presenti nella soluzione circolante per lo più come cationi, sono trattenuti dai siti caricati negativamente delle argille e della sostanza organica, che determinano la capacità di scambio cationico del suolo. La soglia di 10 meq 100g^{-1} di terra fine è generalmente ritenuta quella di sufficienza per la vite che, come si ricorda, è una pianta di esigenze limitate. Suoli molto sabbiosi e poveri di materia organica possono però avere una CSC ridotta a tal punto da influire negativamente sulle produzioni e sulla qualità del vino.

Il pH del suolo in sospensione acquosa può essere considerato un indicatore sintetico della fertilità chimica. I valori di riferimento per la vite sono compresi tra 5,5 ed 8,2. Oltre questo campo, è probabile avere degli squilibri nei nutrienti, fenomeni di tossicità o di carenza, che possono influire direttamente sulla vite o indirettamente, agendo sull'attività della microflora.

A pH bassi del suolo tutti i microelementi metallici sono maggiormente solubilizzati (figura 28.4), mentre possono insorgere deficienze di calcio, magnesio, fosforo e potassio. Anche per l'azoto si può manifestare minore disponibilità poiché i batteri in grado di trasformare la sostanza organica si sviluppano con maggior difficoltà nei terreni molto acidi.

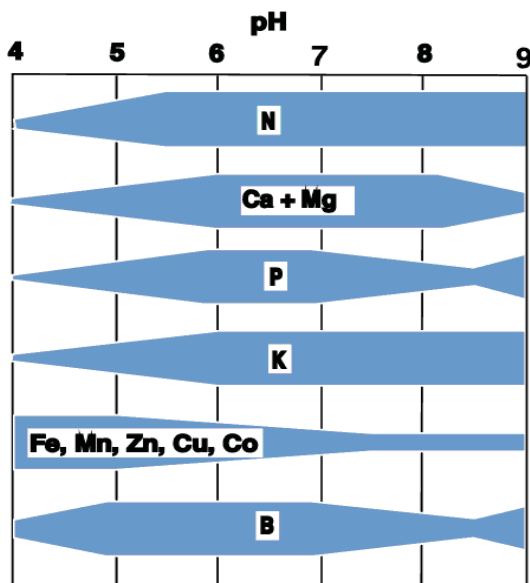


Figura 28.4. Disponibilità degli elementi minerali ai diversi pH del suolo.

Salinità e sodicità

È noto che la vite è una specie moderatamente tollerante alla salinità, riuscendo a sopportare contenuti salini proporzionali ad una conducibilità elettrica fino a

1 dS m⁻¹ (Sbaraglia e Lucci, 1994). La sezione di controllo fino a dove occorre misurare la salinità è di circa 80 cm, che corrispondono spesso alla profondità utile per le radici. Per la determinazione della salinità di un suolo si ricorre alla misura strumentale a 25°C della conduttività elettrica in estratti acquosi del suolo a diversa concentrazione.

La presenza di sodio nella soluzione circolante e sul complesso di scambio del suolo limita notevolmente l'approfondimento radicale di tutte le piante. Per la vite, in particolare, il tasso di sodio sul complesso di scambio non dovrebbe superare l'8% (*exchangeable sodium percentage*, ESP < 8).

Concimazione

La vite è una pianta di esigenze limitate dal punto di vista alimentare, soprattutto nei riguardi di azoto e fosforo mentre, rispetto ad altre colture agrarie, è più esigente in potassio e calcio. La concimazione d'impianto consiste nell'apportare sostanze nutritive poco mobili nel terreno, quali P, K, Mg, e B, qualora si ritenga probabile la loro carenza, per permetterne un facile reperimento alle giovani viti con apparato radicale poco sviluppato. L'apporto di sostanza organica, raccomandato in passato con l'obiettivo di migliorare la struttura del terreno, è invece di solito da evitare, per non incorrere in problemi di eccessiva fertilità del suolo. Da considerare inoltre che, essendo la disponibilità di sostanza organica ben umificata sempre più limitata, e di conseguenza l'utilizzo di materia organica di scarsa qualità sempre più diffuso, lo spargimento di masse organiche sul suolo prima dell'impianto può causare squilibri nell'attività biologica, o una sua riduzione, soprattutto nei suoli a drenaggio imperfetto. In questi suoli si possono avere fermentazioni, con riduzione di disponibilità di ossigeno nel suolo e produzione di gas tossici, che possono anche causare la morte delle giovani piante. In generale, è sempre preferibile preservare all'impianto il suolo superficiale naturale, piuttosto che tentare di ricostituire la fertilità di un suolo o di un sedimento da cui è stata asportata la parte superiore, a causa di eccessivi sbancamenti. La concimazione di produzione va impostata in funzione dello stato nutritivo del vigneto, valutato mediante l'analisi fisico-chimica del terreno, la diagnostica fogliare e/o peziolare e tenendo conto delle asportazioni per la produzione di uva, legno e foglie.

Tabella 28.6. Livelli di sufficienza per K₂O, MgO e CaO scambiabili in funzione della capacità di scambio cationico del suolo (CSC) (Cottenie, 1980).

CSC meq 100g ⁻¹ di terra fine	K ₂ O scambiabile meq Kg ⁻¹	MgO scambiabile meq Kg ⁻¹	CaO scambiabile meq Kg ⁻¹
< 10	0,37-0,74	0,84-2,08	9,99-24,97
10-20	1,27-2,23	3,27-6,60	49,93-78,46
> 20	1,91-3,82	4,96-9,92	99,86-149,79

Tabella 28.7. Dotazioni ottimali di alcuni elementi micronutritivi del suolo a differenti valori di pH (ppm assimilabili – solvente EDTA) (Vercesi, 1987).

pH in KCl	Fe ⁺²	Zn ⁺²	Mn ⁺²	Cu ⁺²
4,5 - 5,5	25 - 30	2,5 - 4,5	25 - 35	1,0 - 2,0
5,6 - 6,5	30 - 35	2,0 - 2,5	20 - 30	1,0 - 1,5
6,6 - 7,5	35 - 50	2,5 - 3,5	25 - 40	1,0 - 1,5
7,6 - 8,5	50 - 75	3,5 - 7,0	40 - 55	1,5 - 2,0

Tabella 28.8. Asportazioni minime e massime di macro e microelementi in funzione della produzione di uva, legno e foglie (da 70 a 250 q ha⁻¹) (Fregoni, 1980).

Elementi nutritivi	Minimo	Massimo
Azoto kg ha ⁻¹	22	84
Fosforo kg ha ⁻¹	2	15
Potassio kg ha ⁻¹	34	123
Calcio kg ha ⁻¹	20	146
Magnesio kg ha ⁻¹	3	15
Boro g ha ⁻¹	37	228
Ferro g ha ⁻¹	292	1.121
Manganese g ha ⁻¹	49	787
Rame g ha ⁻¹	64	910
Zinco g ha ⁻¹	110	585

28.3.5 Paesaggio

La necessità di perseguire in viticoltura un modello di sviluppo multifunzionale ed ambientalmente sostenibile conduce l'agricoltore e il programmatore territoriale a considerare gli aspetti legati alla gestione e miglioramento del paesaggio rurale, oltre che alla protezione dell'ambiente. La tutela del paesaggio è un valore che si va sempre più affermando a seguito dei profondi mutamenti che nel mondo agricolo hanno comportato la scomparsa dei caratteristici "paesaggi culturali" (ESDP, 1999), quali quelli tipici dei terrazzamenti e della "coltura mista". I nuovi modelli d'impianto di tipo intensivo, che hanno cercato di ottimizzare l'organizzazione del lavoro, sono stati applicati in maniera generalizzata, spesso non tenendo conto delle condizioni pedologiche e causando in molti casi uno scadimento delle qualità del suolo, soprattutto nei comprensori collinari dove si è diffusa la coltura arborea, in particolare la vite (Costantini, 1992). Oltre agli aspetti legati alla qualità del suolo, la tutela del paesaggio è da considerarsi anche un bene economico. Come cita il "Piano regionale per la ristrutturazione e riconversione dei vigneti" della Regione Toscana (2001) "recenti studi affermano che due terzi del valore di una bottiglia di un grande vino sono attribuibili a fattori immateriali. Il CENSIS ha concluso che negli orientamenti e nei comportamenti l'immaginario prevale sul materiale, il vino è vissuto sempre più come comportamento emozionale; il vino evoca ambienti, paesaggi e cultura locale, atmosfere di cantina; i distretti del vino si propongono come poli turistici". L'immagine del paesaggio collinare evocata da un grande vino è

quella caratterizzata dalla struttura agricola tipica di quell'ambiente. Nel caso toscano, ad esempio, dalla simultanea presenza di vigneti, oliveti, aree boschive ed a seminativo, che si alternano nel paesaggio in modo razionale ed equilibrato e in cui si inseriscono adeguatamente la cantina, gli edifici e le strutture aziendali.

Il tema dell'inserimento paesistico del vigneto non è al momento valutato in modo univoco, per cui ogni specialista tende a valorizzare le proprie competenze. È d'altra parte un argomento che può essere affrontato da molteplici punti di vista: dalla scelta degli appezzamenti, a quella della loro dimensione e posizione nel versante, dalla distribuzione con le altre colture al mantenimento delle siepi ed alberature, dalle sistemazioni idraulico-agrarie all'orientamento dei filari, fino alla scelta dei materiali con cui realizzare i tutori delle viti.

In questa sede sono presentati alcune semplici metodologie di valutazione d'impatto ambientale e paesaggistico della viticoltura in ambiente collinare, che sono state messe a punto in provincia di Siena (Costantini et al., 2004).

Valutazione dell'impatto ambientale sugli agroecosistemi (agroecotopi)

Il metodo è stato messo a punto per apprezzare i cambiamenti verificati in Toscana a seguito della diffusione della coltura specializzata avvenuta a cavallo degli anni '70, sulla spinta dei fondi FEOGA dell'allora Comunità Europea, ma può essere utilizzato anche per valutare diversi possibili scenari di sviluppo agricolo. Si basa sulla realizzazione della carta dei suoli, di quella delle sistemazioni idraulico-agrarie e di quella dell'uso del suolo. Nel periodo 1965-1994, l'uso del suolo nei bacini idrografici di prova studiati a San Gimignano è profondamente mutato: le colture arboree specializzate, in particolare, sono aumentate di circa dieci volte, mentre le colture promiscue tradizionali sono diminuite di circa l'80% (figura 28.5 e 28.6). Sempre nel periodo in questione, la tradizionale sistemazione dei campi in traverso, ("cavalcapoggio", "girapoggio") è stata quasi totalmente sostituita dalla sistemazione a rittochino, ma sono aumentate anche la sistemazione di pianura a campi larghi, a discapito della sistemazione a prode, e l'assenza di sistemazioni.

Il più vistoso cambiamento nel paesaggio agricolo (tabella 28.9) è la comparsa dell'agroecotopo caratterizzato da colture arboree specializzate (soprattutto vigneto) con suoli a profilo ringiovanito a causa dell'erosione antropica. In queste aree, talvolta già instabili per cause geomorfologiche, l'impianto di colture specializzate con sistemazione a rittochino e l'intenso modellamento delle superfici a mezzo di sbancamenti ed arature profonde ha provocato l'affioramento del substrato pedogenetico, favorendo l'erosione superficiale ed accentuando in qualche caso la franosità. L'agroecotopo più caratteristico del "paesaggio toscano", la coltura promiscua tradizionale in collina su aree stabili, preservate dall'erosione e con suoli di buona fertilità e caratteri idrologici, è invece diminuito di quasi il 79%.



Figura 28.5. Versante sud-est di San Gimignano: agroecotopi tradizionali.

Tabella 28.9. Variazioni delle tipologie di agroecotopi nei bacini del Vergaia e Borratello a San Gimignano (SI).

Agroecotopi	1965		1994	
	ha	%	ha	%
1: colture promiscue di collina in aree stabili	393,9	18,5	83,2	3,9
2: seminativi arborati di pianura tradizionali (proda toscana)	83,1	3,9	36,4	1,7
3: seminativi nudi di pianura (campi a larghe)	63,7	3,0	143,0	6,7
4: colture specializzate in aree stabili	15,9	0,7	217,6	10,2
5: colture specializzate in aree instabili	31,7	1,5	287,0	13,5
6: seminativi nudi di collina in aree instabili	525,7	24,6	496,7	23,3
7: seminativi nudi di collina in aree stabili	107,2	5,0	71,7	3,4
8: aree urbane	45,7	2,1	49,3	2,3
9: corpi idrici	5,1	0,2	6,1	0,3
10: boschi (anche i pioppeti)	274,2	12,9	335,9	15,7
11: colture promiscue di collina in aree instabili	516,7	24,2	91,3	4,3
12: incolti e seminativi su scarpata	62,8	2,9	136,3	6,4
13: aree miste	7,3	0,3	9,4	0,4
14: colture arboree specializzate in aree erose per cause antropiche	0,0	0,0	169,2	7,9



Figura 28.6. Versante nord-ovest, agroecotopi della coltura viticola specializzata.

Valutazione della lunghezza degli appezzamenti

La lunghezza dei vigneti è stata scelta come indicatore paesistico per l'indubbio impatto scenico prodotto da appezzamenti molti lunghi. A questo impatto va aggiunto quello sulla conservazione del suolo, che andrebbe però completato con l'indicazione del tipo e della frequenza delle sistemazioni idraulico-agrarie.

La valutazione delle dimensioni dei vigneti è stata condotta sulla banca dati di uso del suolo Corine, 1995, sulle ortofoto AIMA a scala 1:10.000 (1987). Per valutare in particolare la lunghezza dei vigneti sono state misurate 3-7 *transects* per ogni poligono di uso del suolo a vigneto, tracciati lungo le linee di massima pendenza dei vigneti, partendo dal crinale ed esprimendo i risultati come valore massimo e medio di pendenza dei vigneti presenti nel poligono. I valori sono stati raggruppati nelle classi 150, 300 e 450 m, presupponendo una corrispondenza di queste tre classi con un impatto limitato, medio e forte.

Il risultato che si è ottenuto ha indicato che in provincia di Siena prevalgano le aree con vigneti a lunghezza tra i 150 e i 300 m, quindi di impatto paesaggistico medio, ma sono presenti anche vigneti con impatto forte, soprattutto nel comune di Montalcino (figura 28.7).

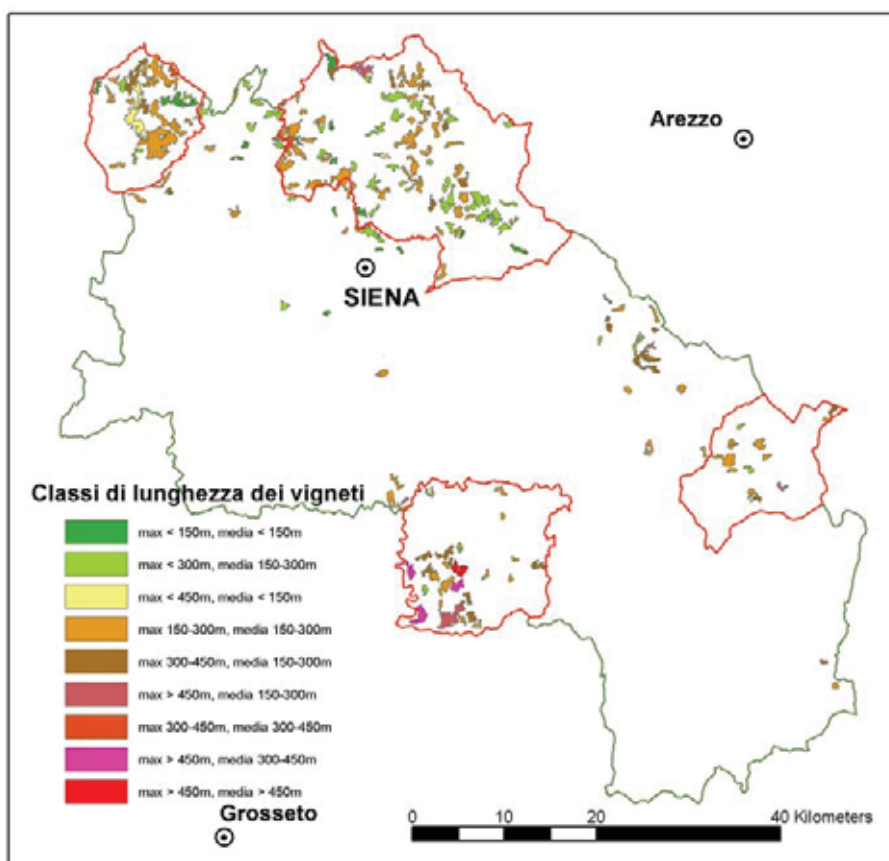


Figura 28.7. Classi di lunghezza dei vigneti in provincia di Siena.

Saturazione viticola del paesaggio

L'impatto paesaggistico dei vigneti può anche essere visto come riduzione della diversità culturale. Per questo motivo è stato messo a punto l'indicatore "saturazione viticola del paesaggio".

La saturazione viticola del paesaggio senese è stata ottenuta incrociando i dati Corine di vigneto specializzato con la banca dati dei Sistemi Territoriali (scala di riferimento 1:100.000) della Regione Toscana. Il dato indica la percentuale di vigneti specializzati nel sistema di paesaggio, cioè in una combinazione caratteristica per la scala di riferimento di litologia, morfologia e uso del suolo, a cui corrisponde una certa associazione di suoli. Questo indicatore ha mostrato come il paesaggio senese sia maggiormente saturato nelle aree DOCG tradizionali, piuttosto che nelle aree non a denominazione o in quelle di recente denominate (figura 28.8). Tra le aree DOCG, quelle

maggiormente sature sono quelle di San Gimignano, del Chianti e di Montalcino, mentre una situazione migliore è presente a Montepulciano.

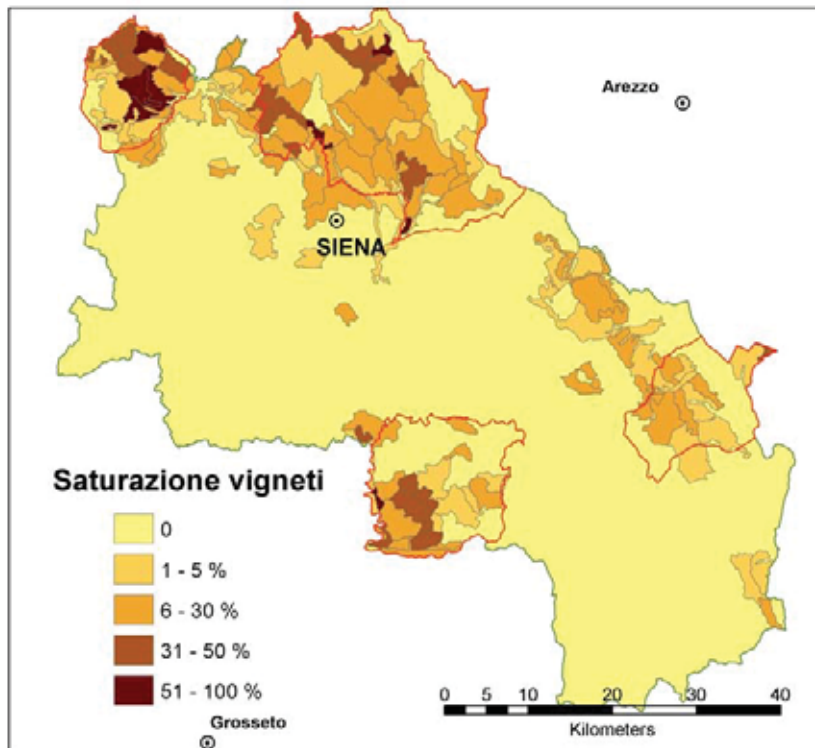


Figura 28.8. Saturazione viticola dei paesaggi senesi.

28.4. Rilevamento pedologico e viticoltura

Durante il rilevamento dei suoli in campagna è possibile osservare tutta una serie di condizioni stazionali e del profilo del suolo che possono essere molto utili per la pianificazione degli interventi viticoli. In questa sezione verranno illustrati in dettaglio alcuni aspetti particolarmente importanti per le decisioni da prendere prima dell'impianto del vigneto. Decisioni che riguardano la valutazione delle difficoltà di gestione agrotecnica del suolo, della modalità e profondità di scasso e delle sistemazioni idraulico agrarie, nonché la scelta della densità di impianto ottimale, dei portinnesti e degli inerbimenti.

28.4.1. La valutazione della difficoltà di gestione agrotecnica del suolo

La realizzazione di impianti viticoli specializzati non può prescindere dalla valutazione della difficoltà di gestione agrotecnica del suolo del futuro vigneto. Una stima realistica delle principali difficoltà gestionali è ottenibile dai dati di un rilevamento pedologico routinario, che consideri i seguenti caratteri e qualità del suolo.

- Pendenza: è il fattore che condiziona maggiormente le possibilità di meccanizzazione e la sicurezza degli operatori agricoli.
- Pietrosità superficiale: indica la percentuale di area (attorno al punto osservato) occupata da frammenti di roccia di diametro superiore ai 75 mm.
- Rocciosità: indica la percentuale di area (attorno al punto osservato) occupata da materiali di dimensioni superiori a 500 mm, non rimovibili dalle normali lavorazioni.
- Scheletro: percentuale negli orizzonti superficiali. È la percentuale di volume occupato dai frammenti rocciosi con diametro maggiore di 2mm negli orizzonti superficiali interessati dalle comuni operazioni di rimescolamento ad opera dei mezzi agricoli.
- Profondità del suolo: indica la profondità del limite fra il suolo e uno strato roccioso continuo e coerente sottostante; o anche la profondità del contatto con un limite paralitico, come potrebbe essere uno strato di sedimenti compatti ed inalterati.
- Rischio di inondazione: esprime la probabilità dell'evento nell'arco di 100 anni.
- Lavorabilità e trafficabilità: lavorabilità e trafficabilità sono qualità complesse, che non possono essere definite univocamente sulla base di una singola proprietà, bensì da una combinazione di più caratteristiche fisico-meccaniche. Per la sua approssimativa valutazione è stata usata la tessitura, che è il dato più influente per stimare se un terreno è ben lavorabile o meno. Un suolo per definizione è lavorabile se le sue condizioni di friabilità consentono di realizzare una desiderata condizione strutturale in seguito all'azione della macchina operatrice agricola. Tale condizione è sfavorita sia da un elevato contenuto di argilla, che fa aumentare il grado di coesione degli aggregati, sia da un alta somma di argilla più limo, che fa aumentare il rischio di sprofondamento dopo le piogge, sia da un alto contenuto del solo limo, che fa aumentare il rischio di formazione di croste superficiali

Tabella 28.10. Classi di lavorabilità.

Facile (L0)	Difficoltosa (L1)	Molto difficoltosa (L2)
argilla + limo ≤ 65 % sabbia totale ≥ 35 %	argilla+ limo tra 65 e 85 % sabbia totale tra 35 e 15 %	argilla + limo > 85 % sabbia totale < 15 %
classi tessiturali: S, SF, FS, FSA, AS, F, FLA	classi tessiturali: FLA, FA, FL	classi tessiturali: A, L, AL

Tabella 28.11. Tabella di attribuzione delle classi di difficoltà di gestione agrotecnica del suolo.

Qualità e caratteristiche	Classi di attitudine			
	S1	S2	S3	N
pendenza %	≤ 14	15-21	22-35	> 35
pietrosità % tra 250-500 mm	$< 0,3$	0,3-15	16-50	> 50
rocciosità % > 500 mm	< 2	2-10	11-25	> 25
scheletro % orizzonti Ap o A	< 35	35-70	> 70	
profondità suolo (cm)	> 100	50-100	25-49	< 25
rischio inondazione	assente	lieve	moderato	alto
lavorabilità e trafficità (classe)	lavorazioni senza particolari difficoltà (L0)	lavorazioni difficili per tessitura argillosa o limosa (L1)	lavorazioni molto difficili per tessitura limosa o argillosa (L2)	-

28.4.2. Modalità e profondità di scasso e delle sistemazioni idraulico agrarie

La modalità e la profondità dello scasso da operare prima dell'impianto di un nuovo vigneto deve essere regolata in funzione della presenza di orizzonti e fattori limitanti l'approfondimento radicale. È da tenere presente che, per convenzione, si considera un orizzonte esplorabile dall'apparato radicale quando almeno il 30% del suo volume è penetrabile dalle radici. Non è detto quindi che il fattore limitante la profondità del suolo sia solo la presenza di roccia dura non fessurata, ma la profondità utile può essere inferiore alla reale profondità del suolo anche a causa delle seguenti limitazioni:

- presenza di una falda idrica superficiale;
- presenza di un orizzonte cementato;

- scarsa macroporosità e ossigenazione;
- eccessiva compattezza;
- eccessivo contenuto di scheletro;
- caratteri vertici;
- condizioni chimiche sfavorevoli.

Nei suoli posti nelle pianure bonificate, dove è presente una falda idrica superficiale entro un metro dalla superficie, viene di solito sconsigliata la viticoltura, per la difficoltà ad ottenere un prodotto di qualità. Anche in collina però possono essere presenti delle falde idriche, seppure temporanee, sospese sopra orizzonti a bassa permeabilità o nelle situazioni morfologiche dove le acque di circolazione sottosuperficiale tendono a concentrarsi, le quali impediscono alle radici di approfondirsi e rendono indispensabili i drenaggi tubolari o le fognature.

In alcuni suoli è presente un orizzonte calcico sottosuperficiale caratterizzato da un elevato contenuto in calcare totale ed attivo, nonché da una difficile penetrabilità da parte delle radici della vite. In queste situazioni è opportuno effettuare delle lavorazioni appropriate, come scassi superficiali accompagnati da rippature profonde (lavorazione a due strati), in modo da rompere la continuità di questi orizzonti, evitando però di portare in superficie gli strati con i caratteri indesiderati. È importante inoltre adottare portinnesti resistenti a elevati tenori di calcare attivo. Un discorso analogo va fatto per i suoli evoluti su substrati salini, dove il clima non è sufficiente umido per il dilavamento dei sali e dove le asportazioni di suolo conseguenti ai livellamenti possono far affiorare il sedimento ancora ricco di sali. È il caso di molti sedimenti argillosi marini del Pliocene e del Miocene, piuttosto diffusi in Italia centrale e meridionale.

Molti suoli italiani, poveri di sostanza organica e intensamente sfruttati da molti anni, interessati dal passaggio di macchinari agricoli sempre più pesanti, presentano una bassa macroporosità ed una elevata compattezza, che possono rendere molto difficoltosa la penetrazione delle radici, specie delle giovani piante di vite. È proprio per aumentare la macroporosità che si realizza sempre lo scasso, con aratro, discissore o ripper, o anche altri attrezzi, prima del nuovo impianto. È da tenere presente comunque che i sedimenti posti al di sotto del suolo possono essere più addensati ed impenetrabili del suolo stesso e, se portati in superficie, possono peggiorare le condizioni di aerazione del suolo.

Nei paleosuoli, cioè nei suoli molto antichi, in particolare in quelli che presentano un orizzonte cementato da ossidi di ferro, si hanno problemi inerenti sia la fertilità fisica che chimica del suolo. L'impenetrabilità dell'orizzonte, infatti, si può accompagnare ad una povertà chimica, dipendente dalla bassa capacità di scambio e saturazione in basi. Oltre agli interventi volti a rompere il crostone ferrico, possono risultare utili, in questi casi, gli ammendamenti con calce e letame. Altri paleosuoli presentano invece un orizzonte sottosuperficiale compatto, ma non assolutamente impenetrabile, che può invece limitare l'eccesso di fertilità del suolo e contribuire alla

realizzazione di un vino di alta qualità. È il caso di alcuni paleosuoli di Montepulciano e di Montalcino in Toscana (Costantini e Lizio-Bruno, 1996).

I suoli con argille dinamiche, come le smectiti, presentano fenomeni di rigonfiamento e contrazione, denominati “vertici”, che conducono alla formazione di profonde spaccature in estate e a scivolamento dei macroaggregati del suolo uno sull’altro nella stagione umida. Questi fenomeni possono condurre alla spaccatura delle radici della vite, soprattutto quelle più grosse e profonde. Le condizioni necessarie per attribuire a un suolo l’appellativo di “vertico” sono la presenza di fessure in estate e di facce di pressione che tendono a dare agli aggregati una forma a cuneo, a causa della presenza di piani di scivolamento inclinati tra loro. Queste due condizioni devono essere evidenti in almeno un orizzonte spesso 15 cm entro 125 cm dalla superficie.

Nei suoli evoluti su sedimenti alluvionali di alta energia, come ad esempio terrazzi fluviali, conoidi alluvionali, è possibile a volte ritrovare sotto a un suolo spesso pochi decimetri, uno strato molto potente di ghiaie o pietre, spesso calcaree, quasi privo di terra fine, che rende molto difficile l’approfondimento radicale. In questo caso le radici potranno esplorare solo la massa di terra fine, che non dovrà essere ulteriormente ridotta o mescolata con le pietre sottostanti. È il caso delle famose “Grave” friulane. In altri ambienti invece, quali quelli dei conglomerati marini, la presenza di pietrosità e scheletro, in quantità anche abbondanti, ma immerso in una matrice fine, è da ritenersi un fattore positivo per la vite, in quanto limita l’eccesso di fertilità del suolo, favorisce il drenaggio e protegge la superficie dall’erosione (effetto pacciamante).

28.4.3. Suolo e densità di impianto¹

La scelta della densità d’impianto del vigneto, ovvero delle distanze delle viti sulla fila e delle distanze tra i filari, è funzione per ogni ambiente della potenzialità del suolo, in termini di capacità di sostenere lo sviluppo e la produttività delle viti (Silvestroni e Paliotti, 2005). Nei terreni più fertili, dove maggiori sono le possibilità di sviluppo delle viti, le distanze devono essere più ampie per ottimizzare la qualità e la quantità dell’uva. Viti troppo fitte, infatti, presenterebbero chiome eccessivamente dense, di difficile penetrazione per la luce e richiederebbero massicci interventi di riequilibrio quali cimature, sfogliature, scacchiature, ecc. Il raggiungimento di elevati livelli qualitativi delle uve appare infatti strettamente dipendente dal giusto equilibrio tra apparato radicale e chioma, cioè tra quantità di acqua, elementi minerali e carboidrati, in grado di permettere la corretta crescita dei germogli fino all’invaiaura, quando

¹ Capitolo realizzato con il contributo di Stefano Campagnolo, CRA-Istituto Sperimentale per lo Studio e la Difesa del Suolo, Firenze.

è necessario che l'attività vegetativa si interrompa per favorire la maturazione dell'uva.

I terreni poveri richiedono più elevate densità d'impianto. Infatti, con l'infittimento sulla fila, le dimensioni dell'apparato radicale della vite si riducono, perché diminuisce lo spazio a disposizione e aumenta la competizione tra le piante. Di conseguenza lo sviluppo dell'apparato aereo viene limitato, si riduce così da un lato la quantità di metaboliti utilizzabili per la crescita delle radici e dall'altro la capacità di assorbimento delle sostanze minerali per la crescita dei germogli, fino al raggiungimento di una condizione di equilibrio. Si ritiene che le distanze sulla fila attualmente consigliabili in base alle caratteristiche ecopedologiche del vigneto possano essere quelle della tabella 28.12.

Tabella 28.12. Distanze tra le viti sulla fila a seconda della fertilità del terreno (da Silvestroni e Paliotti, 2005).

Fertilità	Distanza sulla fila in m
Terreni poveri	0,80 – 1,00
Terreni mediamente fertili	1,10 – 1,40
Terreni molto fertili	1,50 – 2,00

La scelta delle distanze di piantagione è però condizionata da quella del sistema di allevamento, del tipo di potatura e di meccanizzazione del vigneto. I vincoli imposti dalla meccanizzazione sono forti quando si prende in considerazione la distanza tra i filari, che in genere viene fissata in base alla larghezza delle macchine operatrici presenti in azienda. Poiché questa larghezza varia tra 1,8 e 2,2 metri, per le piccole e medie aziende dove le macchine sono impiegate anche per altre colture, lo spazio libero sull'interfilare diviene di circa 2,5-3,0 metri. Attualmente sono disponibili sul mercato anche trattatrici dedicate al vigneto che possono lavorare con interfilari intorno ai 2 metri di larghezza. Al di sotto di queste distanze è necessario ricorrere a macchine scavallatrici per tutte le operazioni colturali, molto costose e pertanto ammortizzabili soltanto in grandi aziende. D'altronde la distanza tra i filari rappresenta, a parità di tutti gli altri fattori, la variabile fondamentale per aumentare o diminuire la produttività per unità di superficie senza alterare la qualità dell'uva (Intrieri et al., 2004).

Nei vigneti ad alta densità con distanze tra i filari comprese tra 1 e 2 metri (vigne strette e basse), la densità radicale è importante e la vegetazione assicura una copertura fogliare tanto più omogenea quanto i filari sono stretti, perché le perdite d'illuminazione nell'interfila sono minori. L'altezza della vegetazione deve essere, infatti, proporzionale alla distanza tra i filari, per evitare zone d'ombra da un filare all'altro e rischi di forti stress idrici: l'*optimum* si situa tra 0,8 e 0,6 volte tale distanza (l'altezza della parete vegetale è misurata tra il punto più alto dopo cimatura e il punto più basso della vegetazione). Nelle

controspalliere i filari molto stretti, distanziati tra loro di appena 1 metro, sembrano adatti ad ambienti di bassissima fertilità, dove le viti presentano un limitato sviluppo dei germogli che arrestano la loro crescita precocemente e formano chiome con un'altezza che può essere facilmente contenuta entro 0,5-0,6 metri (Silvestroni e Paliotti, 2005). Superando i 2 metri di distanza tra i filari le vigne sono dette alte e larghe. Ogni pianta esplora un volume di suolo più importante, ma la densità radicale è più debole. Il vigore globale è elevato e si ha il rischio di intasamento del fogliame con conseguente formazione di un microclima sfavorevole sia per le foglie che per il grappolo. Dal lato esposto al sole, il primo strato di foglie e, per intermittenza, il secondo, ricevono energia per una sufficiente attività fotosintetica. Gli altri strati di foglie, localizzati all'interno della vegetazione, hanno un'attività fotosintetica molto debole. Gli stomi restano aperti più frequentemente favorendo un'intensa traspirazione, un elevato consumo idrico e quindi un microclima adatto alle malattie crittogamiche. Inoltre, fanno ombra ai grappoli ritardandone i processi di maturazione. Quando la distanza tra i filari è sufficiente a evitare interferenze tra le radici e ombreggiamenti reciproci tra le viti di filari contigui non si ha alterazione della qualità dell'uva. In terreni di media fertilità tali interferenze tendono ad annullarsi a partire da distanze interfilari di poco superiori a 2 metri (Intrieri et al., 2003). Pertanto, poiché nella maggioranza delle aziende viticole italiane la distanza tra le file è compresa tra 2,5 e 3,5 metri, questa variabile non influenza la qualità dell'uva, ma modifica la lunghezza totale delle pareti produttive per unità di superficie, incidendo sulla quantità di uva prodotta dal vigneto.

Tabella 28.13. Confronto tra vigne basse strette e vigne alte e larghe a parità di resa (da Reynier A., 2000).

CARATTERISTICHE	Vigne basse e strette	Vigne alte e larghe
Vitigno	Cabernet sauvignon/SO4	
Densità	5050 (1,8 x 1,1 m)	2525 (3,6 x 1,1 m)
Forma di allevamento	controspalliera	
Altezza foglie/suolo	1,50 m	2,10 m
Carico/ceppo (medio)	9,5 gemme	16,8 gemme
Sistema di allevamento	Guyot	Arcuato
RISULTATI		
Rendimento ettoltri ha ⁻¹	40,5	39,4
Gradazione alcolica	11°	10°
Peso del legno Kg ha ⁻¹	2.414	2.411
Tipo di vino	Vino di qualità, tipo premières côtes di Bordeaux	Vino più leggero, denominazione Bordeaux

Tabella 28.14. Confronto tra differenti distanze sulla fila in vigne larghe con lo stesso carico per ettaro, stesso tipo di forma di allevamento, Ugni blanc a Cognac (da Reynier A., 2000).

Distanza	3,2 x 0,8 m	3,2 x 0,95 m	3,2 x 1,15 m	3,2 x 1,50 m
Densità	4.000	3.200	2.700	2.000
hL ha ⁻¹	150	167	164	181
Gradazione alcolica	7,09	6,81	6,70	6,70
hL ha ⁻¹ di alcool	10,37	10,94	11,23	11,67
Peso del legno Kg ha ⁻¹	3.260	3.160	2.950	2.875

28.4.4. Scelta dei portinnesti

Il portinnesto, impiegato in viticoltura dalla fine del 1800 per la necessità di difendere la vite europea dagli effetti nefasti dell'invasione fillosserica iniziata in Francia e propagatasi rapidamente in tutte le aree viticole del vecchio continente, deve essere in grado di garantire un ottimale adattamento della varietà alle condizioni del suolo, contribuendo all'ottenimento del miglior equilibrio vegeto-produttivo della pianta. Non deve più essere considerato quindi un "male necessario", ma un importante strumento agronomico per il raggiungimento degli obiettivi di produttività e qualità del sistema vigneto (Di Lorenzo e Sottile, 2000).

I criteri da seguire nella scelta del portinnesto più adatto alle diverse condizioni pedologiche e pedoclimatiche sono molteplici: caratteristiche fisico-chimiche del suolo, affinità con la varietà, vigore conferito e influenza sul ciclo vegetativo della varietà (ad esempio, anticipando o posticipando la maturazione), tolleranza al calcare attivo, alla siccità e a condizioni di elevata umidità del suolo, selettività nell'assorbimento di determinati elementi nutritivi, possibilità di indurre nella varietà una certa tolleranza a determinate virosi, scelta di materiale certificato dal punto di vista sanitario.

Le superfici di coltivazione di piante madri di portinnesto in Italia, denunciate dai vivaisti fino al 2002, sono riportate in figura 28.9. I portinnesti attualmente più impiegati in viticoltura sono ibridi semplici di *V. Berlandieri* x *V. Riparia* (Kober 5BB, SO4, 420A) e di *V. Berlandieri* x *V. Rupestris* (1103P, 140 Ru), quest'ultimi rivalutati negli ultimi anni grazie alla notevole diffusione in Sicilia per la loro resistenza alla salsedine ed alla siccità.

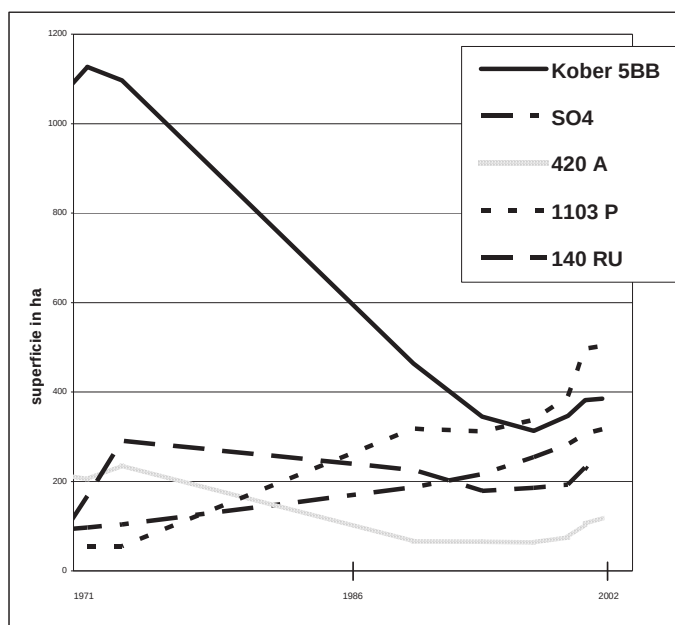


Figura 28.9. Evoluzione delle superfici di coltivazione delle piante madri dei cinque portinnesti più utilizzati in Italia (Servizio controllo vivai, 2002).

Appare evidente il netto calo del Kober 5 BB, che in un trentennio è passato da oltre 1.100 ettari a meno di 400 ettari di superficie investita. Portinnesto molto vigoroso e di rapido accrescimento, imprime al nesto europeo notevole sviluppo, che nei terreni profondi e freschi può diventare eccessivo.

Nella tabella 28.15 sono descritte in maniera sintetica le caratteristiche dei portinnesti più utilizzati in Italia. La vigoria, non solo del portinnesto, ma della combinazione di questo con la varietà, rappresenta uno dei parametri decisivi di scelta ed è strettamente collegata a quella del sesto di impianto e della forma di allevamento. Nell'ottica di una viticoltura di qualità, il portinnesto deve poter conferire alla pianta una vigoria medio bassa, che consentirà di ottenere una più elevata densità di impianto con produzioni per ceppo più ridotte a parità di resa per ettaro. La conoscenza delle caratteristiche fisico-chimiche del suolo fornisce preziose informazioni riguardo alla possibilità di adattamento di un determinato portinnesto, in termini di capacità di assorbimento più o meno elevata di determinati elementi nutritivi piuttosto che di altri, di resistenza a situazioni di scarsa o elevata disponibilità idrica e di tolleranza a livelli più o meno alti di calcare attivo.

Tabella 28.15. Caratteristiche dei portinnesti maggiormente utilizzati in Italia.

Portinnesto	Resistenza al calcare attivo	Soglia massima indice di potere clorosante	Vigoria	Adattamento al suolo	Resistenza alla siccità	Comportamento
1103 PAULSEN (Berl. X Rup.)	17%	30	Medio/ alta	Terreni argilloso-calcarei, non molto fertili, anche compatti e salmastri	Elevata	Tende a ritardare la maturazione dell'uva Elevata resistenza al salmastro
SO4 (Berl. X Rip.)	17%	30	Medio/ alta	Terreni freschi di medio impasto o sciolti; anche umidi	Scarsa	Molto selettivo verso il potassio Tende a ritardare la maturazione dell'uva
KOBER 5BB (Berl. X Rip.)	20%	40	Alta	Terreni argilloso-calcarei profondi	Scarsa	Imprime notevole vigoria alla marza, talvolta a scapito della gradazione zuccherina delle uve.
420 A (Berl. X Rip.)	20%	40	Media	Terreni argilloso-calcarei profondi	Media	Tende ad anticipare la maturazione dell'uva Soffre carenze in potassio, poco adatto nei reimpianti
140 RUGGERI (Berl. X Rup.)	40%	90	Alta	Terreni tendenti all'argilloso, fortemente calcarei e clorosanti, asciutti	Elevata	Teme l'umidità. Elevatissima resistenza alla clorosi
110 RICHTER (Berl. X Rup.)	17%	30	Alta	Terreni argilloso-calcarei, non molto fertili	Elevata	Tende a ritardare la maturazione dell'uva. Si adatta anche ai terreni acidi. Bassa resa in vivaio

La nutrizione minerale è un fenomeno decisamente molto complesso che varia in funzione delle caratteristiche del portinnesto e del terreno, oltre a quelle del vitigno e del clima. Portinnesti quali l'SO4 e il 110 Richter mostrano una elevata selettività nell'assorbimento del potassio. In queste condizioni si può verificare una carenza di magnesio nella pianta, a meno che questo elemento non sia presente nel terreno in quantità molto alte. La carenza di magnesio predispone la pianta al disseccamento del rachide, mentre una elevata assunzione di potassio, provocando la salificazione dell'acido tartarico contenuto nell'acino, conduce a un abbassamento dell'acidità del mosto, che può condizionare in maniera sensibile le caratteristiche organolettiche e la conservabilità del vino che si vuole produrre.

Portinnesti quali il 140 Ruggeri e gli ibridi di *V. vinifera* x *V. Berlandieri*, 41 B (*Chasselas* x *Berlandieri*) e Fercal [333 EM (*Cabernet* x *Berlandieri*) x *Berlandieri Colombard* BC1], sono caratterizzati da una tolleranza a livelli molto elevati di calcare attivo (30-40%) che consente loro, anche in condizioni estreme, di assorbire il ferro in maniera efficiente, evitando il manifestarsi di fenomeni di clorosi. Il 41 B però presenta una certa difficoltà di radicazione e notevole sensibilità alla peronospora, mentre il Fercal è molto sensibile alla carenza di magnesio.

Tabella 28.16. Adattabilità dei principali portinnesti ad alcuni caratteri funzionali del suolo (Melotti e Scotti, 2002, modificata).

Caratteristiche Pedologiche	Portinnesti	Ottimale	Moderata	Scarsa
Profondità utile alle radici (cm)	K5BB; SO4; 140 Ru; 1103 P	> 100	50 – 100	< 50
	420A; 110 R	> 50	25 - 50	< 25
Tessitura	K5BB; SO4; 420A; 110 R	media, mod. fine, mod. grossolana	grossolana, fine	
	140 Ru; 1103 P	grossolana; mod. grossolana; mod. fine; fine	media	
Fessurazione	K5BB; SO4; 420A; 110 R	bassa	media	forte
	140 Ru; 1103 P	bassa	media, forte	
Salinità (1:5 dS m ⁻¹)	K5BB; SO4; 420A; 110 R; 140 Ru	< 0,4	0,4 – 0,8	> 0,8
	1103 P	< 0,8	0,8 - 1	> 1
Sodicità (ESP)	K5BB; SO4; 420A; 110 R; 140 Ru; 1103 P	< 8	8 - 10	> 10
Disponibilità di ossigeno	420A; 110 R; 140 Ru; 1103 P	buona, moderata	moderata	imperfetta, molto scarsa
	K5BB; SO4	buona	moderata	imperfetta, molto scarsa
Reazione (pH)	420A; 110 R	6,5 – 7,5	5,5-6,5 7,5-8,5	< 5,5; > 8,5
	K5BB; SO4	6,5 – 7,5	5,5-6,5 7,5-8,0	< 5,5; > 8,0
	140 Ru; 1103 P	6,5 – 8,0	5,4-6,5 8,0-8,8	< 5,4; > 8,8
Calcare attivo (%)	110 R; 1103 P; SO4	< 12	12 – 17	> 17
	K5BB; 420A	< 12	12 – 20	> 20
	140 Ru;	< 15	15 – 40	> 40

28.4.5. Scelta degli inerbimenti

La tecnica dell'inerbimento ha subito una profonda evoluzione dagli anni '60 ad oggi, passando dall'inerbimento spontaneo a quello artificiale con essenze utilizzate normalmente in foraggicoltura. Il tipo di copertura può essere temporaneo o permanente, in base alle disponibilità idriche delle diverse aree. Nella tabella 28.17 sono riportati i pregi e i difetti delle diverse soluzioni.

Tabella 28.17. Diverse strategie di inerbimenti a confronto (Valenti et al., 1999, modificata).

INERBIMENTO DEL VIGNETO				
	Tipi		Gestione	
	Naturale	Artificiale	Temporaneo	Permanente
Pregi	-Specie ben adattate all'ambiente - Nessun costo d'impianto	-Scelta delle specie più adatte -Elevata velocità di copertura - Elevata quantità di sostanza organica prodotta - Controllo delle erbe infestanti	- Nessuna competizione idrica e in elementi nutritivi	- Maggior difesa dall'erosione
Difetti	-Specie molto competitive per acqua ed elementi nutritivi -Difficoltà di gestione della copertura vegetale -Frequenza degli sfalci	-Costo d'impianto -Difficoltà nell'individuare le specie migliori e più facilmente adattabili all'ambiente e al terreno	-Erosione nei periodi di mancanza d'erba -Maggior compattamento del suolo	-Competizione idrica e in elementi nutritivi -Costo di gestione

L'inerbimento, per le sue funzioni di protezione ambientale e per gli effetti positivi che può esercitare sulla qualità del prodotto, quale efficace metodo agronomico per il controllo della vigoria e della produttività della vite, si è proposto all'attenzione dei ricercatori e dei tecnici per sostituire le lavorazioni del terreno ed evitare i loro effetti negativi. La sperimentazione è ancora in corso su argomenti quali le modalità di gestione, il tipo di inerbimento e la scelta delle specie, e assai diversi sono i modelli proposti per le aree viticole fredde ed umide del nord a quelle calde e siccitose del meridione.

Italia settentrionale

Nel vigneto del Nord Italia l'inerbimento si presenta ormai da tempo come tecnica consolidata per regolare i rapporti tra attività produttiva e vegetativa della pianta, nel rispetto dell'ambiente. L'inerbimento naturale è però generalmente costituito da specie molto aggressive nella stagione estiva, che possono influenzare negativamente l'equilibrio vegeto-produttivo della vite; diventa pertanto fondamentale la scelta della specie singola o dell'associazione più adatta nell'inerbimento artificiale (Lavezzi et al., 2000).

Tra le graminacee più interessanti il *Lolium perenne*, nelle varietà da tappeto erboso (con sviluppo contenuto e adatte a sfalci frequenti), ha evidenziato elevata facilità e velocità d'insediamento, tale da consentire un efficace controllo della flora spontanea. La sua durata è limitata negli ambienti caratterizzati da ridotte precipitazioni ed elevate temperature estive (Benati e Maggiore, 1999). Esprime però le sue potenzialità migliori in miscugli con *Festuca ovina*, specie molto rustica e resistente al calpestamento. Essenza da tappeto per eccellenza è la *Festuca rubra* spp., rustica, dalla taglia ridotta, poco competitiva e adatta ai terreni poveri e siccitosi. Il suo limite è la lentezza nell'insediamento (Scienza et al., 1988). In ambienti fertili e con piogge ben distribuite lungo la stagione anche *Poa pratensis* può garantire buone coperture.

Nell'ambito delle leguminose si evidenzia il *Trifolium repens*, specie che, pur non essendo perenne, dura a lungo per la capacità di diffondersi anche per via vegetativa; preferisce pertanto i terreni sciolti. Non essendo particolarmente aggressiva, è preferibile utilizzarla in miscugli con graminacee. Assai interessanti, per la persistenza della copertura, quelli ottenuti con *Lolium perenne* e *Festuca arundinacea* (Benati e Maggiore, 1999).

Anche il *Trifolium subterraneum* ha mostrato buoni comportamenti in terreni ben drenati, come testato in alcuni vigneti dei Colli Orientali del Friuli e sull'Altipiano carsico, dove ha assicurato buona copertura del suolo e durata del cotico vegetale (Lavezzi et al., 2000.). Nelle zone a più limitata disponibilità idrica la tendenza attuale è quella di ricercare specie annuali autoriseminanti, che si sviluppano nel periodo autunno-primaverile e scompaiono nel periodo estivo, permettendo così alla vite di sfruttare al massimo tutte le potenzialità ambientali.

Italia centrale

Nell'Italia centrale la presenza di vigneti in aree declivi, con pendenze elevate e filari a rittochino, suoli con elevata componente argillosa e modesti contenuti di sostanza organica, con conseguenti fenomeni di erosione e di insolubilizzazione di elementi nutritivi, ha reso ancor più inderogabile il ricorso ad una copertura vegetale. L'elevata variabilità climatica che caratterizza l'Italia centrale, dalle colline umbro-marchigiane a quelle litoranee tosco-laziali, permette di delimitare tre grandi areali: a) ambienti interni a scarsa

influenza mediterranea; b) aree mediterranee sub-umide ad inverni relativamente freddi; c) ambienti mediterranei ad inverni miti ed estati siccitose. Le specie che hanno dato i migliori risultati sono riportate in tabella 28.18.

Tabella 28.18. Caratteristiche di alcune specie indicate per l'inerbimento dei vigneti dell'Italia centrale. Scala di riferimento 0-3 (Santilocchi e Talamucci, 1999, modificata).

	Lolium perenne	Lolium rigidum	Festuca rubra	Festuca arundinacea	Trifolium Subterraneum (cv. precoce)	Medicago polymorpha	Miscugli di leguminose autorisem.
Aree interne	2	0	3	3	1	1	2
Aree mediterranee sub-umide	2	1	1	3	2	2	3
Aree mediterranee	0	3	1	1	3	3	3
Terreni calcarei	3	3	3	3	1	3	3
Taglia	2	2	1	3	1	3	2
Precocità di ripresa vegetativa	2	3	1	3	3	3	2
Contenimento infestanti	2	1	2	3	2	3	3
Competitività vs la vite	2	1	2	3	0	0	0
Protezione suolo	2	2	3	3	3	3	3
Portanza dei mezzi meccanici	2	2	2	3	2	2	3
Persistenza	2	2	3	3	3	2	3

Non vengono riportate alcune specie di scarso interesse generale, ma che potrebbero risultare utili in condizioni particolari: *Poa pratensis* (modesta aggressività verso le infestanti e scarso adattamento all'ombreggiamento); *Bromus catharticus* (taglia esuberante e modesta portanza). Tra le specie indicate c'è da rilevare l'elevata competizione idrica esercitata da *Festuca arundinacea* verso la vite, al contrario delle leguminose, in particolare le annuali autoriseminanti. Queste ultime si dimostrano positive anche sul contenimento delle infestanti, sulla protezione del suolo, sulla portanza e sulla persistenza degli inerbimenti.

Rilievi eseguiti su Sangiovese a Montalcino (SI) hanno confermato l'elevata concorrenzialità della *Festuca arundinacea* rispetto all'inerbimento a base di leguminose e alla lavorazione meccanica, in termini di accrescimento dei germogli e area fogliare totale (Storchi et al., 2000). Recentemente sono state diffuse anche altre specie di *Festuca* (*Festuca longifolia* nana) a bassa

competizione con la vite, che consentirebbe l'adozione dell'inerbimento anche in ambienti caratterizzati da precipitazioni molto scarse durante l'attività vegetativa della vite (Mattii e Ferrini, 2005). Altre ricerche sono state condotte in Toscana nel Chianti Classico su due vigneti di Sangiovese, allevato a cordone speronato e con viti poste alla distanza di m 2,80 x 1,00, situati nelle zone di Radda in Chianti e di Castellina in provincia di Siena (Pisani et al., 2000). Sono stati confrontati diversi tipi di inerbimento parziale (striscia di 2,00 m nell'interfilare e sottofilare diserbato) rispetto alle lavorazioni tradizionali: i) inerbimento spontaneo; ii) inerbimento con 80% di *Festuca rubra* (vr. *Rapid*) e 20% di *Lolium perenne* (vr. *Naki*); iii) inerbimento con *Trifolium subterraneum* (vr. *Clare*); iv) inerbimento con *Bromus catharticus*. Le differenti tecniche di gestione del suolo hanno influito sensibilmente sull'attività produttiva delle viti dei due campi sperimentali. In particolare la produzione è risultata maggiormente ridotta nelle tesi sottoposte ad inerbimento spontaneo e ad inerbimento con *Festuca rubra* + *Lolium perenne*. Quest'ultima tesi ha garantito anche la copertura del cotico erboso più elevata durante l'anno, mentre valori più bassi sono stati riscontrati, soprattutto in estate, nelle tesi inerbite con *Trifolium subterraneum* e con *Bromus catharticus*, a causa del disseccamento della parte aerea al sopraggiungere della siccità. Tra le diverse tesi sono stati riscontrati apporti di biomassa al terreno, e quindi di sostanza organica, alquanto differenti: l'inerbimento con *Trifolium subterraneum* ha assicurato gli apporti più elevati (9 t ha⁻¹), seguito da quello naturale e con *Festuca rubra* + *Lolium perenne*, mentre la quantità più bassa si è registrata con *Bromus catharticus*.

Italia meridionale

Nell'Italia meridionale la prolungata siccità estiva e le alte temperature aumentano la possibilità di effetti negativi dell'inerbimento sulla produzione della vite in numerosi areali. Diventa pertanto ancor più importante la scelta della specie. L'impiego delle graminacee va pertanto escluso, tenuto conto delle loro elevate esigenze idriche, mentre interessanti possono dimostrarsi le leguminose annuali autoriseminanti dal ciclo vegetativo autunno-primaverile e capaci di insediarsi rapidamente sul terreno (Corleto e Gristina, 1999). Rispondono bene a questi requisiti le mediche annuali quali *Medicago polymorpha* e *Medicago truncatula* e i trifogli sotterranei. Tra questi ultimi, il *Trifolium brachycalcycum* è la specie più utilizzata in ambiente mediterraneo. Adatto per terreni neutri o tendenzialmente alcalini ha fornito buoni risultati con la cv. Clare sui pascoli della Murgia e del Gargano dove la fioritura inizia ad aprile e la maturazione dei semi si completa nella prima decade di giugno. Questa varietà si adatta bene anche all'ombreggiamento e potrebbe trovare utile impiego anche nell'inerbimento dei tendoni.

28.5. Applicazioni degli studi sul rapporto pianta/ambiente: il terroir e le zonazioni viticole

Molti comprensori vitivinicoli italiani si trovano a dover affrontare il problema del reimpianto dei vigneti messi a dimora a cavallo degli anni '60 e '70, anni in cui vi fu, come si ricorda, una forte espansione della viticoltura, incentivata dai piani FEOGA della C.E.E. È oramai stato ampiamente dimostrato che quel repentino aumento delle superfici vitate, accanto a indubbi meriti, quali l'aumento del reddito degli agricoltori e il rinnovato interesse per territori altrimenti ad economia stagnante, ha avuto anche numerosi difetti, in primo luogo l'aumento eccessivo delle produzioni e l'estendersi della coltivazione a terreni non idonei alle produzioni di qualità. L'avere poi utilizzato per l'impianto dei vigneti un modello di sistemazione pressoché identico per tutte le situazioni ambientali, ha in qualche caso accresciuto notevolmente l'erosione del suolo e diminuito la qualità del vino prodotto (Costantini, 1992). Il reimpianto dei vigneti è da considerarsi quindi una occasione importante per qualificare le produzioni, ridurre le eccedenze e minimizzare l'impatto ambientale dei vigneti. Questa prospettiva prevede necessariamente una selezione delle aree dove situare i nuovi impianti, e per far sì che questa selezione sia il più possibile oggettiva e dia gli effetti desiderati, deve essere fondata su basi scientifiche.

Nell'ultimo ventennio gli studi per determinare l'attitudine di differenti zone alla coltura della vite hanno assunto carattere integrato ed interdisciplinare, coinvolgendo competenze riguardanti i fattori ambientali (suolo e clima in primo luogo), l'ecologia, l'agrotecnica e la genetica viticola, la trasformazione e la valutazione enologica del prodotto (Lulli et al., 1989; Scienza et al., 1990; Costantini et al., 1991; Fregoni et al., 1992). La definizione di vocazione ambientale viene così ottenuta facendo interagire le informazioni climatiche, pedologiche e colturali con l'espressione vegetativa, produttiva e qualitativa dei vigneti. Si associa al concetto di "vocazione viticola" il termine di "zonazione" inteso come suddivisione di un territorio in base alle caratteristiche ecopedologiche e geografiche con verifica della risposta adattativa di differenti vitigni. La zonazione è un processo molto complesso e consiste in uno studio integrato e interdisciplinare che mira, mediante analisi diverse, a suddividere il territorio in funzione della vocazionalità alla coltivazione della vite. Tramite la zonazione viticola vengono studiati e divulgati i costituenti del "terroir" e la verifica dei legami che intercorrono tra i fattori così evidenziati e le tipologie di vino ottenibili.

***Terroir:** insieme di terreni le cui caratteristiche naturali - suolo, sottosuolo, rilievo e clima - costituiscono un insieme unico di fattori che conferisce al prodotto che ne deriva, attraverso le piante o gli animali, caratteristiche specifiche. L'uomo ha adattato le sue tecniche di produzione a queste condizioni particolari dell'ambiente naturale, al fine di esaltare il risultato qualitativo del prodotto ottenuto in questo luogo, conferendogli peculiarità ed esclusività.*

Dal punto di vista giuridico, il “terroir” è un'area ben delimitata: proprio per tale precisa delimitazione areale, le denominazioni d'origine possono essere protette validamente solo sulla base di una conoscenza precisa del “terroir”. Più la conoscenza del “terroir” sarà scientifica e supportata da dati precisi, meno la denominazione sarà vulnerabile e meglio sarà difendibile. In tal senso si colloca anche la normativa in materia di Denominazioni d'Origine (Legge n. 164/92), strumento principe per la tutela e la valorizzazione del territorio viticolo qualificato scientificamente nelle sue molteplici caratteristiche che concorrono a realizzare un prodotto di qualità.

Dal punto di vista economico, definire un “terroir” consente di comporre un insieme di unità in funzione delle loro potenzialità per una data coltura, definire un modo particolare e specifico di elaborazione del prodotto, individuare un mercato particolare. È dunque importante che la dimensione della proprietà e le modalità di raccolta siano in accordo con le possibilità del mercato, della mano d'opera e le strutture del territorio. Si otterranno così dei prodotti ad alta specificità che potranno usufruire di una politica agricola economica originale e concorrenziale. Dal punto di vista enologico, selezionare le partite di una vendemmia in funzione della provenienza è importante per la scelta della migliore vinificazione, tanto quanto la qualità delle uve e la varietà. Infatti, è auspicabile vinificare separatamente le partite di vigneti di diversi “terroir” per disporre di una vasta gamma di vini da assemblare in funzione del prodotto che si vuole ottenere (Laville, 1990).

In Italia, l'importanza dell'indagine pedologica nell'analisi della zonazione viticola venne affermata con chiarezza nei primi anni ottanta, per essere ulteriormente sviluppata in quest'ultima decade. Gli studi di zonazione viticola, soprattutto a scala di dettaglio e semidettaglio e nei comprensori vitivinicoli di maggiore pregio, aree DOC e DOCG, hanno fornito elementi utili alla comprensione dei fattori ambientali funzionali alla produzione di qualità per molte varietà coltivate (tabella 28.19). Oggi concorrono al miglioramento dello studio dell'ambiente pedologico nella zonazione viticola l'utilizzo dei GIS (*Geographical Information Systems*), del modello digitale del terreno e del telerilevamento da satellite (Vaudour, 2005).

Tabella 28.19. Principali zonazioni viticole pubblicate in Italia negli ultimi quindici anni.

Progetto	Doc/Docg	Scala	Periodo	Pubblicazione risultati
Oltrepo Pavese (PV)	Oltrepo Pavese	1:25.000	1983-1987	Scienza et al., 1990
S.Gimignano (SI)	Vernaccia di San Gimignano	1:10.000	1984-1986	Lulli et al., 1989
Forlì	Sangiovese, Albana	1:10.000	1986	Antoniazzi e Bordini, 1986
Faedo (TN)	Trentino	1:10.000	1988-1990	Falcetti, 1994
Val Tidone (PC)	Colli Piacentini	1:5.000	1989-1991	Fregoni et al., 1992
La Toscanaella	Chianti Classico	1:5.000	1989-1990	Costantini et al., 1990
Montepulciano (SI)	Vino Nobile di Montepulciano	1:25.000	1989-1992	Costantini et al., 1996
Isonzo (GO)	Isonzo	1:50.000	1989-1993	Michelutti et al., 1996
Franciacorta (BS)	Franciacorta	1:25.000	1992-1994	Panont et al., 1997
Valli Cembra e Adige (TN, BZ)	Trentino, Alto Adige	1:10.000	1992-1995	Falcetti et al., 1998
Marche (AN, MC)	Verdicchio dei Castelli di Jesi e di Matelica	nd	1993	Intrieri et al., 1993
Castagneto Carducci (LI)	Bolgheri	1:10.000	1993-1995	Bogoni et al., 1997
Val d'Illasi (VR)	Soave, Valpolicella	1:25.000	1993-1995	Failla, Fiorini, 1998
Barolo (CN)	Barolo	1:25.000	1994-1996	Regione Piemonte, 2000
Trentino (TN)	Trentino	1:10.000	1995	Bertamini et al., 1995
Colli Euganei e Piave (PD, TV, VE)	Colli Euganei, Piave	1:25.000	1995-1996	Falcetti, Camprostrini, 1996
Grave (PN)	Grave del Friuli	1:50.000	1995-1997	Colugnati et al., 1997
Val Lagarina (TN)	Trentino	1:20.000	1994-1996	Porro et al., 2002
Barbera (AT, AL)	Barbera d'Asti	1:25.000	1997-1998	Regione Piemonte, 2001
Cirò (Kr)	Cirò	1:25.000	1998-1999	ARSSA, 2002
Conegliano (TV)	Prosecco	1:10.000	2000	Tomasi et al., 2004
Provincia di Arezzo	Chianti, Cortona, Valdichiana	1:50.000	1999-2001	Scienza et al., 2003
Provincia di Siena	Varie a vitigno di riferimento Sangiovese	1:100.000	1999-2000 2002-2003	Costantini e Sulli, 2000; Costantini et al., 2001; Costantini et al., 2006

28.5.1. Indicazioni metodologiche per la valutazione delle terre di un comprensorio vitivinicolo

La zonazione viticola è assimilabile ad un processo di valutazione del territorio attraverso una stima del suo comportamento quando viene usato per fini

viticoli. La stima è tanto più precisa quanto maggiori e approfondite sono le conoscenze dei fattori in gioco: nel nostro caso principalmente il clima, il suolo, la fisiologia della vite, le tecniche agronomiche. È da sottolineare che il procedimento di stima non può prescindere dalle finalità della valutazione e dalla scala alla quale vengono effettuati i rilevamenti: aziendale, consortile, provinciale, ecc. Per ogni grandezza di scala adottata, cambiano le finalità e possono essere diversi anche i parametri utilizzati per l'indagine.

Per la zonazione aziendale, gli obiettivi sono volti a massimizzare l'interazione tra i vitigni e le diverse condizioni ambientali presenti all'interno dell'azienda. Così le informazioni di cui l'azienda necessita si rivolgono alla corretta dislocazione varietale nei diversi siti aziendali, alla scelta dei portinnesti, ad una adeguata scelta delle densità di impianto e dei carichi produttivi in relazione alle potenzialità dei luoghi, ad una appropriata data di vendemmia, ad una programmata differenziazione enologica delle uve che giungono in cantina, ecc. Tutti questi sono esempi e risultati di un conoscere approfondito del proprio *terroir*, di un impiego sapiente e moderno delle proprie risorse, per un risultato finale programmato e non solo auspicabile.

Nel caso della valutazione a scala comprensoriale, le finalità invece sono individuate nella programmazione territoriale, ad esempio, nello studio delle possibilità di estensione della viticoltura nel comprensorio di competenza, nonché nella realizzazione dei vari Piani territoriali di coordinamento e dei sistemi informativi territoriali. La zonazione, infatti, può essere anche uno strumento per la programmazione economica, in quanto permette di valutare dove investire utilmente, sia per migliorare ancora la conoscenza, sia per incentivare le scelte colturali coerenti con le attitudini accertate, sia per disincentivare (o almeno sottoporre a più accurate valutazioni) le scelte colturali contraddittorie. È stato ampiamente dimostrato però che il controllo dei fattori ambientali influenti la qualità del prodotto, ancor più della quantità, è possibile solo al dettaglio e al grande dettaglio, e che le capacità agrotecniche e di trasformazione delle imprese possono avere un ruolo importante sul risultato finale (Costantini e Campostrini, 1996; Lebon et al., 1997; Champagnol, 1997). Da ciò deriva la sottolineatura che dal risultato della valutazione del territorio al riconoscimento non è in alcun modo possibile dare una qualifica positiva o negativa alle aziende produttrici.

Un'area potenzialmente "vocata" è quindi un ambito territoriale dove vi è una buona probabilità di incontrare suoli che producono nella maggior parte degli anni in modo soddisfacente, con un buon risultato qualitativo, senza necessità di interventi agrotecnici particolarmente onerosi, rischio geomorfologico e pregiudizio per la conservazione del suolo. Le esperienze di zonazione viticola hanno indicato che ogni singola situazione ambientale va valutata in termini potenziali rispetto al modello agronomico di riferimento e alle condizioni ambientali che ne permettono la realizzazione, cioè il risultato enologico corrisponde ad un modello di crescita e maturazione della pianta determinato da pratiche agricole, clima e condizioni del suolo (Van Leeuwen e

Seguin, 1997; Costantini, 1998). I fattori ambientali, infatti, influenzano l'equilibrio ormonale di ciascuna varietà, il quale regola l'espressione del genotipo. La valutazione dei suoli deve essere quindi effettuata in relazione alla distanza che intercorre tra le condizioni specifiche e quelle di riferimento, in altre parole, in funzione delle limitazioni che le condizioni naturali oppongono al raggiungimento dell'obiettivo agronomico. Il Sangiovese, per esempio, nei suoli più fertili, quelli cioè in cui mancano limitazioni permanenti, produce risultati enologici insoddisfacenti, a causa della eccessiva produttività. Risultati migliori possono essere ottenuti in suoli piuttosto fertili, ma con delle limitazioni pedologiche che inducono uno stress moderato. I suoli poco fertili, ad esempio, quelli severamente erosi, producono sempre meno che i più conservati, ma forniscono risultati molto variabili in funzione dell'andamento climatico dell'anno (Campostrini e Costantini, 1996).

Per quanto detto in precedenza, nel caso di un comprensorio vitivinicolo il processo di valutazione del territorio si configura come una stima dell'attitudine dei terreni alla produzione di un vino di qualità (*Land Suitability* per la qualità dei prodotti). La stima viene svolta sulla base delle caratteristiche fisiche permanenti del territorio stesso; un esempio metodologico è riportato nelle figure 28.10, 28.11, 28.12. In ogni caso, oltre alle finalità specifiche, il procedimento di valutazione dovrà tenere presente il principio dell'uso sostenibile del territorio, cioè di un uso che non determini un deterioramento severo o permanente nelle sue qualità; in altre parole, è necessario uno studio dell'impatto ambientale dei sistemi di impianto dei nuovi vigneti. Infatti, poiché ogni intervento agricolo porta ad un'alterazione dell'ambiente, sia esso naturale o antropizzato, è importante che durante la valutazione siano considerate le conseguenze di tali interventi, in modo da declassare i terreni che possono subire gravi fenomeni di degrado con il tipo di uso previsto. Operativamente, la zonazione inizia con un'indagine socio-economica preliminare, segue poi la caratterizzazione pedologica e l'acquisizione dei dati climatici pluriennali per le stazioni già disponibili nell'area di studio. Infine, la fase critica della scelta dei vigneti sperimentali.

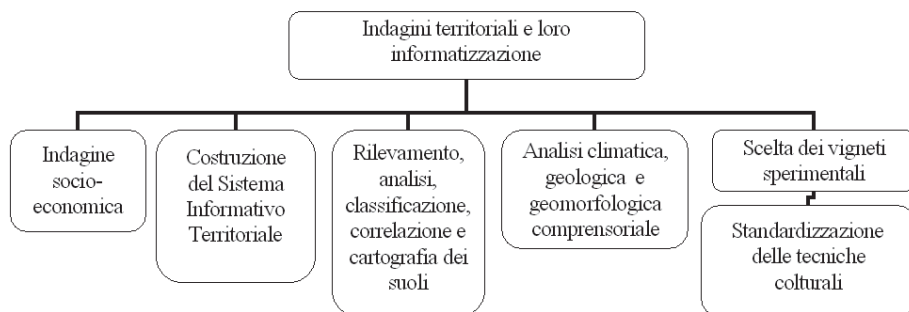


Figura 28.10. Le principali fasi del metodo di zonazione viticola (1).

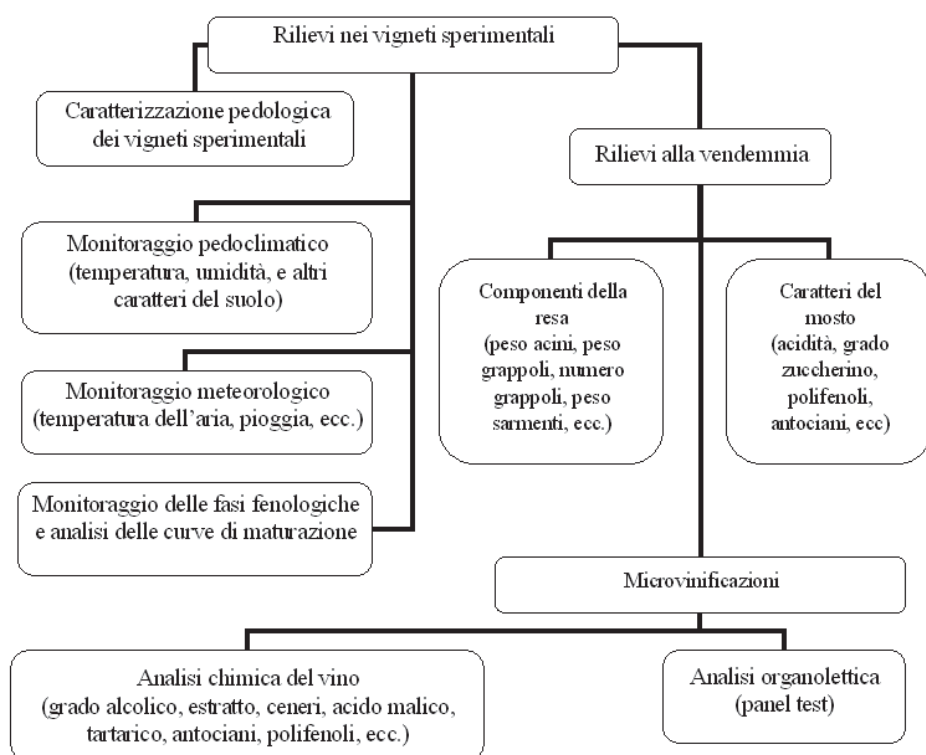


Figura 28.11. Le principali fasi del metodo di zonazione viticola (2).

La scelta dei vigneti sperimentali è strategica in quanto determina la rilevanza e la rappresentatività dei risultati che verranno ottenuti. Tale scelta deve essere compiuta solo dopo il rilevamento di un campione il più ampio possibile dei vigneti presenti nel comprensorio, cercando di controllare le variabili pedologiche, climatiche ed agrotecniche. Di solito è necessario esaminare molti possibili vigneti prima di scegliere quelli adatti. Questi dovrebbero essere posti in aziende diverse, in modo da poter considerare anche l'effetto dell'organizzazione aziendale. È buona norma, poi, prevedere una serie di rilievi pluriennali (almeno 3-4 anni) per arrivare alla stima dell'interazione tra vitigno ed ambiente.

I rilievi nei vigneti sperimentali, e le elaborazioni effettuate, porteranno all'identificazione delle Unità territoriali di base, unità spaziali di funzionamento omogeneo del vigneto. Al suo interno tutte le piante della stessa combinazione vitigno-portinnesto avranno un comportamento paragonabile ed il viticoltore potrà mettere in atto le comuni tecniche colturali ottimali su tutte le Unità territoriali di base. La cartografia attitudinale è sempre però da considerarsi probabilistica. La diversa connotazione delle aree indica che, dai dati ottenuti, risultano presenti in esse suoli a diversa vocazione prevalente. Le carte attitudinali esprimono quindi una graduatoria di aree a

diversa convenienza di utilizzazione, corrispondente a una minore o maggiore probabilità di trovare terreni con una determinata attitudine.

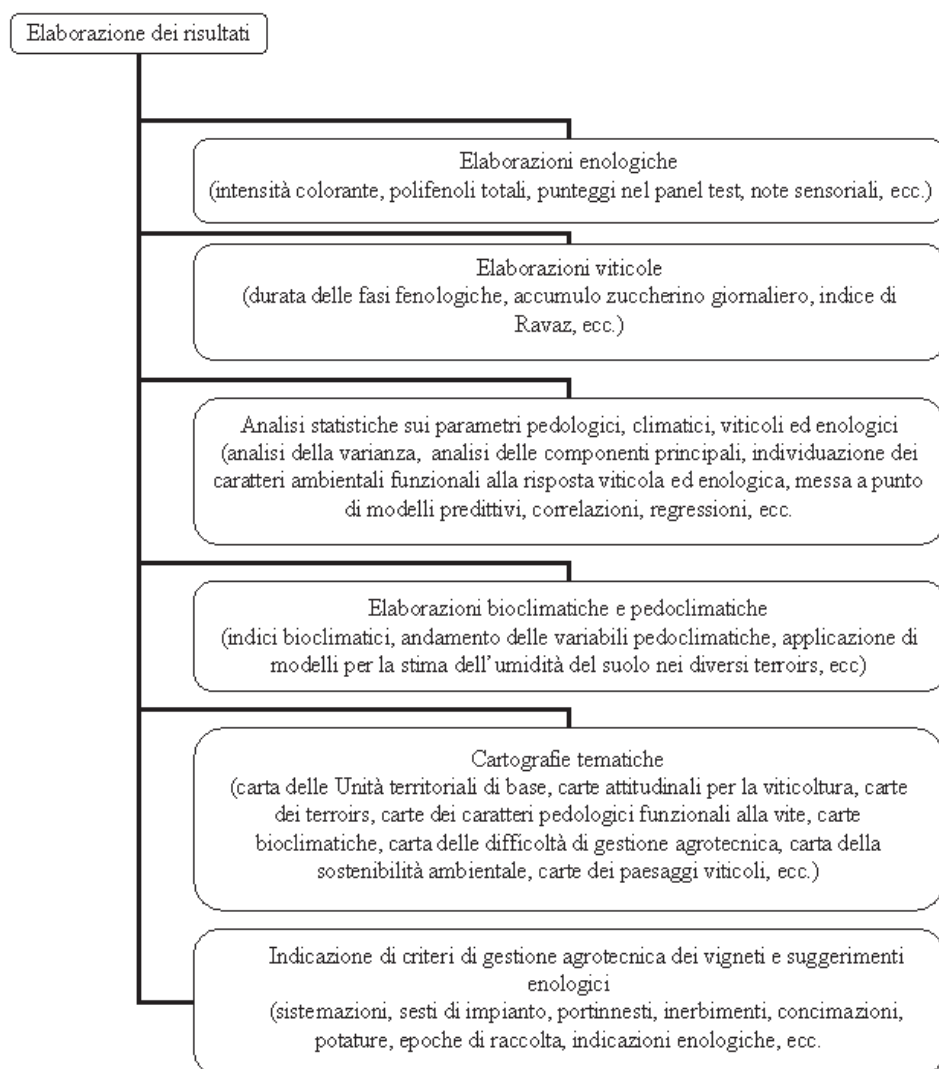


Figura 28.12. Le principali fasi del metodo di zonazione viticola (3).

Oltre alle carte attitudinali, che sono una visione di sintesi utile soprattutto a fini programmatori, possono essere prodotte una serie di carte utili ai fini gestionali, che illustrano i caratteri ambientali che possono interessare la gestione agronomica del vigneto, o individuano alcune importanti qualità delle terre. Nel primo caso, alcuni esempi possono essere: pietrosità del suolo, contenuto in scheletro, drenaggio interno, salinità, profondità utile per le radici, caratteri vertici, acqua disponibile per le piante, pH; nel secondo:

difficoltà di gestione agrotecnica, carta della sostenibilità ambientale, carta dei paesaggi viticoli, capacità depurativa dei suoli (vedi ad esempio Costantini et al., 2006; Morlat, 2001; Vaudour, 2005).

Bibliografia

- ANTONIAZZI, A., BORDINI, R., 1986. *Indagine sulle vocazioni viticole della provincia di Forlì*. Camera di Commercio I.A.A., Forlì.
- ARSSA - SERVIZIO AGROPEDOLOGIA, 2002. *Carta dei suoli e zonazione viticola del Cirò DOC*. Regione Calabria, 229.
- BAVARESCO, L., 1989. *Nutrizione minerale e resistenza alle malattie (dovute a fattori biotici) della vite*. Vignevini, 9, 25-35.
- BAVARESCO, L., 2002. *Sensibilità dei vitigni alla clorosi ferrica da calcare*. *Phytomazine, Speciale ferro*. Cartacea (Ed.), 1, 7-12.
- BAVARESCO, L., 2005. *La fertilizzazione*. In: Manuale di viticoltura (a cura di Matteo Marengli), Agricole (Ed.), Bologna.
- BAVARESCO, L., VERCESI, A., 1996. *La concimazione della vite*. L'Informatore Agrario, 8.
- BENATI, R., MAGGIORE, T., 1999. *Scelta, impianto e gestione delle specie da inerbimento. Italia settentrionale*. L'Informatore Agr., 38, 47-49.
- BERTAMINI, M., BAZZANELLA, G., MESCALCHIN, E., 1995. *Viticultura ed ambiente trentino. Primi riscontri di un progetto sperimentale-dimostrativo in aree marginali*. Provincia autonoma di Trento, 134.
- BOGONI, M., LIZIO-BRUNO, F., MACCARONE, G., NICOLINI, G., SCIENZA, A., 1997. *Interaction among grapevine cultivars (Sangiovese, Cabernet Sauvignon and Merlot) and site of cultivation in Bolgheri (Tuscany)*. Atti Colloque international "Les terroirs viticoles", Angers, 17, 18 juillet 1996, 423-431.
- BOSELLI, M., 1986. *Il magnesio, elemento primario per elezione*. Vignevini, 11.
- CACHO, J., FERNANDEZ, P., FERRIERA, V., CASTELLS, J.E., 1992. *Evolution of five anthocyanidin-3-glucosides in the skin of the Tempranillo, Moristel and Garnacha grape varieties and influence of climatological variables*. Am. J. Enol. Vitic., 42, 3, 244-248.
- CAMPOSTRINI, F., COSTANTINI, E.A.C., 1996. *Gestione del vigneto Nobile di Montepulciano per la valorizzazione delle risorse naturali del territorio*. In: "Vino Nobile di Montepulciano: zonazione e valorizzazione delle risorse naturali del territorio" a cura di Campostrini, F. ed Costantini E., Regione Toscana, Firenze, 110-120.
- CARBONNEAU, A., 1998. *Aspects qualitatifs*. In: *Traité d'irrigation*, Tiercelin J.R., Tec & Doc Lavoisier (Ed.), 258-276.
- CHAMPAGNOL, F., 1986. *Eléments de physiologie de la vigne et de viticulture générale*. Saint Gely du Fesc.
- CHAMPAGNOL, F., 1997. *Caractéristiques édafigues et potentialités qualitatives des terroirs du vignoble languedocien*. 1er colloque international "les terroirs viticoles" Angers, France, INRA, 259-263.

- COLUGNATI, G., MICHELUTTI, G., BELLANTONE, P., BULFONI, D., ZANELLI, F., 1997. *Vine environment interaction as a method for land viticultural evaluation. An experience in Friuli Venezia Giulia (N-E of Italy)*. Atti Colloque international "Les terroirs viticoles", Angers, 17-18 juillet 1996, 183-193.
- CORINO, L., LUZZATI, A., SIRAGUSA, N., NAPPI, P., 1990. *Osservazioni sulla carenza borica della vite in alcune zone del Piemonte*. Vignevini, 4, 39-49.
- CORLETO, A., GRISTINA, L., 1999. *Scelta, impianto e gestione delle specie da inerbimento. Italia centrale*. L'Informatore Agr., 38, 51-52.
- COSTANTINI, E.A.C., 1992. *Study of the relationships between soil suitability for vine cultivation, wine quality and soil erosion through a territorial approach*. Geoökopius, III, 1-14.
- COSTANTINI, E.A.C., 1998. *Le analisi fisiche nella definizione della qualità dei suoli per la valutazione del territorio*. I Georgofili, Quaderni 1998 III, La normalizzazione dei metodi di analisi fisica del suolo, Firenze, 33-57.
- COSTANTINI, E.A.C., 1999. *Soil survey and chemical parameters evaluation in viticultural zoning*. Atti del 2° convegno internazionale "zonazione viticola", Siena, maggio 1998, 127-137.
- COSTANTINI, E.A.C., BARBETTI, R., BUCELLI, P., CIMATO, A., FRANCHINI, E., L'ABATE, G., PELLEGRINI, S., STORCHI, P., VIGNOZZI, N., 2006. *Zonazione viticola ed olivicola della provincia di Siena*. Grafiche Boccacci editore, Colle val d'Elsa (SI), 224.
- COSTANTINI, E.A.C., BARBETTI, R., IORI, M., 2004. *Valutazione di impatto ambientale e paesaggistico della viticoltura ed olivicoltura nella provincia di Siena*. Boll. Soc. It. Sc. Suolo, 51, 1-2, 13-19.
- COSTANTINI, E.A.C., BAZZOFFI, P., PELLEGRINI, S., STORCHI, P., 2001. *Dove è possibile estendere la coltivazione ecocompatibile del Sangiovese nella provincia di Siena?*. Atti Simposio Internazionale "Il Sangiovese", Firenze, 15-17 febbraio 2000, Arsia, Firenze, 185-194.
- COSTANTINI, E.A.C., CAMPOSTRINI, F., ARCARA, P.G., CHERUBINI, P., STORCHI, P., PIERUCCI, M., 1996. *Soil and climate functional characters for grape ripening and wine quality of "Vino Nobile di Montepulciano"*. Acta Hort. 427 ISHS, 45-55.
- COSTANTINI, E.A.C., LIZIO-BRUNO, F., 1996. *I suoli del comprensorio vitivinicolo di Montepulciano. Le loro caratteristiche, gli ambienti, i caratteri funzionali per la produzione di Vino Nobile di Montepulciano*. In: "Vino Nobile di Montepulciano: zonazione e valorizzazione delle risorse naturali del territorio" a cura di Campostrini, F. e Costantini E., Regione Toscana, Firenze, 47-74.
- COSTANTINI, E.A.C., LULLI, L., MIRABELLA, A., 1991. *First experiences to individuate soils suitable for the production of high quality Vernaccia of San Gimignano*. Atti del simposio internazionale: La gestione del territorio viticolo sulla base delle zone pedoclimatiche e del catasto. S. Maria della Versa (PV) 29-30 giugno 1987, 125-135.
- COSTANTINI E.A.C., LULLI L., PINZAUTI S., CHERUBINI, P., SIMONCINI, S., 1990. *Indagine sui caratteri funzionali del suolo che agiscono sulla qualità del vino*. Atti del X° incontro su: Contributi ed influenza della chimica nella produzione, conservazione e commercializzazione del vino, Ist. Chimica org. Univer. Siena, 27-40.
- COSTANTINI, E.A.C., PINZAUTI, S., 1992. *L'importanza dell'indagine pedologica in viticoltura*. Atti del convegno: La zonazione viticola tra innovazione agronomica, gestione e valorizzazione del territorio, L'esempio del Trentino, San Michele all'Adige, 28 Agosto 1992, Editi da Falcetti, M., Trento, 137-156.

- COSTANTINI, E.A.C., SULLI, L., 2000. *Land evaluation in areas with high environmental sensitivity and qualitative value of the crops: the viticultural and olive-growing zoning of the Siena province*. Boll. S.I.S.S., 49 (1-2), 219-234.
- COTTENIE, A., 1980. *Soil and plant testing as a basis of fertilizer recommendations*. FAO Soils Bull., 38-2.
- DELOIRE, A., LOPEZ, F., CARBONNEAU, A., 2002. *Réponses de la vigne et terroir. Eléments pour une méthode d'étude*. Progr. Agric. Vitic., 119, 4, 78-86.
- DELOIRE, A., SILVA, P., MARTIN-PIERRAT, S., 2003. *Terroirs et état hydrique du Grenache Noir. Premiers résultats*. Progrès Agricole et Viticole, 120, 17, 367-373.
- DI LORENZO, R., SOTTILE, I., 2000. *I Portinnesi*. In: Contributo della scuola italiana al progresso delle scienze vitivinicole. Acc. It. Vite Vino(Ed.), 1, 111-130.
- ESDP, 1999. *European Spatial Development Perspective*. www.europa.eu.int/comm/regional_policy/sources/docoffic/official/reports/som_en.htm (verificato 10.10.2003).
- FAILLA, O., FIORINI, P., 1998. *La zonazione viticola della Val d'Illasi*. Manuale d'uso per il viticoltore, Cantina sociale di Illasi, 159.
- FALCETTI, M., 1994. *Faedo e il suo vigneto. Annotazioni geografiche, storiche ed agronomiche sulla viticoltura e l'enologia del conoide trentino*. Stampalith (Ed.), Trento.
- FALCETTI, M., CAMPOSTRINI, F., 1996a. *I suoli dell'area a DOC del Piave. Provincia di Treviso*. Ente di Sviluppo Agricolo del Veneto, Serie pedologica n°2, 91-108.
- FALCETTI, M., CAMPOSTRINI, F., 1996b. *I suoli dell'area a DOC del Piave. Provincia di Venezia*. Ente di Sviluppo Agricolo del Veneto, Serie pedologica n°3, 85-102.
- FALCETTI, M., CAMPOSTRINI, F., 1996c. *I suoli dell'area a DOC dei Colli Euganei*. Ente di Sviluppo Agricolo del Veneto, Serie pedologica n°4, 103-118.
- FALCETTI, M., DE BIASI, C., ALDRIGHETTI, C., COSTANTINI, E.A.C., PINZAUTI, S., 1998. *Progetto di zonazione delle Valli di Cembra e dell'Adige. Analisi del comportamento di Pinot nero in ambiente subalpino*. Atti Simp. Intern. Territorio e vino, Siena, 19-24 maggio 1998.
- FREGONI, M., 1980. *Nutrizione e fertilizzazione della vite*. Edagricole, Bologna.
- FREGONI, M., ZAMBONI, M., BOSELLI, M., FRASCHINI, E., SCIENZA, A., VALENTI, L., PANONT, C.A., BRANCADORO, L., BODONI, M., FAILLA, O., LARUCCIA, N., NARDI, I., FILIPPI, N., LEGA, P., LINONI, F., LIBÉ, A., 1992. *Ricerca pluridisciplinare per la zonazione viticola della Val Tidone (Piacenza, Italia)*. Vignevisini, 11.
- GÄRTEL, W., 1971. *Données fondamentales sur l'alimentation minérale des vignes et employ des engrais en viticulture*. Bull. Off. Int. Vigne et Vin, 978-1003.
- GLADSTONES, J., 1992. *Viticulture and environment*. Winetitles (Ed.), Adelaide.
- HELLER, W., FORKMANN, G., 1988. *Biosynthesis*. In: The Flavonoids. (Ed.), J.B., Harborne, Chapman and Hall Ltd, London.
- HUGLIN, P., SCHNEIDER, C., 1998. *Biologie et écologie de la vigne*. 2e éd. Tec & Doc Lavoisier, Paris.
- INTRIERI, C., 2003. *Distanze di impianto nel vigneto*. L'Informatore Agr., 48, 41.
- INTRIERI, C., FILIPPETTI, I., RAMAZZOTTI, S., 2004. *Concetti di base sulle densità di impianto in viticoltura*. L'Informatore Agr., 16, 5.
- INTRIERI, C., FILIPPETTI, I., SILVESTRONI, O., MARCHEGIANI, E., MURRI, A., 1993. *Zonazione bioclimatica e primi rilievi fenologici nella viticoltura della Regione Marche*. Vignevisini, 6, 62-68.

- JACKSON, J.F., CHAPMAN, K.S.R., 1975. *The role of boron in plants*. In: Trace elements in soil-plant system (Nicholas, D.J.D. and Egan, A.R. Ed.), Academic Press, New York.
- JUSTE, C., POUGET, R., 1972. *Appréciation du pouvoir chlorosant des sols par un nouvel indice faisant intervenir le calcaire actif et le fer facilement extractible. Application au choix des porte-greffes de la vigne*. C.R. Acad.Agric. de France, 58, 352-364.
- KRIEDMANN, P.E., SMART, R.E., 1971. *Effects of irradiance, temperature and leaf water potential on photosynthesis of vine leaves*. Phothosynthetic, 5, 1, 22-27.
- LAVEZZI, A., COLUGNATI, G., ALTISSIMO, A., 2000. *Effetti dell'inerbimento sulla vite. Nord-est*. L'Informatore Agr., 2, 65-67.
- LAVILLE, P., 1990. *Le terroir, un concept indispensable à l'élaboration et à la protection des appellations d'origine comme à la gestion des vignobles : le cas de la France*. Bull. OIV, 709-710, 217-241.
- LEBON, E., DUMAS, V., MORLAT, R., 1997. *Influence des facteurs naturels du terroir sur la maturation du raisin en Alsace*. 1er colloque international "les terroirs viticoles" Angers, France, INRA, pagine, 359-366.
- LULLI, L., COSTANTINI, E.A.C., MIRABELLA, A., GIGLIOTTI, A., BUCELLI, P., 1989. *Influenza del suolo sulla qualità della Vernaccia di San Gimignano*. Vignevini, 1/2, 53-62.
- MASNEUF, I., MURAT, M.L., CHONE, X., DUBORDIEU, D., 2000. *Dosage systématique de l'azote assimilable: détecter les carences au chai*. Viti, 249, 19-22.
- MATTII, G.B., FERRINI, F., 2005. *La gestione del suolo*. In: Manuale di viticoltura (a cura di Marengi, M.), Edagricole, Bologna, 157-171.
- MELOTTI, M., SCOTTI C., 2002. *Considerazioni sulla scelta del portinnesto in fase di impianto della vite*. Bollettino di produzione integrata della Provincia di Modena, 29.
- MICHELUTTI, G., BELLANTONE, P., MION, T., BULFANI, D., MENEGON, S., COLUGNATI, G., 1996. *Comprensorio di produzione dei vini Doc Isonzo. I suoli e la vocazione viticola*.
- MORLAT, R., 2001. *Terroirs viticoles: étude et valorisation*. Openoplurimedia, Chaintré.
- MPELASOKA, B.S., SCHACHTMAN, D.P., TREEBY, M.T., THOMAS, M.R., 2003. *A review of potassium nutrition in grapevines with special emphasis on berry accumulation*. Australian J. Grape and Wine Research, 9, 154-168.
- MÜLLER, D.H., BREITER, H. P., 1999. *Zinc in vineyards*. Bulletin de l'OIV, 72, 821-822, 485-497.
- OJEDA, H., DELOIRE, A., CARBONNEAU, A., 2003. *Determinacion y control del estado hidrico de la vid: efectos morfologicos y fisiologicos de la restricción hidrica en vides*. Proc. Curso Internacional de Vitivinicultura, Neuquen 26-29 August, section 2.3.
- PANONT, C.A., BOGONI, M., MONTOLDI, A., SCIENZA, A., 1997. *Improvement of sparkling wines production by a zoning approach in Franciacorta (Lombardy, Italy)*. Atti Colloque international "Les terroirs viticoles", Angers, 17-18 juillet 1996, 454-460.
- PISANI, P.L., LORETI, F., SCALABRELLI, G., BANDINELLI, R., BOSELLI, M., MANCUSO, S., PORCINAI, S., 2000. *Risultati di ricerche sull'inerbimento del vigneto nel Chianti Classico*. In: Chianti Classico 2000, (Ed.) Consorzio Vino Chianti Classico – San Casciano V.P. (FI), 4, 7-21.
- PONI, S., 2000. *Sensibilità della vite allo stress idrico e implicazioni per la tecnica irrigua*. L'informatore Agr., 47, 71-80.
- PONI, S., 2005. *La gestione idrica del vigneto*. In: Manuale di viticoltura (a cura di Marengi, M.). Edagricole, Bologna.
- PORRO, D., STEFANINI, M., MENEGONI, R., PINZAUTI, S., CAMPOSTRINI, F., FALCETTI, M., 2002. *La zonazione del vigneto*. SAV. Società Agricoltori della Vallagarina, Rovereto (TN).

- PRICE, S.F., YODER, B., BREEN, P.J., WATSON, B.T., 1992. *Solar radiation effects on anthocyanins and phenolics in skins of "Pinot noir" and "Pinot gris" berries*. Atti IV Simp. Int. Fisiol. Vite, Torino, 565-570.
- RAPP, A., VERSINI, G., ENGEL, L., 1995. *Nachweis und bestimmung von 2-Aminoacetophenon in vergorenen Modellösungen*. Vitis, 34, 3, 193-194.
- REGIONE PIEMONTE, 2000. *Barolo. Studio per la caratterizzazione del territorio, delle uve e dei vini dell'area di produzione*. Quaderni Regione Piemonte – Agricoltura.
- REGIONE PIEMONTE, 2001. *Barbera. Studio per la caratterizzazione del territorio, delle uve e dei vini dell'area di produzione del barbera d'Asti*. Quaderni Regione Piemonte – Agricoltura.
- REGIONE TOSCANA, 2001. *Deliberazione Consiglio Regionale 17 gennaio 2001, n.21 "Piano regionale per la ristrutturazione e riconversione dei vigneti (art.11 del Reg.CE n.1493/99)".* www.rete.toscana.it/sett/agric/vino (verificato 1.07.2003).
- REYNIER, A., 2000. *Manuel de viticulture*. 8° Ed., TEC & DOC (Ed.).
- ROUBELAKIS-ANGELAKIS, K.A., KLIEWER, M., 1986. *Effects of exogenous factors on phenylalanine ammonia-lyase activity and accumulation of anthocyanins and total phenolics in grape berries*. Am. J. Enol. Vitic., 37, 4, 275-280.
- SANTILLOCCHI, R., TALAMUCCI, P., 1999. *Scelta, impianto e gestione delle specie da inerbimento. Italia centrale*. L'Informatore Agr., 38, -51.
- SBARAGLIA, M., LUCCI, E., 1994. *Guida all'interpretazione delle analisi del terreno ed alla fertilizzazione*. Studio Pedon, Pomezia (Roma), 123.
- SCIENZA, A., BOGONI, M., VALENTI, L., BRANCADORO, L., ROMANO, F., 1990. *La conoscenza dei rapporti tra vitigno ed ambiente quale strumento programmatico in viticoltura: stima della vocazionalità dell'Oltrepò Pavese*. Vignevini, 12:4-62.
- SCIENZA, A., MARIANI, L., FAILLA, O., BRANCADORO, L., PRIMAVERA, F., GIULIERINI, P., BERNAVA, M., FASOLI, V., TONINATO, L., 2003. *Arezzo: Terra di vini. Dalla zonazione al manuale d'uso del territorio*. Provincia di Arezzo.
- SCIENZA, A., SICHER, L., VENTURELLI, M.B., MAGGIORE, T., PISANI, P.L., CORINO, L., 1988. *L'inerbimento in viticoltura*. L'Informatore Agr., 21.
- SCPA, 1986. *La fertilisation raisonnée de la vigne. Plaque*.
- SILVESTRONI, O., PALIOTTI, A., 2005. *Distanze di impianto*. In: Manuale di viticoltura (a cura di Marengi, M.), Edagricole, Bologna, 135-155.
- STORCHI, P., MATTII, G.B., FERRINI, F., 2000. *Effetti dell'inerbimento sulla vite. Centro-ovest*. L'Informatore Agr., 2:70-71.
- STORCHI, P., TOMASI, D., 2005. *Ecologia viticola e zonazioni*. In: Manuale di viticoltura (a cura di Marengi, M.), Edagricole, Bologna, 17-34.
- TOMASI, D., CETTOLIN, C., CALÒ, A., BINI, C., 2004. *I suoli e i climi della fascia collinare del comune di Conegliano e loro attitudine alla coltivazione del vitigno Prosecco (Vitis sp)*. Comune di Conegliano (Ed.) (TV).
- VALENTI, L., MAGGIORE, T., SCIENZA, A., 1999. *Tecniche di gestione del suolo in viticoltura*. L'Informatore Agr., 38, 35-37.
- VAN LEEUWEN, C., FRIANT, P.H., SOYER, J.P., MOLOT, C.H., CHONE, X., DUBOURDIEU, D., 2000. *L'intérêt du dosage de l'azote total et de l'azote assimilable dans le moût comme indicateur de la nutrition azotée de la vigne*. J.Int. Sci. Vigne Vin, 34, 2, 75-82.

- VAN LEEUWEN, C., SEGUIN, G., 1994. Incidences de l'alimentation en eau de la vigne, appréciée par l'état hydrique du feuillage sur le développement de l'appareil végétatif et la maturation du raisin. *J. Int. Sci. Vigne Vin*, 2, 81-110.
- VAN LEEUWEN, C., SEGUIN, G., 1997. Incidence de la nature du sol et du cépage sur la maturation du raisin, à Saint emilion, en 1995. 1er colloque international "les terroirs viticoles" Angers, France, INRA, 154-157.
- VAN LEEUWEN, C., TREGOAT, O., CHONE, X., JAECK, M.E., RABUSSEAU, S., GAUDILLERE, J.P., 2003. Le suivi du régime hydrique de la vigne et son incidence sur la maturation du raisin. *Bull. O.I.V.*, 867, 868, 367-379.
- VAUDOUR, E., 2005. *I terroir. Definizioni, caratterizzazione e protezione*. Edagricole, Bologna, 295.
- VERCESI, A., 1987. *Gli assorbimenti radicali della vite: meccanismi e fattori influenti*. Vignevini, 4.

Ministero delle Politiche Agricole, Alimentari e Forestali
Osservatorio Nazionale Pedologico e per la Qualità del Suolo Agricolo e Forestale

In collaborazione con:
International Union of Soil Sciences
Società Italiana della Scienza del Suolo
Commissione VI - Uso e Conservazione del Suolo

FRANCHINI, E., CIMATO, A., COSTANTINI, E.A.C., 2006. *Olio*. In: Costantini, E.A.C. (Ed.), *Metodi di valutazione dei suoli e delle terre*, Cantagalli, Siena, pp. 922.

Collana dei metodi analitici per l'agricoltura diretta da Paolo Sequi, vol. 7

CRA - Consiglio per la Ricerca e la Sperimentazione in Agricoltura
Istituto Sperimentale per lo Studio e la Difesa del Suolo, Firenze

29. Olivo

Elena Franchini¹, Antonio Cimato¹, Edoardo A.C. Costantini²

29.1. La pianta dell'olivo	3
29.1.1. Morfologia della pianta: chioma, tronco e radice	4
29.1.2. Ciclo vegetativo e riproduttivo	7
29.2. Requisiti colturali	13
29.2.1. L'albero e l'ambiente	13
29.2.2. Temperatura	14
29.2.3. Luce	16
29.2.4. Nutrizione idrica	16
29.2.5. Vento	17
29.2.6. Grandine e neve	18
29.3. L'albero e il suolo	18
29.3.1. Caratteristiche fisiche del suolo	18
29.3.2. Caratteristiche chimiche e biologiche	26
29.3.3. Erosione idrica	31
29.3.4. Assorbimento degli ioni	32
29.3.5. Assorbimento dell'acqua	34
29.4. Progettazione e realizzazione dell'oliveto	35
29.4.1. Decespugliamento e spietramento	35
29.4.2. Livellamento	35
29.4.3. Sistemazioni idraulico-agrarie	37
29.4.4. Concimazione di fondo	39
29.4.5. Densità di piantagione e distanze d'impianto	40
29.4.6. Orientamento dei filari	40
29.4.7. Scelta delle cultivar	40
29.4.8. Scelta del materiale vivaistico	41
29.4.9. Messa a dimora	42
29.4.10. Scelta della forma di allevamento	42
29.5. Gestione colturale	43
29.5.1. Fertilizzazione	43

¹ CNR - Istituto per la Valorizzazione del Legno e delle Specie Arboree, Sesto Fiorentino

² CRA - Istituto Sperimentale per lo Studio e la Difesa del Suolo, Firenze

29.5.2. Potatura.....	46
29.5.3. Irrigazione.....	48
29.5.4. Difesa.....	49
29.5.5. Raccolta	50
29.5.6. Lavorazioni del terreno	51
29.5.7. Inerbimento	53
29.6. Attitudine delle terre alla coltivazione dell'olivo e tabelle di valutazione	54
29.7. Stima dell'affidabilità della valutazione attitudinale.....	55
29.7.1. Indici di diversità	56
29.7.2. L'interpolatore kriging.....	58
29.7.3. Indici sintetici d'affidabilità della valutazione.....	59
Bibliografia	60

29.1. La pianta dell'olivo

Nella classificazione botanica, l'olivo (*Olea europaea* L.) appartiene alla famiglia delle *Oleaceae*, al genere “*Olea*”, specie “*europaea*” e sottospecie “*sativa*”. Risalendo nella genealogia, tra i vari generi delle *Oleaceae* sono incluse entità spontanee, arbusti sempreverdi ornamentali (*Ligustrum*, *Syringa*, *Jasminum*, *Fraxinus*, *Phillyrea*, *Forsythia*, ecc.) e alberi, tra i quali si distingue l'olivo (*Olea*), unica pianta arborea che produce frutti (olive) commestibili. Per la specie *europaea*, dai confini tassonomici complessi, la letteratura fa riferimento a due sottospecie dell'areale mediterraneo: la prima, di classificazione definita, *O. europaea* subsp. *sativa*, e l'altra, *O. europaea* subsp. *oleaster*, di classificazione più incerta. La sottospecie “*sativa*”, che distingue gli olivi coltivati (cultivar), riunisce i risultati di ibridazioni spontanee, di selezioni che esaltano l'attitudine produttiva della pianta, l'adattamento ad ambienti pedoclimatici diversi, ecc., e quindi di olivi che nel tempo sono stati conservati per via agamica. Il termine “*oleaster*” è indicativo d'arbusti o alberi spontanei e specifici della macchia mediterranea, con rami corti, provvisti di spine e foglie piccole, la cui limitata fruttificazione è espressa da drupe piccole, generalmente rotonde e con nocciolo grosso.

Integrato nel paesaggio italiano, l'olivo si distingue dalle altre piante arboree da frutto per la capacità di occupare ambienti diversi, di produrre anche in condizioni limitanti per aridità e freddo e per essere, da sempre, pianta funzionale del sistema agricolo che garantisce l'equilibrio tra ciò che l'uomo

crea e ciò che è naturale. Con una superficie coltivata di circa 1.167.675 ettari e con 180 milioni di piante (fonte: ISMEA, 2004), l'olivo in Italia, pur con diversa importanza economica e sociale, è presente in quasi tutte le regioni, dove occupa areali diversi per caratteristiche pedoclimatiche. La coltivazione dell'olivo è praticata in maggior prevalenza a sud (724.098 ettari) e nelle isole (197.759 ettari), rispetto al centro-nord (245.818 ettari).

L'olivicoltura italiana si distingue dagli altri Paesi mediterranei per la presenza di un enorme patrimonio genetico. In esso sono riunite varietà dalle molteplici caratteristiche biologiche e produttive, piante "migliorate", perché ottenute con interventi di ibridazione, di mutagenesi o da selezione clonale, e olivi secolari (genotipi autoctoni) che, sebbene poco indicativi in termini di incidenza sulla quantità della nostra produzione olearia, sono presenti in gran numero negli impianti tradizionali e costituiscono una ricca biodiversità "autoctona".

Tra le "varietà", la letteratura segnala oltre 600 olivi: alcuni (olive da mensa) forniscono frutti destinati al consumo diretto (Ascolana, Bella di Cerignola, Giarraffa, Moresca, Nocellara del Belice, Nocellara Etnea, Sant'Agostino, ecc.), mentre molti altri sono piante la cui produzione è preferibilmente destinata all'estrazione dell'olio (Bianchera, Biancolilla, Bosana, Canino, Carolea, Casaliva, Cellina di Nardò, Coratina, Correggiolo, Dolce Agogia, Frantoio, Gentile di Larino, Leccino, Moraiolo, Ogliarola, Ottobratica, Pendolino, Pisciotana, Racioppa, Rosciola, Taggiasca, Tonda Iblea, ecc.).

29.1.1. Morfologia della pianta: chioma, tronco e radice

La parte epigea dell'olivo è costituita dal fusto, dalle branche e dai rami. La porzione del fusto compresa tra l'inserzione delle branche primarie e il colletto, zona di collegamento della pianta al sistema radicale, identifica il tronco. Branche e rami, insieme agli organi che questi portano (gemme, foglie, germogli, fiori e frutti), rappresentano la chioma.

Lasciata sviluppare naturalmente, la chioma dell'olivo può assumere portamenti diversi: pendulo, quando i rami crescono inclinati verso il basso; espanso, con ramificazioni leggermente inclinate che si sviluppano nella direzione della luce naturale e dello spazio; assurgente, quando la crescita dei rami principali è tendenzialmente verticale (caratteristica tipica di pianta ad elevata dominanza apicale).

Lo sviluppo della pianta, determinato dalle dimensioni delle branche e dei rami, in lunghezza e in diametro e dall'abbondanza di vegetazione descrive due caratteristiche: la vigoria e la densità della chioma. Queste proprietà naturali possono variare nel tempo perché sono determinate dagli interventi di potatura, dalle condizioni ambientali (nelle zone a clima poco favorevole per l'olivo la

statura delle piante tende a ridursi) e dalle pratiche agronomiche (concimazioni, irrigazioni, ecc.).

Come per le altre piante da frutto, la chioma dell'olivo è distinta in: branche, rami e germogli. Le branche sono ramificazioni dal particolare sviluppo e conformazione, che costituiscono lo scheletro dell'albero; si distinguono in: "primarie", se inserite sul tronco e di età non inferiore a due anni, e "secondarie" (sottobranche), quando sono inserite lateralmente sulle principali. I rami sono assi vegetativi provvisti di gemme. Nell'olivo la distinzione tra rami di un anno d'età o più anni è netta: quelli di un anno, in genere di limitata vigoria e a direzione pendula, sono provvisti di numerose gemme che si differenzieranno a fiore, ad eccezione della gemma posta all'apice che ha caratteristiche vegetative (germoglio) per garantire, nel corso della stagione, la crescita della pianta. Altri rami di un anno d'età sono facilmente distinguibili per la vigoria e per essere privi di gemme fruttifere: i polloni, che sono emessi dalla zona del pedale o dalle radici, e i succhioni, che derivano da una gemma latente del tronco o delle branche.

L'olivo ha foglie semplici, a margine intero e picciolo corto, distinguibili per forma e dimensioni (lunghezza e larghezza). La forma può essere lanceolata, ellittica-lanceolata o ellittica. La dimensione del lembo fogliare, intesa come estensione della superficie (variabile da 5-7 cm di lunghezza e 1,2-1,5 cm di larghezza nella porzione centrale), può essere piccola, media, grande o molto grande, in funzione della cultivar, del vigore del ramo sul quale sono inserite le foglie (succhioni e polloni), della posizione che il ramo occupa nella chioma (luminosità) e delle caratteristiche ambientali. La pagina superiore della foglia è di colore verde-grigiastro mentre quella inferiore è biancastra e feltrosa per la presenza di peli pluricellulari.

Nell'olivo, le gemme normali (a legno o a fiore) sono situate all'ascella delle foglie e all'apice del ramo annuale; la gemma apicale (a legno) ha il compito di garantire la crescita della pianta, quelle ascellari si evolvono in senso riproduttivo per diventare, in primavera, gemme a fiore, e quindi infiorescenze (mignola) con asse centrale e ramificazioni laterali (rachide). Sui rami sono presenti anche gemme "miste" che generano un germoglio le cui gemme, in pari tempo, producono piccole infiorescenze.

La mignola, in genere, è fornita di un fiore nella zona apicale del rachide, mentre altri gruppi di fiori (da due a cinque) sono inseriti sugli assi secondari delle ramificazioni laterali. Ciascuna infiorescenza può assumere forme e dimensioni diverse e, di conseguenza, essere provvista di un numero molto variabile di fiori (10-40). Tale variabilità dipende dalla fertilità agronomica del suolo, da condizioni di luminosità della chioma e da caratteristiche genetiche (cultivar). Il fiore dell'olivo ha corolla bianca con calice di colore verde chiaro ed è ermafrodita, cioè provvisto di organi sessuali sia femminili (pistillo) che maschili (stami). Il primo è costituito da un ovario supero, dallo stilo e dallo stimma, che ha la funzione di catturare il polline; gli stami constano di due filamenti sormontati da antere gialle e bilobate.

Il frutto è una drupa morfologicamente distinguibile per la forma (allungata, ovoidale o sferoidale), per il peso, per la simmetria, per l'aspetto dell'apice (arrotondato o appuntito) e della base (troncata o arrotondata) e per la cavità peduncolare (differente per dimensione, forma e profondità). Nell'oliva sono distinguibili l'epicarpo, il mesocarpo e l'endocarpo o nocciolo, all'interno del quale è protetto il seme. L'epicarpo (buccia), costituito da uno strato sottile di cellule di forma globosa e cementate dalla cutina, ha il compito, come una pellicola, di proteggere il frutto. Inizialmente l'epicarpo è di colore verde; con il procedere della maturazione diviene prima rossastro per raggiungere successivamente la completa colorazione nera. Il mesocarpo (polpa) è un tessuto di spessore variabile che rappresenta il 70-80% in peso dell'intera drupa. Le cellule della polpa sono ricche di protoplasma, hanno forma globosa e procedendo verso il nocciolo diventano sempre più piccole e fusiformi con struttura a palizzata. Anche il mesocarpo con la maturazione subisce variazioni nella consistenza e nel colore. L'endocarpo (nocciolo) è costituito da cellule che, dopo i primi stadi di sviluppo del frutto, induriscono le membrane in modo da conferire all'involucro consistenza legnosa a protezione del seme. Da un punto di vista morfologico, l'endocarpo ha caratteri indicativi e discriminanti le cultivar. Oltre alla forma (allungata, ellittica, ovoidale o sferica), altri caratteri distintivi del nocciolo sono: peso, simmetria, posizione del diametro trasversale massimo, forma dell'apice e della base, numero e profondità dei solchi fibrovascolari e terminazione dell'apice (rosto). Il seme dell'olivo è costituito dal tegumento, con funzione protettiva, dall'endosperma, con funzione d'accumulo delle sostanze energetiche e dall'embrione che, in condizioni particolari, darà origine alla nuova piantina. La parte epigea dell'olivo è completata con il tronco, la cui corteccia è caratteristica per il colore verde grigiastro. Il tronco inizia dall'inserzione delle branche principali e termina con il pedale (o ceppaia), che collega la pianta al suo apparato radicale.

Nell'olivo, la morfologia e lo sviluppo dell'apparato radicale dipendono inizialmente dal metodo di propagazione impiegato; in seguito tali caratteristiche sono regolate dalle proprietà del suolo, dal metabolismo della pianta, da fattori genetici e dalla tecnica agronomica. Le giovani piante ottenute da seme hanno un apparato radicale dominato da una radice centrale (fittone) che alla fine del primo anno, in condizioni favorevoli di terreno, può raggiungere 1 metro di profondità. Se la pianta non viene trapiantata, questa radice centrale rimane tale per 5-6 anni (Morettini, 1972); negli anni successivi, il fittone viene gradualmente sostituito da un nuovo apparato radicale costituito da radici avventizie che si dipartono dal tronco negli strati più superficiali del terreno, e da radici laterali inserite sul fittone. Le piante provenienti da talea, autoradicate, sviluppano un sistema pluridirezionale di radici lungo l'asse principale sul quale sono inserite. Tali differenze tendono in ogni caso ad attenuarsi nel tempo sino ad annullarsi (Guerriero, 1972), mentre cominciano a prevalere, sulla morfologia assunta dall'apparato radicale, fattori

interni, quali il vigore del genotipo, ed esterni, quali le condizioni fisiche e chimiche del suolo e le tecniche colturali impiegate. L'apparato radicale svolge molteplici funzioni: ancoraggio al suolo, connessione vascolare con il fusto, assorbimento d'acqua e d'elementi nutritivi presenti nel terreno. Ciascuna di queste funzioni è svolta da radici differenziate in principali, conduttrici, di transizione e assorbenti, differenti fra loro per età, diametro e grado di suberificazione. Le radici principali e quelle conduttrici assicurano l'ancoraggio e la continuità vascolare con il fusto, mentre le altre costituiscono nel loro insieme il capillizio radicale, che rappresenta la parte più attiva nell'assorbimento di acqua e nutrienti.

Il sistema radicale è anche in grado di sintetizzare ormoni (gibberelline e citochinine) che controllano le attività fisiologiche della pianta e di specificare l'accumulo, in autunno, delle sostanze di riserva indispensabili alla ripresa vegetativa e al compimento di fenomeni biologici del ciclo di produzione.

Come per le altre piante arboree, anche nell'olivo lo sviluppo radicale segue una periodicità stagionale. L'attività inizia quando le temperature del suolo raggiungono i 14-16°C e procede secondo un modello di crescita bimodale con due distinti periodi d'accrescimento: uno primaverile-estivo, caratterizzato da un'intensa crescita, l'altro autunnale, di minore intensità.

29.1.2. Ciclo vegetativo e riproduttivo

La conoscenza dei processi che ciclicamente determinano le dinamiche di accrescimento vegetativo e l'efficienza di fruttificazione della pianta sono essenziali per stabilire un'adeguata e sostenibile gestione agronomica dell'impianto. Nell'olivo, l'accrescimento dei germogli si completa nell'anno stesso della loro formazione, mentre la produzione richiede due stagioni successive. Infatti, le gemme che daranno origine a fiori e frutti si formano nella prima annualità, mentre i fenomeni che regolano in modo irreversibile, la biologia fiorale e la fruttificazione della pianta si completano nella stagione successiva.

La crescita vegetativa dei rami, delle branche e del fusto è legata all'attività del cambio che, a sua volta, è direttamente controllata dallo sviluppo delle gemme. Nell'olivo, in primavera, le gemme a legno danno origine a germogli. Questo fenomeno, indipendentemente dalla posizione che i rami di un anno d'età possono occupare sull'albero (verticali, orizzontali o inclinati), ha inizio sempre dalla gemma posta all'apice e si ripete, in tempi successivi, anche per altre gemme a legno inserite nella parte mediana, mentre quelle poche che occupano la zona basale del ramo spesso rimangono in forma latente. Dopo il germogliamento e l'accrescimento dell'apice, si osserva la comparsa e la distensione delle nuove foglie, la loro completa formazione e l'allungamento degli internodi.

Lo sviluppo dei germogli è elevato nella primavera, più lento nel corso dell'estate, riprende con una certa intensità dopo le piogge di fine agosto-settembre per divenire quasi nullo nel mese d'ottobre, in coincidenza dei primi abbassamenti termici. La crescita e lo sviluppo totale dei germogli, oltre al controllo genetico, sono condizionati da molteplici fattori non facilmente separabili e comunque dipendenti dalle caratteristiche e proprietà del suolo, dalla gestione del terreno agrario, dallo stato nutrizionale della pianta, dalla disponibilità idrica, dagli interventi annuali di potatura e da fattori climatici diversi (soprattutto luce e temperatura). La maggior parte delle gemme situate lateralmente al ramo di un anno d'età si evolve, invece, in senso riproduttivo (gemma a fiore). Il fenomeno, indicato come processo d'induzione e differenziazione antogena delle gemme, ha inizio nell'autunno dell'anno di formazione del germoglio, per diventare più efficace nel periodo che precede la primavera (Cimato et al., 1985; Cimato et al., 1986). In questa fase della stagione, gli apici gemmari subiscono un orientamento fisiologico che li prepara alle tappe successive di differenziazione morfologica. In generale, il fenomeno, identificato con l'appiattimento dell'apice gemmario, è accompagnato dalla lenta comparsa dei primordi fiorali che, in seguito, diventano infiorescenze (mignole).

Nell'olivo la distribuzione delle mignole sul ramo di un anno d'età è diversa. Le gemme sviluppate in infiorescenze sono presenti in numero superiore nella zona apicale e mediana, mentre la zona basale del ramo è occupata da gemme che spesso rimangono in forma latente. Oltre al carattere ereditario (controllo genetico), i fenomeni d'induzione e differenziazione antogena sono controllati dalla luce (flusso totale d'energia intercettato dalla chioma, fotoperiodo), dalle condizioni ambientali (temperatura, CO₂, ecc.), dalla disponibilità d'elementi nutritivi e da specifici rapporti ormonali. La trasformazione da gemma neutra a gemma a fiore è quindi il risultato di una complessa interazione tra fattori esogeni ed endogeni alla pianta. Con questo fenomeno termina l'evoluzione a fiore delle gemme ed ha inizio il complesso ciclo di fruttificazione della pianta. La crescita delle gemme a frutto procede lentamente fino alla schiusura dell'infiorescenza (mignola) che, nel suo sviluppo, assume i caratteri simili ad un grappolo (stadio fenologico della mignolatura). Il mese successivo è dedicato alla formazione del polline (microsporogenesi) e dell'apparato riproduttore (macrosporogenesi), che assicurano prima la fioritura e dopo l'impollinazione e la fecondazione.

Compatibilmente con le condizioni climatiche, la fioritura (antesi) nell'olivo si realizza durante la primavera. Questa è una tappa critica del ciclo di fruttificazione perché i tessuti che costituiscono il fiore cessano di crescere fino a quando non intervengono particolari stimoli quali l'impollinazione e la fecondazione. Dal punto di vista biologico, la fioritura si svolge in tre stadi successivi: schiusura della corolla (stami e pistilli si liberano dalla protezione dei petali), deiscenza delle antere (conseguente emissione del polline) e recettività dei pistilli. Negli ambienti olivicoli mediterranei, la schiusura della

corolla ha una durata media tra 7 e 12 giorni e, in genere, ha luogo dalla metà di maggio alla prima settimana di giugno. Per un albero d'olivo adulto l'antesi è un fenomeno complesso perché non è contemporaneo sull'intera pianta. Le prime mignole a fiorire sono quelle che occupano i rami meglio illuminati e quindi i più esterni della chioma; in seguito, la fioritura interessa la zona bassa della chioma e, successivamente, anche le mignole dei rami più interni e ombreggiati. Tale scalarità si verifica ugualmente su rami di un anno di età (la corolla si apre prima nelle mignole apicali e poi in quelle poste nella zona mediana e basale) e tra i fiori della stessa infiorescenza (prima si apre il fiore della zona apicale del rachide e dopo gli altri gruppi di fiori inseriti sugli assi secondari). L'inizio del fenomeno è sotto il controllo genetico, ma dipende anche da favorevoli condizioni climatiche. Se la stagione è avversa (frequenti piogge, basse temperature, poca luminosità), la fioritura può avvenire con alcuni giorni di ritardo e l'inizio prolungarsi nel tempo.

È importante conoscere l'epoca della stagione in cui le piante fioriscono per assecondare l'impollinazione, meccanismo con il quale il polline, emesso dalle antere mature, raggiunge gli stimmi recettivi per creare la premessa all'atto fecondativo. Nell'olivo il polline dello stesso fiore, pur essendo vitale e germinabile, non sempre è in grado di emettere granuli pollinici idonei a fecondare il proprio gineceo, né quello di piante appartenenti alla stessa cultivar (autoincompatibilità); il compimento di questo processo biologico è invece più probabile sui fiori di altre cultivar (intercompatibilità). Il compimento dell'atto fecondativo è spesso impedito da fattori di sterilità: morfologica per l'assenza o il ridotto sviluppo dell'ovario (fiori con ovario abortito), citologica per anomalie che insorgono nel corso della microsporogenesi e macrosporogenesi (scarsa o nulla germinabilità del polline, degenerazione del gametofito femminile e dell'embrione) e fattoriale o incompatibilità per la presenza tanto nel corredo genetico dei granuli pollinici quanto in quello del tessuto stilare di fattori genetici di sterilità.

Il fenomeno dell'incompatibilità può interessare sia fiori della stessa cultivar (autocompatibilità), sia fiori di cultivar diverse (interincompatibilità). È evidente che i fiori d'olivo appartenenti ad una cultivar autoincompatibile, anche se provvisti di polline germinabile, non sono in grado di autofecondarsi, né di assicurare, con il proprio polline, la fecondazione dei fiori delle piante che appartengono alla stessa cultivar. Dal punto di vista pratico queste conoscenze sono quindi necessarie per assicurare al momento dell'impianto la presenza di olivi impollinatori. Anche in questo processo biologico il risultato finale è legato allo stato nutrizionale della pianta e alla coincidenza di eventi climatici favorevoli quali, ad esempio, leggere brezze durante la fioritura, che garantiscono il trasporto anemofilo del polline da un fiore all'altro, e il raggiungimento dell'ovario. Condizioni climatiche sfavorevoli sono, invece, le piogge durante la fioritura e le gelate primaverili. Completata in circa dieci giorni l'allegagione, la caduta degli stami e dei petali coincidono con la prima fase di sviluppo del frutto.

La crescita delle olive ha una durata complessiva di circa 5 mesi con differenze notevoli tra le cultivar e i distinti ambienti di coltivazione. Le olive iniziano ad avere dimensioni evidenti già dopo circa 10-15 giorni dall'allegagione. L'attenta osservazione del ramo fruttifero fornisce, in genere, l'impressione di un'abbondante allegagione già agli inizi di luglio. Nel periodo successivo, l'impressione ottimistica sulla produttività della pianta è ridimensionata per il verificarsi di un'abbondante cascola dei frutticini appena formati. Si tratta di un fenomeno che risponde a specifiche richieste nutrizionali della pianta non completamente soddisfatte e dei frutti in forte competizione fra loro per l'accrescimento. Tale fenomeno è sensibile alle condizioni ambientali ed alla posizione che la drupa stessa occupa sulla chioma (esposizione), sul ramo (zona apicale, mediana o basale) e sulla stessa mignola. In condizioni avverse, per ridotta disponibilità idrica e per temperature estive troppo elevate, è evidente che l'accrescimento iniziale della drupa è ostacolato e non è assicurato il raggiungimento della sua dimensione finale. I frutti che occupano zone della chioma interne meno illuminate (ombreggiatura) hanno una crescita più lenta rispetto a quelli che si trovano esternamente e che sono in grado di intercettare meglio il flusso di energia, a garanzia di un accrescimento superiore e più rapido. Analogamente, i frutti che hanno posizione apicale sul ramo si accrescono maggiormente per effetto della migliore esposizione alla luce e perché sono prossimi ai centri metabolici più attivi (apici e foglie giovani in continua crescita). Infine, i frutti all'apice dell'infiorescenza hanno sempre uno sviluppo superiore per effetto del più diretto rifornimento nutritivo che essi ricevono dalla pianta.

Il modello di crescita dell'oliva, così come per le altre drupacee, può essere rappresentato da una curva a doppia sigmoide. Il primo tratto della curva segnala che all'inizio dello sviluppo del frutto, intervallo compreso nei primi 48 giorni dopo la fioritura, l'attività cellulare si caratterizza per l'intensa moltiplicazione (citochinesi), il cui scopo è di aumentare il numero di cellule del tessuto ovarico ed avviare il processo di involuzione nella drupa (Tombesi, 1994). Il secondo tratto della curva esprime una crescita moderata che termina a circa 100 giorni dalla fioritura. Nel frutto si distinguono due momenti durante i quali si lignifica l'endocarpo (metà agosto) ed è possibile riconoscere nel seme l'embrione e l'endosperma (fine agosto). L'ultimo tratto della curva, a partire da settembre e per circa 80 giorni, rappresenta la più complessa fase di crescita del frutto: in questo periodo, oltre all'ultimo intenso sviluppo della drupa, con modifiche della stessa morfologia, avvengono cambiamenti fisiologici (attività fotosintetica e respiratoria), trasformazioni di natura istologica (differenziazione dell'embrione, del sistema vascolare del peduncolo) e variazioni del metabolismo che coinvolgono proteine, carboidrati (glucosio, fruttosio, saccarosio, mannitolo, ecc.), lipidi (Cimato et al., 1997; 2001) e tutti i componenti la frazione "insaponificabile" (idrocarburi, steroli, composti minori polari, tocoferoli, clorofille, carotenoidi fitolo, alcoli alifatici, idrocarburi terpenici, esteri, aldeidi, chetoni, eteri, ecc.).

Durante la fase di lignificazione dell'endocarpo nella pianta si realizza anche un'importante competizione nutrizionale tra le drupe in crescita e lo sviluppo dei germogli. Il raggiungimento di un *equilibrium* fisiologico tra questi due “*sink*” (*sink* vegetativo: germoglio; *sink* riproduttivo: frutti) garantisce la crescita delle olive e l'adeguato allungamento del germoglio dal quale dipenderà la produzione dell'anno successivo. Diventa quindi indispensabile che durante tutte le fasi del ciclo biologico non accadano situazioni particolari come, ad esempio, carenze idriche e nutritive che possano ostacolare tali processi e avviare il fenomeno dell'alternanza di produzione.

Già da maggio a giugno, periodi della mignolatura, fioritura, impollinazione e allegagione, la scarsità di risorse idriche può determinare anomalie nella formazione del fiore con aborto dell'ovario, assenza di stami, riduzione del numero di fiori nelle infiorescenze e bassa allegagione. Tuttavia, è raro che nei nostri climi si abbia scarsità d'acqua in questo stadio fenologico, mentre può verificarsi un insufficiente approvvigionamento d'azoto. Nel periodo successivo della stagione, che coincide con la comparsa dei frutticini e termina con la raccolta delle olive (luglio-dicembre), se le richieste idriche e nutrizionali non sono soddisfatte, saranno compromesse la fruttificazione dell'anno (limitata crescita delle olive, cascola precoce dei frutti), la produttività della pianta nella stagione seguente (scarso sviluppo dei germogli) e sarà pregiudicato il metabolismo della maturazione dei frutti. Da settembre in poi, le cellule della drupa aumentano di volume e si creano le condizioni per la sintesi e l'accumulo dell'olio (Lavee et al., 1991). I meccanismi che presiedono all'accumulo dei trigliceridi nell'oliva non sono tuttora molto chiari, anche se c'è il convincimento che tale processo è sotto il controllo genetico (Patumi et al., 1990). Il fenomeno inizialmente si manifesta sotto forma di piccolissime gocce che aumentano di volume fino ad occupare gran parte dello spazio intracellulare. In genere, il 70-85% dell'olio presente in un frutto è racchiuso da una struttura membranosa vacuolare (olio disponibile o libero), mentre la frazione rimanente è dispersa, sotto forma di minute goccioline, nel citoplasma. Questa ultima frazione (olio legato) non è estraibile con i sistemi di frangitura oggi disponibili. Nel frutto, le modifiche morfologiche e le attività biologiche che esprimono il fenomeno della maturazione sono manifestate anche da variazioni di colore dell'epicarpo e del mesocarpo. Questo cambiamento, che è sotto il controllo genetico ed è condizionato da eventi ambientali e antropologici, fa sì che nell'olivo si possono distinguere quattro stadi fenologici.

Stadio erbaceo

Frutto di colore verde, peso (sostanza secca) che incrementa nel tempo, polpa di consistenza dura, endocarpo formato e lignificato, seme in attiva crescita. In questo stadio fenologico nel frutto è presente la clorofilla che garantisce la fotosintesi ed è attiva la sintesi degli zuccheri solubili (glucosio, fruttosio, saccarosio, mannitolo, ecc.). Nell'oliva è funzionale l'accumulo dei trigliceridi

che controllano lo sviluppo e le attività delle membrane cellulari (funzione energetica e strutturale). Questi composti variano nella composizione e nei rispettivi rapporti percentuali (Frias et al., 1975; Sanchez Raya et al., 1992). Ad esempio, mentre si attiva la sintesi degli acidi grassi monoinsaturi (palmitoleico e oleico) è molto elevato l'accumulo degli acidi grassi saturi a lunga catena (palmitico, eptadecanoico, stearico, arachico, beenico). Lo stadio erbaceo si conclude quando la tonalità di colore dell'epicarpo diventa verde più chiara.

Stadio dell'invaiaitura

L'oliva cambia colore e diventa giallognola. Tale variazione è legata alla degradazione continua della clorofilla in feofitina e fitina e al crescente contenuto dei carotenoidi. L'attività fotosintetica nei frutti è attenuata, il peso subisce incrementi limitati e si accumulano abbondanti lipidi (è il periodo di massima sintesi dell'acido oleico e della riduzione di palmitico e stearico) (Williams et al., 1993). È il momento più intenso del metabolismo che porta alla formazione degli idrocarburi (squalene) e della maggior parte dei composti principali della frazione insaponificabile quali: i composti minori polari (Solinas et al., 1975; Amiot et al., 1989), i tocoferoli, le clorofille, gli steroli, ecc. La formazione di pigmenti antocianici favorisce la comparsa di piccole macchie di colore prima rossastro e poi violaceo che dall'apice si estendono col tempo a tutto il frutto. In questa fase si forma lo strato ceroso (pruina) che protegge l'epidermide ed ha la funzione di evitare l'eccessiva perdita d'acqua nei frutti per traspirazione.

Stadio di maturazione

Le variazioni di colore sono più intense e interessano tutto il frutto, che diventa nero, raggiunge la massima dimensione e contiene i più alti livelli di olio (espresso come valore percentuale sulla sostanza secca). Il metabolismo della maturazione completa la sintesi dell'acido oleico ed è molto attivo nella formazione degli acidi grassi polinsaturi (linoleico e linolenico) (Di Matteo et al., 1992; Williams et al., 1993). Altri componenti, come i composti minori polari, subiscono un'intensa idrolisi e dall'oleuropeina si originano una serie di prodotti tra i quali: acido elenolico, idrossitirosolo, demetiloleuropeina, tirosolo, acido vanillico, acido protocatechico (Servilli, et al., 1995; Romani, 1996; Vinceri, 1997). Gli steroli, che si originano durante le prime fasi di sviluppo del frutto, subiscono in questo periodo modeste variazioni nei contenuti di β -Sitosterolo (in diminuzione), di Stigmasterolo e δ -Avenasterolo (in aumento). I costituenti la frazione alcolica alifatica e triterpenica aumentano fino all'epoca della massima inolizione (Camera et al., 1976; Tiscornia et al., 1978), così come i composti volatili (Bertuccioli et al., 1978; Olias et al., 1980). Le concentrazioni di clorofille e carotenoidi diminuiscono, mentre le percentuali di xantofille, spesso esterificate, incrementano (Mosquera et al., 1989; Modi et al., 1992).

Stadio di sovrarmaturazione

Con il progredire della maturazione aumenta l'attività degli enzimi pectolitici che portano alla degradazione della parete cellulare (Montedoro, 1981), mentre all'interno del frutto, che rimane ancora attaccato al ramo, iniziano a degradarsi i trigliceridi, diminuiscono i contenuti totali di antiossidanti naturali (clorofilla, antociani, tocoferoli, componenti minori polari, ecc.), con riflessi negativi sulle caratteristiche organolettiche e sulla valutazione edonistica dell'olio (Vasquez Roncero et al., 1971). In genere non avvengono modifiche interessanti nelle dimensioni dei frutti, che si sono già stabilizzate con la conclusione della maturazione, mentre si ha una riduzione dell'attività respiratoria e una perdita d'acqua, con apparente aumento d'olio nel frutto.

Le modifiche morfologiche e le attività biologiche che esprimono il fenomeno della maturazione del frutto sono variabili perché il fenomeno, specifico della cultivar (controllo genetico), è legato ad interazioni diverse che controllano la crescita e l'accumulo dell'olio nelle olive (Cimato, 1988). Si tratta, in particolare, di condizionamenti ambientali (zona di produzione, piogge, temperature, ecc.), relazione radici-suolo, scelte dell'imprenditore (epoca di raccolta delle olive) e pratiche di conduzione dell'impianto (concimazioni, irrigazioni, potature, difesa, ecc.). Interventi colturali di concimazione fogliare con urea in estate ritardano la sintesi dei componenti minori polari rallentando il processo di maturazione dei frutti (Cimato et al., 1994). Analoghe variazioni al biochimismo di questi composti sono state evidenziate per le olive da mensa (Patumi et al., 1998) con interventi irrigui durante l'estate.

29.2. Requisiti colturali

29.2.1. *L'albero e l'ambiente*

L'olivo è riuscito a adattarsi perfettamente all'ambiente mediterraneo, caratterizzato da grandi variazioni pedologiche e climatiche, ed ha trovato numerose e "diverse" condizioni nelle quali il suo prodotto ha inciso in modo importante sullo sviluppo della civiltà contadina.

In Italia l'olivo occupa superfici poste a quote mediamente più elevate e su versanti più acclivi rispetto alla generalità delle altre colture agrarie. Gli oliveti, infatti, sono collocati ad un'altitudine media di 300-400 m ma, in molte aree dell'Italia meridionale e anche centrale, questa coltivazione si spinge fino a 600-800 m e su pendici con oltre il 15% di pendenza.

I risultati produttivi, in termini di qualità e di quantità, dipendono da specifici processi fisiologici quali: efficienza della fotosintesi, trasformazioni biologiche (fioritura e sviluppo del frutto), fenomeni di assorbimento, trasporto e assimilazione degli elementi nutritivi. Tali processi sono determinati, a loro volta, dalle condizioni ambientali quali il regime termico, la

disponibilità di luce e acqua, le caratteristiche chimiche, fisiche ed idrologiche del terreno.

29.2.2. Temperatura

La temperatura dell'aria riveste particolare importanza, poiché è il primo parametro che regola la distribuzione geografica dell'olivo; così, oggi, i limiti termici per il suo sviluppo sono definiti tra il 46° di latitudine Nord e il 35° di latitudine Sud, comprendendo, quindi, sia territori delle regioni del Nord Italia, sia territori in Sudafrica ed Australia. Per quanto non sia sempre agevole isolare gli specifici effetti della temperatura da quelli degli altri fattori climatici, è evidente che la temperatura esercita un'influenza decisiva sulla regolazione di numerosi processi fisiologici quali la traspirazione, la respirazione, la fotosintesi, l'attività enzimatica, la formazione e la degradazione dei diversi composti presenti nel frutto (acidi grassi, polifenoli, clorofilla, ecc.), la divisione e la distensione cellulare. La temperatura agisce, di conseguenza, sulla crescita vegetativa, sulla differenziazione morfologica dei vari organi della pianta (gemme, fiori), sull'allegagione e maturazione dei frutti e quindi, in sostanza, sulla capacità produttiva della pianta. Per l'attività fotosintetica, l'ottimo termico è stato stabilito intorno ai 25-28°C. Quasi tutti i processi metabolici sono alterati con temperature lontane da valori medi inferiori a 5°C o superiori a 35°C. L'olivo, infatti, è sensibile ai freddi invernali e primaverili. La pianta subisce danni alle foglie quando la temperatura scende sotto i -5°C e le branche e l'intera chioma possono essere danneggiate severamente se la temperatura scende sotto a -10°C.

La nostra penisola è periodicamente soggetta a gelate invernali con minime termiche capaci di danneggiare la coltura. Le zone a rischio sono: il Friuli e il Veneto, parte della Liguria e la Romagna, la Toscana, l'Umbria, l'alto Lazio e le Marche. Le due ultime gelate (1956 e 1985) hanno evidenziato che minime termiche (-6°C o -8°C), anche brevi durante il riposo vegetativo, sono sufficienti per causare defogliazioni, lesione alla corteccia e disseccamento dei rami più giovani e persino perdita della produzione dell'anno.

Gli stessi valori di temperatura risultano più dannosi se si verificano alla ripresa vegetativa o in piena vegetazione. Fattori che possono aggravare i danni da basse temperature, sono il ristagno di aria o correnti fredde, mentre, a parità di cultivar, risultano più sensibili gli alberi giovani o molto vecchi. I danni da freddo sono più accentuati nei suoli fortemente idromorfi, quelli cioè che hanno problemi di ristagno idrico: condizioni che si possono verificare sia nei bassi morfologici che nelle parti basse dei versanti, ma anche dove l'intensità e il volume delle piogge supera la permeabilità del suolo.

La gelata provoca forte defogliazione, una più o meno marcata disidratazione dei tessuti corticali con fessurazione della corteccia e formazione di placche necrotiche nelle zone corticali più giovani, con conseguente

disseccamento e morte della chioma (Ferrini, 1996). Nella realizzazione dei nuovi impianti è quindi necessario evitare i suoli molto idromorfi e le zone climatiche dove le esigenze termiche non possono essere soddisfatte, preferendo la “fascia termica” di elezione corrispondente alle zone collinari da 150 a 450 metri s.l.m., preferibilmente con orientamento dei versanti ovest, sud-ovest, meno soggetti ad escursioni termiche.

Gli effetti delle alte temperature si manifestano soprattutto in mancanza di un'adeguata disponibilità idrica e di una ridotta traspirazione. Queste causano l'innalzamento della temperatura superficiale dei vari organi e determinano ustioni a livello fogliare, sul tronco e sulle branche. In ambienti caratterizzati da temperature estive medie giornaliere superiori ai 30°C, lo sviluppo vegetativo della pianta avviene in primavera e in autunno mentre rallenta, fino a fermarsi, in estate. In ambienti più temperati, invece, l'attività vegetativa subisce solo la stasi invernale.

Le condizioni climatiche durante la fioritura sono particolarmente importanti. Secondo alcuni autori, l'*optimum* si realizza con temperature oscillanti quotidianamente tra 2-4°C (minima) e 14-18°C (massima). Un periodo di basse temperature è indispensabile per la formazione del fiore ma, allo stesso tempo, le minime termiche nel periodo invernale rappresentano il principale fattore limitante per la coltivazione di questa specie in climi freddi. Ai fini del completamento del processo di fioritura sono necessarie 10-12 settimane a temperature al di sotto di 12°C. Per questo motivo, in climi tropicali l'olivo vegeta senza mai fiorire. A temperatura costante di 13°C, l'olivo fiorisce abbondantemente, ma con un'elevata incidenza di fiori staminiferi, per cui lo sviluppo dei frutti ne risente e la fruttificazione è insufficiente. Basse temperature nel periodo della fioritura, invece, rallentano lo sviluppo del granulo pollinico all'interno dell'ovario e sovente conducono a ridotta allegagione.

Le gemme vegetative, al contrario di quelle a fiore, hanno minori esigenze termiche in quanto per la loro schiusura e sviluppo non vi è bisogno di un periodo di freddo ma solo di temperature miti (superiori a 18-20°C). La temperatura influisce sulla produttività dell'albero anche attraverso effetti diretti sulla fotosintesi e sulla ripartizione degli assimilati.

Infine, non va trascurato che anche i parametri qualitativi dell'olio, quali la composizione in acidi grassi e contenuto in polifenoli, sono sotto il controllo climatico (Tura et al., 2005). In particolare, il grado di maturazione delle olive è positivamente correlato alla sommatoria termica durante la maturazione. Regimi siccitosi, unitamente ad elevate temperature, riducono l'attività degli enzimi della lipossigenasi, causando la diminuzione dei composti volatili dell'olio.

In ambienti freddi i frutti, benché risultino meno ricchi di olio, forniscono un prodotto di migliore qualità, per la maggiore percentuale di acidi grassi insaturi (oleico, linoleico e linolenico) e per il contenuto negli oli di polifenoli totali. Tuttavia, i freddi invernali precoci, che coincidono con l'ultimo periodo

della maturazione dei frutti, possono danneggiare in modo grave le olive, provocando inconvenienti durante la fase d'estrazione. L'olio acquista il tipico sapore "secco" e, conseguentemente, presenta caratteristiche organolettiche e di conservabilità scadenti.

29.2.3. Luce

La luce, intesa come flusso totale d'energia intercettato dalla chioma, quindi come fenomeno diverso dal fotoperiodo, può influire in diversi modi sulla produzione dell'olivo. È noto che l'azione della luce, necessaria per l'approvvigionamento energetico della pianta, si esprime attraverso l'intensità fotosintetica. La luce è alla base della biosintesi dei carboidrati, della formazione delle clorofille e degli antociani, dell'apertura stomatica, della traspirazione e, indirettamente, anche della disponibilità degli elementi nutritivi. Contemporaneamente, esplica importanti effetti morfogenetici sullo sviluppo dei vari organi, regolando così la crescita vegetativa della pianta e la sua produttività. Infatti, da tempo è conosciuta la relazione diretta tra quantità di luce intercettata dalla chioma, capacità di assimilazione e produzione della pianta.

Nell'olivo i valori massimi di fotosintesi netta variano in funzione del genotipo e delle condizioni ambientali (Gucci, 1998). Tali valori non sono mai elevati a causa della resistenza alla diffusione della CO₂ nel mesofillo dovuta alla caratteristica morfologica degli stomi ed alla tomentosità della foglia (Bongi e Palliotti, 1994). Solo i germogli esposti al sole, per effetto dell'inclinazione e dell'orientamento delle foglie, ricevono un'intensità di luce media pari al livello di saturazione, mentre quelli ombreggiati all'interno della chioma o da alberi adiacenti possono avere per gran parte della giornata un bilancio fotosintetico negativo.

Le zone della chioma meno illuminate presentano marcati effetti morfogenetici (Guerriero e Vitagliano, 1973; Tombesi e Standardi, 1977). In particolare, è stata registrata la riduzione delle dimensioni delle foglie, dell'allungamento del ramo, della percentuale di gemme indotte a fiore, della frequenza di fiori con ovario completamente sviluppato, della percentuale di fiori allegati e della pezzatura dei frutti.

29.2.4. Nutrizione idrica

Circa il 90% dell'olivicoltura mondiale è situata in ambiente mediterraneo. L'olivo, che è una specie adattata al lungo periodo di siccità estiva tipico di questo clima, è in grado di sopravvivere anche con precipitazioni annuali di appena 200 mm, mentre mal sopporta l'asfissia radicale. Il consumo idrico giornaliero di piante in buone condizioni nutrizionali e sanitarie è stato stimato pari a 1-1,2 litri di acqua per m² di superficie fogliare (Gucci, 2003). Inoltre, la

capacitanza (quantità di acqua che i vari tessuti possono cedere dalle loro riserve al flusso traspirativi) dell'olivo è molto elevata e contribuisce così all'abbassamento del contenuto idrico e alla formazione di un elevato gradiente di potenziale tra foglie e radici. Tale gradiente permette alla pianta di assorbire acqua anche quando il potenziale del suolo raggiunge valori di -2,5 MPa (il punto di appassimento di molte specie arboree da frutto si verifica con un potenziale idrico di circa - 1,5 MPa). Tuttavia, se nel periodo primaverile la nutrizione idrica è insufficiente, l'assorbimento dei nutrienti da parte delle radici è notevolmente ridotto provocando un peggioramento della crescita vegetativa della pianta (Xiloyannis et al., 2004). Oltre al limitato accrescimento dei germogli, che compromette la produzione, l'anno seguente si osserva una riduzione della superficie della lamina fogliare (alternanza) con conseguente diminuzione nella produzione degli elaborati.

Problemi di nutrizione idrica compromettono anche il processo riproduttivo: aumenta la frequenza di fiori con ovari abortiti, la produzione di polline è limitata, la germinabilità è in parte danneggiata per cui la pianta realizza una minore allegagione. Quando la carenza idrica perdura per tutta l'estate, la crescita dei frutti diminuisce mentre aumenta la cascola fisiologica.

In condizioni di scarsa disponibilità d'acqua in autunno l'olivo, non potendo accrescere i frutti, accelera il metabolismo della maturazione così che, alla raccolta, le drupe presenteranno un basso rapporto polpa/nocciolo ed una limitata resa in olio. Naturalmente questi fenomeni divengono più gravi nel caso in cui la scarsa disponibilità idrica del terreno interessi gli impianti giovani (Doorenbos et al., 1977).

29.2.5. Vento

Anche il vento, per gli effetti che può esercitare direttamente o in modo indiretto sul metabolismo della pianta, è un "fattore ambientale" importante per la crescita vegetativa e per la produttività dell'olivo. Brezze moderate, specialmente durante l'antesi, favoriscono l'impollinazione anemofila, con ripercussioni positive anche sul fenomeno dell'alternanza di produzione.

Pur essendo molto limitate le informazioni sugli effetti provocati dal vento alla pianta (danni meccanici come rotture di rami e branche, defogliazioni e disseccamenti delle parti esposte, soprattutto a venti marini), un'eccessiva ventosità estiva ed autunnale crea disseccamenti dello stemma, eccessi di traspirazione e raggrinzimento delle drupe. Su questi fenomeni le opinioni sono talvolta discordanti; tuttavia, negli ambienti così caratterizzati, è meglio realizzare impianti ad elevata densità e adottare idonee barriere frangivento.

29.2.6. Grandine e neve

Grandine e neve producono danni essenzialmente di tipo meccanico. La grandine provoca lesioni sugli organi dell'albero e defogliazione: se colpisce il fusto principale e le foglie di piante giovani può causare danni tali da compromettere il successo dell'impianto. Su piante adulte le lesioni sono più facilmente recuperabili ma possono favorire l'insediamento di rogna, altri patogeni e parassiti. Intaccature alle drupe costituiscono danni irreparabili negli impianti di olive da mensa e diminuiscono la qualità dell'olio prodotto, poiché causano nel frutto l'avvio di processi di ossidazione.

Nevicate abbondanti sono eventi meteorici piuttosto rari: possono verificarsi occasionalmente in zone ai limiti altitudinali o settentrionali dell'areale di coltivazione dell'olivo e produrre stiramento dei rami verso il basso e stroncatura delle branche.

29.3. L'albero e il suolo

L'olivo è più tollerante, rispetto alla maggior parte dei fruttiferi, a carenze o eccessi di elementi nutritivi e a substrati pietrosi, aridi e poco fertili. I suoli sui quali cresce e produce generalmente sono meno profondi, più sciolti e con un'alta percentuale di componente litoide (pietrosità e scheletro) rispetto a quelli scelte per le altre colture. La presenza di pietre garantisce migliori condizioni di drenaggio interno e, se di natura calcarea, favorisce la precipitazione dell'acido carbonico e l'ossigenazione del suolo. E' noto, infatti, che la specie mal si adatta a terreni poco drenanti, dove si possono verificare condizioni di asfissia radicale.

29.3.1. Caratteristiche fisiche del suolo

L'olivo ha un'attività radicale prolungata durante tutto l'anno e si adatta bene in terreni privi di strati impermeabili all'aria e all'acqua, ben strutturati e con tessitura tendenzialmente "franca". Queste caratteristiche, che conferiscono sufficientemente permeabilità e alta capacità di ritenzione idrica, assicurano l'intensità di scambi gassosi necessaria a per lo sviluppo delle radici.

Le principali caratteristiche fisiche del suolo che influiscono sullo sviluppo delle radici e sulla crescita della pianta sono: la tessitura, la struttura, la porosità e aerazione, la profondità utile di esplorazione per le radici.

Tessitura, struttura, porosità e aerazione

La tessitura e la struttura agiscono su molte proprietà del suolo indispensabili allo sviluppo della pianta, in particolare: sulla capacità di ritenzione dell'acqua e dei nutrienti, sul movimento dell'acqua, sull'aerazione e sulla lavorabilità.

I suoli franchi e quelli ben strutturati sono permeabili alle radici, all'acqua e all'aria, mentre quelli sabbiosi, sabbioso-franchi e franco-sabbiosi trattengono poco l'acqua e le sostanze nutritive. I suoli argillosi, al contrario, trattengono l'acqua e le sostanze nutritive, ma se poco strutturati sono anche poco permeabili e più difficili da gestire per quanto riguarda le lavorazioni.

In generale i suoli più idonei alla coltivazione dell'olivo in asciutto devono trattenere acqua in proporzione alla piovosità. Al diminuire della quantità d'acqua che il suolo rende disponibile l'olivo per vegetare e produrre adeguatamente ha bisogno di una maggiore piovosità (Palese et al., 1996). Molti suoli coltivati ad olivo in Italia sono evoluti su terrazzi alluvionali o strutturali, dove sono frequenti suoli a profilo caratterizzato da orizzonti con forti contrasti tessiturali. Frequentemente si riscontra un orizzonte con tessitura fina (orizzonte argillico, Bt) sotto un altro con tessitura più grossolana (figura 29.1).



Figura 29.1. Suolo a forte contrasto tessiturale in un oliveto di Santa Margherita Belice (AG).

L'orizzonte argillico, benché aumenti la capacità di ritenzione idrica e nutritiva, può causare problemi di drenaggio e d'aerazione. Nonostante ciò, l'olivo può vegetare bene anche su suoli con un orizzonte sottosuperficiale argilloso purché ben strutturato, con elevata macroporosità e buona

percentuale di pori allungati intercomunicanti. Il tipo di profilo tessiturale è inoltre importante per scegliere gli attrezzi e le lavorazioni più adeguate. Su suoli con profili a contrasto tessiturale è consigliabile evitare lavorazioni profonde, che portano in superficie porzioni di suolo argilloso, dalle caratteristiche fisiche e idrologiche peggiori.

Vi sono anche altri suoli che presentano problemi particolari di lavorazione, sono quelli che formano zolle molto grandi che s'induriscono fortemente in seguito all'aratura, anche se questa è stata eseguita in condizioni di non elevata umidità (suoli tendenti all'”*hardsetting*” (figura 29.2). Il passaggio dell'aria nei pori del terreno assicura la respirazione delle radici e dei microrganismi del suolo. Questa situazione favorevole allo sviluppo delle radici può divenire pregiudiziale se i pori del terreno sono scarsi o occupati dall'acqua (asfissia radicale).



Figura 29.2. Suolo con problemi di “hardsetting” in un oliveto vicino a Menfi (AG).

L'olivo è una specie sensibile all'asfissia radicale e la sensibilità varia secondo la cultivar (Navarro e Parra, 2001): Frantoio, Leccino e Mignolo Cerretano si sono dimostrate meno sensibili (Corti e Cuniglio, 2000) per la loro capacità di formare radici più vicine alla superficie del terreno. La resistenza della pianta dipende anche dall'età: alberi giovani, caratterizzati da un accrescimento molto attivo, possono non sopravvivere anche dopo pochi giorni (3 - 4) di permanenza delle radici sott'acqua.

Condizioni di terreno saturo d'acqua possono verificarsi in inverno o in primavera per le abbondanti piogge (figura 29.3), o nei terreni dove si concentra l'acqua di scorrimento superficiale (fondivalle, depressioni), che sono quindi inadatte per la coltivazione dell'olivo.



Figura 29.3. Ristagno idrico invernale in un oliveto posto in località Gorgi (AG).

Una caratteristica del suolo che induce la saturazione di acqua è la presenza di un orizzonte sottosuperficiale scarsamente permeabile e caratterizzato da un insufficiente drenaggio interno. Nei periodi di pioggia intensa, l'acqua, non percolando negli orizzonti sottostanti, impedisce l'aerazione del terreno. Il suolo rimane saturo anche molto tempo dopo che le piogge sono terminate e si ha la formazione di una falda idrica sospesa. In questi casi sono presenti le "screziature", figure pedogenetiche d'ossidazione di colore nerastro, giallo-rossastro o rosso, associate a chiazze di suolo di colore grigiastro, caratteristiche di suoli che presentano problemi di drenaggio (figura 29.4). Le radici non si sviluppano dove l'aerazione è limitata e sono prodotte ed accumulate sostanze tossiche per la pianta.

D'altra parte, in condizioni di carenza idrica l'olivo attua il blocco della crescita aerea, ma non dell'apparato radicale, modificando così il rapporto radici/chiuma a favore delle radici, limitando soprattutto lo sviluppo dell'area fogliare e consentendo il mantenimento di un apparato radicale funzionante (Nuzzo et al., 1995).



Figura 29.4. Idromorfia sottosuperficiale in un oliveto sito in località Trequanda (SI).

In caso di falda superficiale anche la colonizzazione delle radici diventa superficiale poiché la saturazione del terreno crea un ambiente asfittico. Ciò spiega la necessità, in simili situazioni agronomiche, di intervenire con un razionale drenaggio per eliminare l'eccesso di umidità e per ottimizzare lo stato di ossigenazione del suolo. Suoli con falda idrica più superficiale di un metro sono, in ogni caso, da evitare.

Profondità utile per le radici

La parte di suolo effettivamente disponibile per l'esplorazione delle radici è una caratteristica fondamentale perché è da questo volume di terreno che la pianta ottiene l'acqua e i nutrienti. La differente natura pedologica delle terre e la diversa disponibilità di nutrienti (acqua ed ossigeno compresi) fanno sì che le radici si accrescano nel suolo seguendo modelli molto distinti, raggiungendo gradi diversi di specializzazione e di sviluppo. La radice, infatti, è notevolmente plastica nella risposta ai diversi stati nutritivi del terreno e la massa assorbente necessaria alla pianta risulta inversamente proporzionale alla fertilità del suolo.

Quando occupa terreni poveri o non sufficientemente fertili, la radice si ramifica costantemente ed in modo intensivo, tanto che la massa radicale supera quella aerea. In suoli fertili invece, l'apparato radicale, non avendo necessità di

svilupparsi eccessivamente, raggiunge una massa assorbente prossima alla metà del volume della parte aerea.

Per quanto riguarda l'effetto del contenuto di alcuni elementi nel terreno sullo sviluppo e la crescita dell'apparato radicale, è stato evidenziato che azoto e fosforo stimolano lo sviluppo, il potassio non mostra effetti particolari, mentre carenze di calcio nei profili più profondi del suolo inibiscono l'estensione delle radici primarie (Coutts e Philipson, 1980). Una buona dotazione di sostanza organica nel suolo agisce positivamente sulla crescita dell'apparato radicale, perché riduce la resistenza del terreno alla penetrazione delle radici ed aumenta la capacità di ritenzione dell'acqua.

La maggior parte delle radici dell'olivo, sebbene in modo non uniforme, esplora lo strato di terreno compreso tra 15 e 20 cm (per lo più si tratta di radici avventizie originatesi dalle iperplasie del pedale) e tra 60 e 100 cm di profondità. Per questo motivo un metro di profondità utile per le radici è di norma sufficiente per il normale accrescimento radicale, mentre può risultare insufficiente in suoli ricchi di scheletro e pietrosità o dove orizzonti addensati limitino la penetrazione delle radici. Tipici orizzonti addensati sono i fragipan, le plintiti e gli orizzonti ferrici. Per convenzione, un orizzonte che abbia una radicabilità inferiore al 30% è considerato impenetrabile.

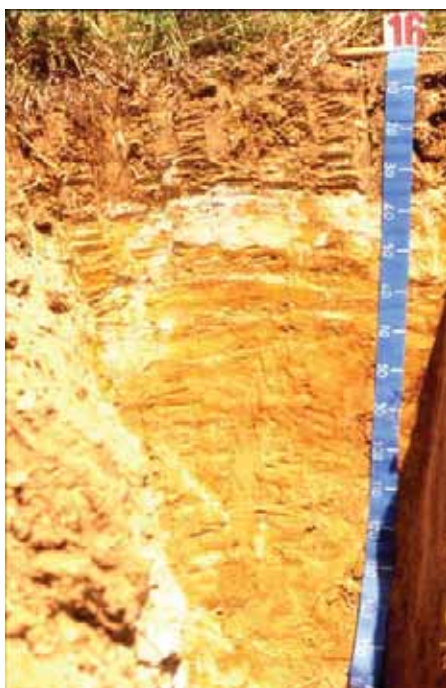


Figura 29.5. Orizzonte calcico sotto superficiale di colore biancastro in un oliveto di San Gimignano (SI).

Altri orizzonti che limitano l'approfondimento radicale sono quelli ricchi di sali, tra i quali gli orizzonti calcici sono i più diffusi in tutta Italia, ma specialmente nel centro e sud, su litologie carbonatiche e in morfologie pianeggianti (figura 29.5).

Anche la presenza di un substrato roccioso continuo e coerente, come accade in zone di collina a forte pendenza, influisce sulla profondità utile per le radici (figura 29.6).



Figura 29.6. Impedimento radicale per roccia superficiale in un oliveto a San Quirico d'Orcia (SI).

Oltre alla roccia, vi possono essere anche orizzonti induriti pedogeneticamente che impediscono l'approfondimento radicale. Si tratta degli orizzonti di accumulo di sali, in particolare gli orizzonti petrocalcici (figura 29.7), particolarmente diffusi nelle regioni meridionali e insulari, e gli orizzonti petroferri, presenti in alcuni paleosuoli. Una severa limitazione per le radici dell'olivo è anche rappresentata dalla presenza di orizzonti vertici, di argille cioè dinamiche, che crepacciano in estate e si comprimono in inverno.

I movimenti vertici, soprattutto negli ambienti mediterranei, caratterizzati da un forte contrasto stagionale, sono capaci di rompere le radici delle piante arboree che, come gli olivi, hanno un apparato radicale vasto e approfondito (figura 29.8).

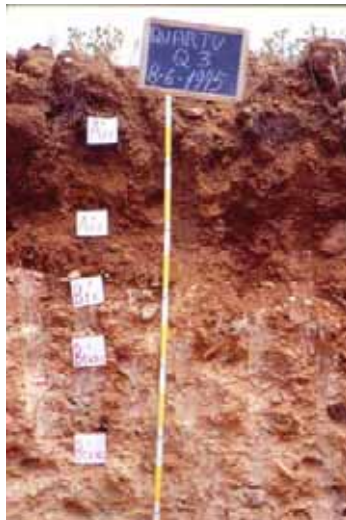


Figura 29.7. Impedimento radicale per orizzonte petrocalcico sotto superficiale (Btkm) in un suolo di Quartu (CA).



Figura 29.8. Danni evidenti alla vegetazione arborea causati dai fenomeni vertici di un suolo di Mustigarufi (CL).

29.3.2. Caratteristiche chimiche e biologiche

L'olivo richiede la disponibilità nel terreno d'elementi essenziali per completare tutte le attività metaboliche responsabili della crescita e del ciclo produttivo; in particolare di azoto, potassio, fosforo, calcio, magnesio, ferro e boro. All'interno della pianta, ciascuno di questi elementi svolge una ben precisa funzione che non è mai indipendente, ma sempre collegata in modo sinergico o antagonistico a quella svolta dagli altri nutrienti.

Oltre agli elementi della fertilità, le caratteristiche chimiche del terreno che devono essere considerate per la valutazione dei suoli sono: il pH, la salinità, l'eccesso di sodio e la possibile tossicità per boro e cloruri.

Azoto

È il nutriente inorganico a cui l'olivo risponde con maggiore rapidità ed è il più importante perché migliora l'attività vegetativa e riproduttiva della pianta, limitando fenomeni indesiderati di alternanza di produzione. L'azoto stimola l'accrescimento sostenendo la produzione di nuovi germogli, controlla con il fosforo la dominanza apicale; facilita i processi d'allegagione dei fiori e di sviluppo dei frutti. Inoltre, è componente della clorofilla e ne aumenta la quantità nelle foglie, favorendo così l'assimilazione degli altri elementi. L'assorbimento di azoto è strettamente connesso alle disponibilità idriche del suolo. In primavera, la precoce traslocazione d'azoto verso le gemme è fondamentale per favorirne la schiusura e per assistere alla prima fase di formazione della nuova vegetazione. La carenza di azoto limita la crescita, soprattutto delle foglie e dei frutti e, allo stesso tempo, si associa ad un ridotto trasferimento delle sostanze nutritive verso questi organi e ad un aumento del trasporto verso le radici. Una nutrizione azotata molto abbondante però può favorire l'attacco di agenti patogeni, quali quelli responsabili della fumaggine.

Potassio

È l'elemento della produttività e della maturazione dei frutti. Presente nei centri di più intensa attività biologica, il potassio è basilare nei fenomeni connessi al metabolismo idrico della pianta, accentuandone la resistenza alla siccità ed alle malattie fungine. Il potassio favorisce la sintesi degli zuccheri, il loro accumulo sotto forma d'amido e la formazione dei grassi (lipogenesi), aumentando la resa in olio delle olive. Nel corso della maturazione tale nutriente neutralizza gli acidi uronici formati dalla degradazione delle protopectine e controlla le attività enzimatiche che regolano la sintesi degli amminoacidi e degli acidi fenolici. Il potassio è l'elemento che mostra nell'olivo la maggiore mobilità, tant'è che difficilmente è presente a livelli costanti nella pianta durante il ciclo stagionale. Un limitato contenuto di potassio nelle foglie, se legato a bassi valori di fenoli, riduce il processo di fioritura (Gonzales et al.,

1976). Il livello di potassio nelle foglie, in genere, è inversamente proporzionale a quello di calcio e magnesio. Viceversa, un'eccessiva disponibilità di potassio nel suolo si traduce, normalmente, in una maggiore difficoltà nell'assorbimento del magnesio.

Fosforo

È il componente essenziale di enzimi e proteine e svolge un ruolo di primaria importanza nel processo di divisione cellulare e di sviluppo dei tessuti meristemati. Riguardo all'influenza del fosforo sulla produttività dell'olivo, sembra che questo nutriente favorisca i fenomeni legati alla fioritura, all'allegagione ed ai processi metabolici che accelerano la maturazione dei frutti (Hartmann et al., 1966). Il consumo di fosforo non è eccessivo e, nel corso dell'anno, il suo livello nelle foglie non subisce sensibili variazioni. Generalmente, è raro che nei terreni coltivati ad olivo si verifichino carenze di fosforo, tuttavia questo elemento può essere bloccato e reso indisponibile dal calcio, dagli ossidi di ferro e alluminio, e dai composti a basso grado cristallino, particolarmente diffusi in molti suoli vulcanici.

Calcio

Tra le specie arboree da frutto, l'olivo è la pianta più sensibile alle carenze di calcio. La sua funzione principale è collegata alla resistenza meccanica dei tessuti. Nella pianta la concentrazione di calcio è inversamente proporzionale a quella del potassio: ad alte percentuali di calcio sono state rilevate basse percentuali di potassio nelle foglie delle cultivar: Frantoio, Ascolana, Coratina (Crescimanno et al., 1975). La sua valutazione è importante soprattutto nei terreni acidi o neutri che non contengono calcare. Tra calcio e magnesio è stata accertata una correlazione diretta: nel caso in cui si verifichi un rapporto Ca/Mg anormale (inferiore a valori di 0,9-1,0); nella pianta si instaura una particolare tossicità da magnesio, fenomeno che non si verifica mai se il rapporto si aggira intorno a 2. Valori anormali del rapporto Ca/Mg si possono riscontrare in suoli formati su rocce verdi (ofioliti) ma anche in sedimenti colluviali e alluvionali che provengono da queste rocce. Anche in alcuni paleosuoli molto lisciviati si possono avere accumuli residuali di magnesio e carenza di calcio, il quale è assorbito dalle piante in modo preferenziale rispetto al magnesio.

Magnesio

Il magnesio fa parte dei costituenti la clorofilla, interviene nei processi di sintesi dell'RNA ed è un attivatore di molti enzimi; sono comunque rari i casi di carenza di magnesio nei terreni in cui sono coltivati per la maggior parte gli oliveti italiani. Possono tuttavia verificarsi fenomeni di carenza di magnesio nelle foglie per dilavamento dei terreni particolarmente sciolti, per pH subacido

o per quei suoli con elevate concentrazioni di potassio tali da limitare l'assorbimento radicale di magnesio.

Boro

Elemento importante per l'olivo, il boro interviene nel metabolismo dei carboidrati, attiva sistemi enzimatici e funzioni ormonali, favorisce la sintesi dei flavonoidi, delle basi pirimidiniche (DNA e RNA) e il trasporto degli zuccheri attraverso il floema. Carenze di boro possono manifestarsi in terreni calcarei, ricchi di argilla, con pH elevati e in condizioni di stress idrico. In situazioni di carenza di boro, tra maggio e giugno, la pianta manifesta una vistosa diminuzione della fioritura e dell'allegagione, cui segue un'intensa cascola estiva dei frutticini determinando così una scarsa produzione (Cimato et al., 2002).

Ferro

Il ferro contribuisce al corretto svolgimento della fotosintesi, incidendo sulla formazione della superficie fotosintetizzante e quindi sul ciclo di fruttificazione. Nei terreni calcarei si può manifestare una fisiopatia nutrizionale, la clorosi ferrica, dovuta al mancato assorbimento del ferro nella sua forma ridotta (Fe^{2+}) e facilmente assimilabile dalla pianta. In Italia, l'olivo raramente è affetto da tale fisiopatia. Tale fenomeno è invece presente negli oliveti della Andalusia dove compromette gravemente il buon esito produttivo.

Di seguito, si riportano i principali caratteri chimici dei suoli rilevati in zone d'eccellenza per la coltivazione dell'olivo (tabella 29.1).

Sostanza organica

Come in tutte le colture arboree, anche nell'olivo il ruolo svolto dalla sostanza organica è insostituibile nel fornire composti nutritivi organici ed inorganici (N, K, P, Ca, Mg, ecc.) e nel migliorare le caratteristiche fisiche del terreno. Dalla mineralizzazione della sostanza organica nel terreno si ha un graduale rilascio di azoto che è così meno soggetto a perdite per dilavamento e rimane a disposizione della pianta per un intervallo di tempo più lungo. Altre funzioni indirette delle sostanze umiche sono mostrate dalle proprietà chelanti di molti gruppi funzionali (carbossilici, carbonilici, ammidici) che contribuiscono a preservare i microelementi dai fenomeni d'insolubilizzazione. La sostanza organica facilita, inoltre, l'aumento della capacità di scambio cationico nel terreno grazie ad un aumento di siti con cariche negative in grado di adsorbire i cationi, permettendo così ad una maggiore quantità d'elementi minerali di permanere più a lungo nella zona radicale e quindi a disposizione della pianta. La sostanza organica partecipa anche alla formazione della struttura del suolo. Favorisce la presenza d'aggregati che riducono la plasticità e la tenacità e aumentano la permeabilità dei terreni argillosi e la capacità di trattenuta idrica

di quelli sabbiosi. In questi ultimi, anche solo un basso contenuto di sostanza organica è spesso in grado di accrescere notevolmente la stabilità strutturale. Nei suoli ricchi di limo, infine, l'aggregazione fra le particelle riduce il rischio di formazione di croste superficiali e di orizzonti compatti sottosuperficiali, a cui questi suoli sono particolarmente soggetti.

Tabella 29.1.Valori di macro e micro elementi in suoli con buone caratteristiche produttive.

ELEMENTO	VALORI
Azoto totale	1,0-1,5 g kg ⁻¹ (Lazio) ¹
	>0,10% (Andalusia) ²
	0,80-1,22% (Basilicata) ³
	0,06-0,12% (Toscana) ⁴
K scambiabile	terreni a tessitura grossolana 30-100 ppm; tessitura media 175-300 ppm; terreni tessitura fine 300-500 ppm (Andalusia) ⁵
	50-155 ppm (Siena) ⁶
	218-480 ppm (Basilicata) ³
	128-344 ppm (Firenze, Grosseto, Livorno) ⁴
Fosforo assimilabile	50-100 ppm (Sardegna) ⁷
	12-23 ppm (Basilicata) ³
	8-25 ppm (Andalusia) ²
	8-45,8 ppm (Firenze, Grosseto, Livorno) ⁴
Calcare attivo	2,9-7,4% (Basilicata) ³
	20-50% (Lazio) ¹
	0-1,4% (Firenze, Grosseto, Livorno) ⁴
	terreni a tessitura grossolana 500-800 ppm, terreni a tessitura media 600-2400, terreni tessitura fine 3000-4000 (Andalusia) ²
Magnesio scambiabile	116-263 ppm (Basilicata)
	terreni a tessitura grossolana: 25-60 ppm, tessitura a media 80-180, terreni a tessitura fine 120-300 (Andalusia) ²
Ferro scambiabile	20-150 ppm (Andalusia) ⁵

¹Tittarelli et al., 2002; ²Troncoso, 1998; ³Lacertosa et al., 1998; ⁴Toma, 1999; ⁵Navarro e Parra, 2001; ⁶Costantini et al., 2006b; ⁷Bandino et al., 1994.

pH

È generalmente dimostrato che l'olivo trova il suo *optimum* in terreni con valori di pH compresi fra 6,8 e 7,5 ed anche che questa pianta può continuare a vegetare in un intervallo più ampio (5,5-8,5). L'olivo, infatti, non è una specie

calciofila obbligata in quanto è in grado di prosperare anche su suoli neutri e subacidi. In Toscana, l'olivo è presente sia in terreni alcalini e ricchi di calcare (Costantini et al., 2006b) sia in terreni neutri e subacidi, come quelli delle colline e pendici montuose del Pesciatino costituiti in prevalenza da arenaria. In Calabria, l'olivo cresce spesso su terreni a reazione acida; in Sardegna è presente tanto in terreni granitici della Gallura come su quelli calcarei della Planargia. L'olivo possiede, infatti, rispetto al calcare, una notevole adattabilità in dipendenza di altri fattori, soprattutto climatici e pedoclimatici, fra i quali il contenuto di acqua nel suolo.

Con valori estremi di pH permane, comunque, il rischio di andare incontro a problemi di tossicità o carenza su terreni fortemente acidi ($\text{pH} < 5,1$) e fortemente alcalini ($\text{pH} > 8,4$). Nei primi, infatti, possono liberarsi nella soluzione circolante ioni tossici, come alluminio e manganese; nei terreni fortemente alcalini possono essere immobilizzati macro e micro elementi importanti per lo sviluppo della pianta.

Salinità

Tutti i suoli contengono una certa quantità di sali solubili; se la loro concentrazione è alta, le piante hanno problemi di assorbimento di acqua e, contemporaneamente, possono incorrere in danni causati da tossicità di specifici ioni (Cresti et al., 1994). La salinità del suolo si esprime attraverso la conducibilità elettrica (EC). L'olivo resiste alla salinità più di altri fruttiferi. Normalmente un suolo è considerato salino se la EC è maggiore di 1 o 2 dS m^{-1} ma si stima che l'olivo è in grado di produrre anche a valori superiori, sebbene la produzione di olio diminuisce in maniera significativa (Vega et al., 2001). È meglio, quindi, evitare di realizzare nuovi impianti in suoli caratterizzati da fenomeni di salinità.

L'eccesso di salinità può essere determinato dal materiale d'origine del suolo ma anche dall'acqua d'irrigazione. Per evitare che si verifichi quest'ultimo caso, è indispensabile effettuare le analisi dell'acqua o, comunque, adeguare le dosi irrigue alle caratteristiche chimico-fisiche del terreno.

Sebbene non sia consigliata, la gestione di terreni con problemi di salinità può essere affrontata anche attraverso una scelta adeguata delle varietà. La letteratura segnala notevoli differenze varietali nel grado di resistenza dell'olivo a situazioni di salinità. Cultivar mediamente resistenti sono: Frantoio, Coratina, Carolea, Maurino e Moraiolo, mentre le piante di Leccino sono da considerarsi sensibili (Gucci e Tattini, 1997; Dettori et al., 1999).

Tossicità per boro, cloro e magnesio

Il boro e il cloro sono necessari al corretto sviluppo dell'olivo, anche se in dosi molto ridotte, mentre un eccesso di questi due elementi può causare situazioni di tossicità. Il limite di tossicità dell'olivo ai cloruri, associato ad una riduzione

della produzione del 10%, oscilla fra 10 e 15 mmoli per litro, mentre il limite per il boro é di 2 ppm. Come per la salinità anche in questo caso la tossicità può derivare da acque d'irrigazione o, per il boro, da somministrazioni elevate alla pianta. Tossicità da eccesso di magnesio possono riscontrarsi nei suoli formati su rocce verdi (rocce ofiolitiche); in questi suoli si possono riscontrare anche eccedenze di altri elementi ed in particolari di metalli come cromo e zinco.

Componente microbica

Nella rizosfera (zona di contatto fra le radici ed il suolo) sono presenti popolazioni microbiche che instaurano con le radici della pianta molteplici tipi d'interazioni simbiotiche. Le simbiosi influenzano numerosi aspetti della fisiologia della pianta, quali la nutrizione minerale, lo sviluppo e la protezione della pianta, oltre ad avere influenza indiretta sulla stabilizzazione degli aggregati strutturali del suolo, attraverso l'accumulo delle sostanze umiche. Sull'olivo, l'inoculo con associazioni arbuscolari micorriziche (AM) ha comportato il miglioramento dell'assorbimento dei nutrienti, l'aumento della resistenza ai patogeni fungini e della tolleranza agli stress biotici e abiotici (Barea et al., 2000).

29.3.3. Erosione idrica

Molti olivi sono situati in zone soggette a rischio d'erosione idrica elevato. A parità di copertura vegetale, tipo di coltivazione e pratiche di gestione conservativa del suolo, l'erosione aumenta all'aumentare della pendenza, della massima lunghezza dell'appezzamento e dell'erodibilità del suolo. Questa ultima caratteristica dipende principalmente dal tipo e dalla stabilità strutturale del suolo, dal suo contenuto di sostanza organica, dalla permeabilità e dalla tessitura.

Forti pendenze del terreno, scarsità di sostanza organica nel suolo, pratiche colturali che normalmente lasciano scoperta la superficie nel periodo di piogge più intense hanno causato gravi danni in molte zone olivicole italiane. L'erosione idrica del suolo determina, infatti, la perdita della parte più fertile del terreno, poiché elimina le particelle di terra più fini e ricche di nutrienti. Il controllo dell'erosione non è una pratica semplice da attuare: con pendenze modeste, inferiori al 14%, il fenomeno può essere controllato attraverso la corretta gestione delle lavorazioni. Con pendenze maggiori, la conservazione del suolo richiede un disegno di impianto particolare, quale, per esempio "a cavalcappoggio", "girapoggio" oppure la costruzione di terrazze, gradoni raccordati, ciglioni o lunette.

29.3.4. Assorbimento degli ioni

L'assorbimento degli ioni dalla pianta non è affidato esclusivamente alla radice. L'olivo, infatti, è in grado di ricevere nutrienti anche attraverso organi epigei quali: branche, rami e, soprattutto, foglie. I meccanismi che consentono agli elementi nutritivi di raggiungere la superficie delle radici sono due: convezione e diffusione. Il primo (convezione), è conseguenza della percolazione dell'acqua attraverso il terreno e del movimento indotto dalla traspirazione della pianta che opera un effetto di pompa aspirante. Tale meccanismo può essere inadeguato a soddisfare le esigenze della pianta poiché le concentrazioni della soluzione circolante sono inferiori alle quantità di elementi richiesti. S'innesci, di conseguenza, il secondo tipo di flusso (diffusione) per effetto di un gradiente di concentrazione tra le soluzioni esaurite delle zone di suolo a contatto con le radici e le soluzioni circostanti che tendono a ripristinare la concentrazione.

Per alcuni ioni (ad esempio, calcio e magnesio), il movimento è dominato dalla convezione; pertanto, questi elementi primari devono essere presenti nella soluzione del terreno a concentrazioni relativamente elevate e non devono interagire con il complesso di scambio del terreno. Viceversa, per altri ioni (fosforo, potassio, boro, ferro, zinco, manganese e cloro) il movimento è principalmente controllato dalla diffusione. Il rifornimento d'azoto è dovuto ad entrambi i processi, per le diverse forme che questo assume durante la trasformazione della sostanza organica nel suolo.

L'assorbimento degli ioni nutritivi è regolato dai rapporti di sinergia e antagonismo che s'instaurano tra gli stessi nutrienti ed avviene a velocità differenti: è maggiore per lo ione nitrico che per il fosforo e per il potassio rispetto al calcio; l'antagonismo che associa, ad esempio, il potassio al magnesio, fa sì che l'eccesso di uno di questi due elementi riduce l'assorbimento dell'altro, e viceversa.

Anche le condizioni ambientali che modificano la domanda traspirativa della pianta influiscono sull'assorbimento: basse umidità relative dell'aria, quali quelle che avvengono nelle terre più aride e ventilate, lontane dal mare, riducono l'assorbimento del potassio ma non quello del calcio, per cui nei tessuti aumenta il rapporto Ca/K. L'assorbimento del calcio e del potassio è ridotto anche quando l'intensità luminosa è bassa. Infine, un pedoclima reso particolarmente asciutto dalla siccità, o anche da eccessive erpicature estive, favorisce l'assorbimento di un elemento rispetto ad un altro. In tale situazione, la radice trova migliori condizioni in profondità dove, tra l'altro, la temperatura è più bassa e l'assorbimento sarà maggiore per il calcio rispetto al potassio.

Di seguito, sono riportate alcune informazioni che riguardano l'assorbimento dei macro e micro nutrienti.

Azoto

Le sostanze azotate giungono a contatto con le radici per diffusione e sono assorbite come ione nitrato (NO_3^-) e come ione ammonio (NH_4^+). Nell'olivo, l'assorbimento dello ione nitrato è ridotto ed è di tipo attivo, richiedendo alla pianta un dispendio energetico a carico dei prodotti fotosintetici. Se la disponibilità d'energia non costituisce fattore limitante, la pianta tende ad assorbire il nitrato in quantità superiori al suo fabbisogno. L'assimilazione dell'elemento dipende sia dalla sua quantità relativa nella soluzione del terreno (concentrazione), sia dalla presenza di ioni calcio e potassio (azione positiva) e azoto ammoniacale (azione inibitrice). La forma ammoniacale è, invece, assorbita con un processo passivo di diffusione e con una minore richiesta energetica. Il principale fattore che regola l'assorbimento dello ione ammonio è costituito dalla sua concentrazione nella soluzione del suolo.

Potassio

L'assorbimento del potassio, come ione K^+ , avviene principalmente per diffusione ed è pertanto strettamente collegato al regime idrico del terreno. Deficit idrici anche modesti possono comprometterne notevolmente l'assorbimento. Più degli altri nutrienti, il potassio ha limitata mobilità nel terreno ma è facilmente traslocabile nell'ambito della pianta. Dopo la lignificazione del nocciolo, le drupe richiedono quantità sempre maggiori di potassio che è prontamente traslocato dalle foglie (Ortega Nieto, 1969).

Fosforo

Il fosforo è assorbito come ione fosfato (HPO_3^{2-} ; HPO_4^{2-}). La disponibilità e l'assorbimento dipendono sostanzialmente dal pH del terreno e dalla presenza di altri ioni e ciò, tenuto conto della sua scarsa mobilità nel suolo, assume notevole importanza. Una elevata disponibilità d'azoto come ione nitrato (NO_3^-) riduce l'assorbimento di fosforo, mentre l'assorbimento dell'azoto nella forma ammoniacale (NH_4^+) è favorito nei suoli a pH neutro od alcalino. La presenza di micorrize sembra avere un notevole effetto positivo sull'assorbimento del fosforo.

Calcio

Per l'assorbimento del calcio, che avviene come ione Ca^{2+} , è fondamentale un regime idrico costante nel suolo. Carenze idriche agiscono negativamente sull'assorbimento di questo nutriente.

Magnesio

L'assorbimento del magnesio avviene come ione Mg^{2+} . Ad elevate concentrazioni il magnesio entra in competizione con il calcio, sia per l'assorbimento, sia per la traslocazione; viceversa, in condizioni di carenza, il magnesio favorisce l'assorbimento del calcio.

Boro

È assorbito come acido borico indissociato (H_3BO_3). Favorisce il passaggio del calcio dal suolo alla pianta. Anche per il boro, così come per il calcio, il regime idrico è importante; la scarsità idrica riduce l'assorbimento e provoca stati di carenza (Demetriades, 1968). Il boro si accumula nelle foglie vecchie e non è ritraslocato, perciò deve essere sempre assicurato il rifornimento dal suolo.

Ferro

È assorbito dalla radice come ione inorganico Fe^{2+} (ferroso), ma anche Fe^{3+} (ferrico). Nei suoli sub-alcasini le radici hanno difficoltà a trovare lo ione ferroso in quanto tende ad ossidarsi ed a precipitare sotto forma di idrossidi. Il ferro è uno dei micronutrienti maggiormente richiesti dalla pianta, ma la tendenza a formare nel terreno composti insolubili di vario tipo può ridurre la sua effettiva disponibilità.

Altri elementi assorbiti direttamente come ioni dalla soluzione circolante del terreno sono: silicio, sodio, zolfo, manganese, cloro, rame, zinco e molibdeno.

29.3.5. Assorbimento dell'acqua

Le piante arboree hanno efficienti meccanismi per l'assorbimento e per il movimento endogeno dell'acqua. Esse, infatti, disponendo di nutrizione primaria gassosa (fotosintesi e fotorespirazione), sono dotate di un sistema per lo scambio dei gas che provoca, attraverso le foglie, i frutti e le radici, una perdita d'acqua per traspirazione che è continuamente reintegrata dall'assorbimento radicale. Accanto a quelli di natura ambientale (temperatura, stato idrometrico dell'aria, ventilazione, illuminazione e livello di disponibilità idrica del suolo), il più importante fattore che condiziona il meccanismo della traspirazione è la domanda metabolica. La pianta assume nutrienti ed acqua per rispondere a specifiche richieste di sviluppo vegetativo, in relazione al rinnovamento della chioma e alla crescita dei frutti.

L'assunzione dell'acqua avviene in virtù di due meccanismi successivi: rispettivamente "attivo" e "passivo". Il primo sopraggiunge in condizioni d'elevata disponibilità idrica nel terreno e si realizza quando la pianta ha una bassa intensità traspiratoria. In questo stato, l'assorbimento è garantito dal gradiente osmotico che si crea tra terreno e cellule radicali. Tale meccanismo assicura la diffusione dell'acqua assorbita fino al sistema conduttore principale (vasi). Durante la fase dell'assorbimento "attivo", che coincide con la ripresa dell'attività vegetativa (germogliamento), si stabilisce una vera e propria pressione radicale che raggiunge valori elevati (10-12 atmosfere) e contribuisce anche all'ascesa dell'acqua attraverso il sistema conduttore della pianta. Non appena la traspirazione aumenta d'intensità, all'assorbimento "attivo" succede quello "passivo", che predomina nel bilancio idrico della pianta: l'acqua si

sposta in senso ascensionale lungo il fusto, richiamata dalla tensione prodotta dalla perdita d'acqua delle foglie (traspirazione).

29.4. Progettazione e realizzazione dell'oliveto

In fase di progettazione d'impianto di un nuovo oliveto occorre valutare la vocazionalità pedologica del sito prescelto, intendendo come "vocato" un ambito territoriale in cui vi è una buona probabilità di incontrare suoli che producono per la maggior parte degli anni in modo soddisfacente, con un buon risultato qualitativo, senza necessità di interventi agrotecnici particolarmente onerosi e senza rischio geomorfologico e pregiudizio per la conservazione del suolo. Un valido strumento per tale valutazione è rappresentato dall'uso delle carte d'attitudine dei suoli e dalle analisi geopedologiche del terreno. Di seguito si riportano alcuni aspetti agronomici relativi alle tecniche d'impianto e di gestione dell'oliveto, dove la conoscenza dei suoli assume particolare rilievo.

29.4.1. Decespugliamento e spietramento

Consiste nel liberare il terreno dai residui vegetali delle colture precedenti, comprendendo l'estirpazione di apparati radicali di piante arboree o di arbusti e siepi presenti nell'appezzamento. Nel caso del reimpianto è necessario estirpare i vecchi olivi facendo attenzione a rimuovere le radici e a mettere allo scoperto zone invase dai parassiti insediatisi su residui delle vecchie piante. Suoli che presentano caratteri sfavorevoli all'olivicoltura, quali bassa permeabilità, idromorfia, forte acidità, possono subire più di frequente l'attacco di parassiti radicali.

La pratica dello spietramento è stata spesso condotta in modo eccessivo. La presenza di pietre, infatti, è un fattore molto limitante soprattutto in un'olivicoltura manuale, con raccolta d'olive da terra. Nell'olivicoltura meccanizzata, invece, considerando anche la progressiva diffusione della pratica dell'inerbimento, la presenza di pietre costituisce più spesso un vantaggio che un limite. Questo per la protezione del suolo contro l'erosione superficiale, per la conservazione dell'acqua nel suolo, per il miglioramento del drenaggio, per la regolazione termica, per il rifornimento di elementi minerali. Solo dove le pietre hanno diametro superiore a 25 cm, la presenza di terra fine è davvero molto bassa (suoli scheletrici) o i suoli hanno spessore limitato (suoli litici) e la loro presenza può essere dannosa (Costantini, 1985).

29.4.2. Livellamento

Negli ambienti collinari la realizzazione di nuovi impianti specializzati è comunemente preceduta da operazioni di livellamento e di regolarizzazione dei

versanti. È importante eseguire il modellamento superficiale del terreno con la eliminazione degli avvallamenti e dei dossi in modo da garantire alle macchine la possibilità di circolare senza ostacoli. Tale intervento deve inoltre assicurare la realizzazione di appezzamenti dalle dimensioni ottimali per eliminare i tempi morti nell'esecuzione delle tecniche colturali. Tuttavia, queste operazioni, finalizzate all'ottenimento di superfici ampie e dalla pendenza uniforme, devono essere condotte con particolare attenzione e impegno. Ciò per evitare che durante la stagione delle piogge, lungo i versanti, si possano provocare movimenti e redistribuzione di enormi quantità di suolo che accelerano imponenti fenomeni di erosione (figura 29.9). Tali fenomeni possono causare l'affioramento di substrati non pedogenizzati e quindi dalle caratteristiche molto limitanti per la coltivazione dell'olivo (figura 29.10).



Figura 29.9. Erosione idrica per burronamento (gully) in versante livellato eccessivamente a San Gimignano (SI).

Il problema può essere risolto accantonando lo strato fertile del terreno per poi ridistribuirlo in superficie a livellamento avvenuto. Tuttavia, in fase di livellamento è consigliabile evitare l'asportazione completa dell'orizzonte sottosuperficiale del suolo (orizzonte B) e conformare i campi alla morfologia del terreno in modo da limitarne la lunghezza dell'appezzamento lungo la massima pendenza (figura 29.11).



Figura 29.10. Affioramento di substrato non pedogenizzato in un suolo di San Gimignano (SI). Il terreno, originariamente a seminativo arborato con olivi, è rimasto privo di vegetazione per circa cinque anni. Dopo ripetuti interventi di semina di leguminose e sovescio, è stato realizzato un vigneto specializzato.



Figura 29.11. Oliveti realizzati a Montepulciano (SI) adattando i campi alla morfologia ed evitando eccessivi movimenti di terra.

29.4.3. Sistemazioni idraulico-agrarie

Com'è noto, le sistemazioni idraulico-agrarie devono perseguire l'obiettivo di limitare il rischio di frane, smottamenti e fenomeni d'erosione superficiale, nonché assicurare un rapido allontanamento delle acque in eccesso. Oltre alle fognature nei punti d'impluvio e ai fossi di guardia a monte dell'impianto, nei terreni di collina è necessario prestare la massima attenzione alle discontinuità

litologiche presenti nel suolo e nel sottosuolo. Strati di diversa tessitura o struttura, anche di pochi decimetri di spessore, possono dare origine a movimenti d'acqua sottosuperficiale, quindi a risorgive lungo il versante e a frane. Il fenomeno delle risorgive è accentuato dai livellamenti eccessivi. Infatti, il suolo poco pedogenizzato e il substrato trattengono quantità d'acqua molto inferiori al suolo superficiale che è stato asportato, per cui le acque di circolazione ipodermica tendono a saturare molto più velocemente il suolo rimasto e a provocare frane (figura 29.12).



Figura 29.12. In primo e secondo piano, smottamenti da risorgive in impianti di colture arboree specializzate, appena realizzati a Montepulciano (SI) tramite sbancamenti risultati eccessivi.

Nei suoli che presentano problemi di trasmissione dell'acqua lungo il profilo, classificati nella categoria dei “moderatamente ben drenanti” o in un'altra peggiore (vedi in Appendice le specifiche delle proprietà e qualità dei suoli), la esecuzione di un'opportuna rete di drenaggio è indispensabile per

consentire il corretto svolgimento delle normali pratiche colturali e la crescita delle piante.

29.4.4. Concimazione di fondo

Nei terreni ad agricoltura intensiva si determina spesso un *deficit* medio annuo di sostanza organica elevato. La concimazione pre-impianto di suoli già intensamente sfruttati è quindi un'occasione unica per ripristinare un'adeguata disponibilità di sostanza organica nel suolo. La somministrazione del concime organico si esegue nel periodo primaverile e su terreno sodo; successivamente, il materiale apportato sarà interrato o con aratura o con lavorazioni più superficiali, seguite da rippature. In presenza di terreno sciolto, caratterizzato cioè da condizioni che favoriscono un'elevata mineralizzazione della sostanza organica, è preferibile frazionare gli apporti in anni successivi.

Il letame maturo (ovino o bovino) rappresenta ancora la miglior riserva di nutrienti per la coltura ed il miglior concime a lenta cessione. In sostituzione, si possono utilizzare altri prodotti organici (ad esempio, pollina, compost, farine, ecc.) o il sovescio (interramento in aprile-maggio) di graminacee e leguminose. Tuttavia, i prodotti vegetali freschi mostrano una scarsa formazione di humus e la mineralizzazione avviene troppo in fretta. Per questo il ricorso al sovescio in pre-impianto spesso si traduce in un apporto limitato di sostanza organica stabile.

Nei suoli con drenaggio interno moderatamente buono o peggiore, l'interramento profondo di sostanza organica, soprattutto fresca, può innescare intensi fenomeni riduttivi, che sono particolarmente dannosi per l'olivo (Costantini et al., 2006a). Particolare attenzione deve essere rivolta alla modalità d'esecuzione delle lavorazioni pre-impianto: l'aratura profonda, operando l'inversione degli orizzonti interessati dalla lavorazione, può provocare un improvviso aumento di sostanza organica in profondità. Ciò può determinare un incremento nell'intensità dei fenomeni di riduzione a carico del ferro e del manganese e la comparsa di evidenze di ossido-riduzione. Il seppellimento dello strato superficiale provoca, inoltre, una riduzione dei pori irregolari e allungati del terreno con conseguente peggioramento del drenaggio interno del suolo. Nei suoli con difficoltà di drenaggio è quindi preferibile utilizzare sostanza organica ben decomposta, limitando l'interramento ai primi decimetri e favorendo l'azione di amalgamento con lavorazioni che non rivoltino il suolo. In sostituzione dell'aratura può essere consigliata la pratica della rippatura profonda, che aumenta la macroporosità senza sconvolgere l'organizzazione degli orizzonti naturali del suolo. Il volume di terreno lavorato è pressoché pari a quello ottenuto con l'aratura profonda, se la rippatura avviene in modo incrociato sull'intera superficie. Altra soluzione può essere la lavorazione a "doppio strato", che consiste in una rippatura profonda (80-100 cm) con il solo taglio verticale della fetta di terreno e un'aratura ad una

profondità di 40-50 cm, operata per interrare i concimi e gli eventuali ammendanti organici.

29.4.5. Densità di piantagione e distanze d'impianto

L'impianto dell'oliveto può essere fatto in quadro, in rettangolo e a quinconce con distanze tra le piante che variano secondo le varietà, del sistema d'allevamento, delle caratteristiche pedologiche e climatiche. Occorre altresì che le chiome degli olivi, quando hanno raggiunto il massimo sviluppo, non si tocchino.

Un elevato numero di olivi per ettaro consente di ridurre al massimo l'iniziale periodo improduttivo ed a raggiungere velocemente la produzione "a regime". Se la vigoria delle cultivar è tale da determinare uno sviluppo superiore allo spazio a disposizione per ogni singola pianta, si perdono i vantaggi iniziali poiché appena gli alberi coprono lo spazio disponibile non crescono e non possono assicurare la produzione. Nell'impianto razionale deve essere garantito un giusto equilibrio tra la disponibilità di risorse del suolo e crescita dell'albero. Un'eccessiva distanza d'impianto può, infatti, rappresentare un inutile spreco di terreno per cui si rinuncia a buona parte della produttività dell'oliveto. La densità ottimale per una olivicoltura razionale, applicando idonee forme di allevamento e in condizioni di clima e terreno non estreme, oscilla dalle 300 alle 400 piante per ettaro, con distanze di piantagione che variano fra 6x8 m a 6x4 m e sesto di impianto rettangolare per favorire il transito delle macchine.

29.4.6. Orientamento dei filari

Una volta scelta la densità di piantagione e il sesto d'impianto, prima di eseguire la squadratura dei campi occorre stabilire l'orientamento dei filari. L'orientamento nord-sud garantisce alle piante la massima insolazione, tuttavia non è sempre possibile realizzarlo. Nel caso di terreni collinari in particolare, occorre trovare un compromesso tra l'orientamento dei filari e la necessità di seguire una linea di pendenza che riduca al minimo i fenomeni di ruscellamento e che consenta un'agevole meccanizzazione.

29.4.7. Scelta delle cultivar

La selezione della composizione varietale può essere dettata da diverse scelte progettuali, ognuna delle quali, implicando l'adozione di un diverso modello di coltivazione e un diverso livello di meccanizzazione, conduce a diversi risultati economici. Tale scelta incide in modo importante su quantità e qualità della produzione e va correlata alle altre scelte preliminari di impianto dell'oliveto e ai futuri indirizzi di tecnica culturale. Le varietà autoctone garantiscono una

maggior adattabilità alle specifiche condizioni pedoclimatiche di ciascun territorio. Queste rappresentano anche un valido presupposto per la valorizzazione commerciale degli oli tipici e per la rispondenza ai disciplinari di produzione degli oli a Indicazione Geografica Protetta (IGP) e a Denominazione di Origine Protetta (DOP). Altrimenti, si possono impiantare varietà che hanno dimostrato un'elevata adattabilità ai diversi ambienti anche al di fuori del proprio areale di origine, ma occorre comunque tener conto delle diversità chimico-organolettiche degli oli che si otterranno. Le varietà scelte devono essere funzionali al sistema di raccolta selezionato: per la raccolta meccanizzata con vibratori sono penalizzate le cultivar a frutto piccolo e quelle a maturazione troppo scalare. Per la raccolta manuale o con agevolatori sono da preferirsi le cultivar a sviluppo vegetativo contenuto, con una certa scalarità fra loro nella maturazione. La diversa vigoria deve essere adeguata anche al sesto di impianto. È bene evitare l'uso di cultivar a duplice attitudine e scegliere in base alla destinazione finale del prodotto: olio o olive da mensa. Date le caratteristiche biologiche dell'olivo, occorre tener presente l'impossibilità di molte cultivar di autofecondarsi e prevedere la presenza di almeno un 10-15% di piante impollinatrici, con distanze di 30 metri tra la varietà produttrice e l'impollinatore (Alfei e Pannelli, 2002). In ogni caso può essere conveniente associare due o tre varietà interfertili e con fioritura concordante. In fase d'impianto può essere vantaggioso disporre le varietà in file separate per predisporre la raccolta differenziata in base alla maturazione e al genotipo per la produzione di oli monovarietal, tenendo comunque presente che la natura del suolo può essere più importante della varietà nel determinare la qualità dell'olio (Costantini et al., 2006b).

29.4.8. Scelta del materiale vivaistico

Sembra ormai superata la disputa sull'opportunità di utilizzare piante innestate o autoradicate. L'esperienza ha dimostrato che i due sistemi di propagazione si equivalgono anche se esiste per le piante autoradicate il vantaggio di un maggior controllo genetico e sanitario del materiale vegetale propagato. Al momento dell'impianto, gli olivi devono avere almeno due anni dall'innesto e 18-24 mesi per quelli ottenuti da talea. La pianta deve superare in altezza i 130 cm ed essere rivestita di rami a partire da 60-70 cm dalla base. È opportuno utilizzare materiale certificato secondo le norme vigenti (D.M. 14 Aprile 1997). La certificazione denominata C.A.C (Conformità Agricola Comunitaria), riguarda sia requisiti fitosanitari, sia di identità varietale, sia fenologici delle piantine poste in commercio ed è individuabile tramite un cartellino. La certificazione prevede l'assenza di alcuni pericolosi patogeni tra cui: *Verticillium dahliae* agente della verticillosi, *Pseudomonas syringae* pv. *Savastanoi*, batterio che provoca la rogna dell'olivo, nonché di fitofagi quali la cocciniglia (*Saissetia oleae*) ed i nematodi del genere *Meloidogyne*. Ulteriori

livelli di certificazione comprendono le categorie denominate “materiali virus controllati” e materiali “virus esenti”, che garantiscono, sulla base di test di laboratorio, l’assenza di virus nel materiale vivaistico.

29.4.9. Messa a dimora

L’operazione di impianto è preceduta dalla squadratura del campo secondo il sesto prestabilito. Nelle zone a clima più mite (centro e sud Italia), l’oliveto può essere realizzato in autunno, in modo che le giovani piante possano usufruire delle piogge autunnali ed affrontare il periodo invernale in condizioni di minore vulnerabilità. Nel nord Italia e alle quote più elevate è invece preferibile effettuare la piantagione in primavera, per non incorrere in danni da gelo, ma occorre intervenire con irrigazioni di soccorso in estate.

Le dimensioni della buca dovranno essere in grado di contenere il pane di terra e la piantina interrata in modo che sia a 5 centimetri al di sotto del piano di campagna. Prima dell’interramento occorre eliminare il contenitore ed evitare di mettere concimi a contatto con le radici. Al momento della messa a dimora della pianta occorre posizionare il palo tutore con altezza fuori terra di circa 2,5 metri. Tale sostegno deve accompagnare la crescita della pianta almeno fino al quarto anno dall’impianto.

29.4.10. Scelta della forma di allevamento

In Italia l’olivo è coltivato in ambienti molto diversi fra loro ed alcune variabili climatiche (temperature, pluviometria, illuminazione) influenzano fortemente lo sviluppo e la produttività delle piante, condizionando le forme di allevamento e le tecniche di potatura. A queste variabili se ne aggiungono altre quali la dimensione e l’età degli impianti e il metodo di raccolta. Tra le forme d’allevamento più diffuse troviamo il vaso, il cespuglio, il monocono e il globo.

Vaso

La pianta è formata da un tronco di altezza variabile (30-120 cm) dal quale si dipartono tre o più branche primarie. Da queste prenderanno origine branche secondarie e terziarie che portano i rami destinati alla produzione. È una forma d’allevamento conveniente a tutti gli ambienti ed è adattata alla raccolta meccanizzata.

Cespuglio e vaso cespugliato

Sono forme ottenute lasciando vegetare liberamente la pianta che cresce priva di tronco principale ma con più branche che si originano dal terreno. Sono adatte a piccoli e medi impianti con sesti non inferiori ai m 6x6. Queste forme si prestano alla raccolta con macchine agevolatrici ma non a quella meccanizzata.

Monocono

La vegetazione è distribuita su di un unico asse centrale sul quale sono inserite le branche secondarie sempre più corte dal basso verso la cima e impalcate alte (1-1,3 m dal suolo) per consentire l'attacco degli scuotitori. Per ottenere la forma a monocono è necessario utilizzare al momento dell'impianto olivi già predisposti in vivaio con un unico asse ben sviluppato in altezza, a cui sia stato fissato un idoneo tutore. Adatto alla meccanizzazione ed ai grandi impianti, per questa forma di allevamento si possono impiegare sesti da 6x6 m a 6x3 m.

Globo

La chioma, portata su un tronco di altezza variabile, è lasciata crescere liberamente senza essere svuotata al centro come nel vaso. È tipica delle aree più calde meridionali e con elevata intensità luminosa: la vegetazione assume una forma più o meno sferica che protegge le branche principali e secondarie da eventuali danni dovuti alle alte temperature.

Nei nuovi oliveti la scelta della forma di allevamento deve essere fatta già all'acquisto delle piante in vivaio tenendo conto soprattutto del metodo di raccolta che si desidera applicare. In genere, più precisa e regolare è la forma di allevamento maggiori e quindi più costosi saranno gli interventi del personale specializzato agli interventi di potatura.

29.5. Gestione colturale

29.5.1. Fertilizzazione

Dopo l'impianto si procede ad una fertilizzazione destinata al primo periodo di crescita della pianta e, una volta che l'oliveto è entrato in produzione, alla fertilizzazione di produzione, che deve apportare al terreno gli elementi minerali indispensabili ad uno sviluppo equilibrato e ad una buona produttività delle piante. La fertilizzazione deve essere pianificata attentamente per ciascuna realtà aziendale, prendendo in considerazione tutta una serie di fattori: caratteristiche del terreno, clima, stato nutrizionale ed età dell'impianto, epoca di concimazione, pratiche agronomiche, ecc. In seguito, si dovrà iniziare a valutare il programma di fertilizzazione più idoneo tenendo presente che, oltre al quantitativo totale dei singoli elementi, andrà valutato anche il rapporto sinergico e antagonistico che si stabilisce fra questi. Occorrerà inoltre valutare quanto della fertilizzazione sarà utilizzata dalla pianta per la formazione di rami, foglie e frutti che annualmente sono asportati con la potatura e con la raccolta.

Gli elementi nutritivi possono essere somministrati al terreno con varie modalità: sull'intera superficie o in maniera localizzata intorno a ciascuna

pianta, in superficie o interrati. Le scelte dipendono dalle tecniche colturali che abitualmente sono applicate al terreno (erpiculture, fresature, sovescio, inerbimento, ecc.), dal metodo irriguo, dalla pluviometria stagionale, dalla praticità delle operazioni di fertilizzazione e, non ultimo, da un'attenta valutazione economica.

È necessario distribuire fertilizzanti al terreno in corrispondenza delle aree maggiormente esplorate dalle radici assorbenti e, di conseguenza, al di fuori della proiezione della chioma, evitando le zone più vicine al tronco. Il rispetto di questo criterio non è indispensabile nel caso d'impianti ad elevata densità giacché, in tal caso, i concimi sono comunque utilizzati dagli alberi, ma è essenziale quando i filari sono molto distanziati fra loro e nei suoli a scarsa fertilità. Per alcuni fertilizzanti l'efficienza del concime varia notevolmente se si procede all'interramento; così, ad esempio, in terreni a tessitura argilloso-limosa, a basso pH e poveri di fosforo, la procedura di incorporare nello strato più superficiale del terreno il perfosfato appena distribuito ne favorisce l'assorbimento.

L'apporto di elementi nutritivi alla pianta può essere effettuato anche attraverso la fertirrigazione e la concimazione fogliare. Con la fertirrigazione si distribuiscono gli elementi minerali, disciolti nella soluzione acquosa, attraverso l'impianto d'irrigazione e in funzione di specifiche fasi della stagione vegetativa. Questa tecnica permette, infatti, di apportare piccole dosi dei vari elementi nel corso dello sviluppo della pianta, riuscendo a soddisfare le reali esigenze e limitando l'assorbimento in eccesso e la percolazione degli elementi più mobili.

La concimazione fogliare, sfruttando la capacità delle foglie di assorbire rapidamente sia micro che macro elementi, consente la distribuzione diretta di fertilizzanti (organici e minerali) alla pianta attraverso la parte epigea. Le esigenze nutritive della pianta sono soddisfatte riducendo al tempo stesso le quantità di elementi da somministrare al suolo. I nutrienti, infatti, non dovendo essere traslocati attraverso l'apparato radicale possono essere somministrati in dosi relativamente ridotte e nei periodi critici per la pianta (mignolatura, allegagione, indurimento del nocciolo, fasi di aridità estiva).

Concimazione d'allevamento

L'intervento, programmabile nei primi tre-quattro anni dopo l'impianto, mira essenzialmente ad accelerare la formazione dell'apparato radicale del giovane olivo e quindi di assecondare la fase di crescita elevata. Le dosi di fertilizzante devono essere correlate all'età della pianta, alla dimensione che negli anni essa raggiunge ed, ovviamente, debbono tenere conto del progressivo sviluppo delle radici (maggiore in terreni sabbiosi, poco fertili o di medio impasto e limitato in suoli molto fertili o argillosi). Sono quindi da evitare i tentativi di fornire ai giovani olivi dosi eccessive di nutrienti e difficilmente raggiungibili dalle giovani radici. Una concimazione adeguata e correttamente bilanciata, infatti,

riduce la fase giovanile non produttiva della pianta. Nell'olivo la richiesta di azoto è predominante e ciò vale soprattutto per le piante giovani mentre è minima per fosforo e potassio almeno nei primi quattro anni dopo la piantagione (Palese et al., 1996).

Concimazione di produzione

Questo intervento colturale coincide con il momento in cui la pianta ha completato la prima fase di sviluppo vegetativo ed inizia a fruttificare in modo significativo. Definire le quantità di concimi da fornire alla pianta nella fase in cui l'impianto è in piena produzione è alquanto difficile. In primo luogo, perché si dovrebbe indicizzare o mediare una situazione olivicola che per definizione, almeno in Italia, è molto eterogenea, secondariamente, perché si dovrà tener conto delle diverse condizioni climatiche che incidono sul territorio nazionale (piogge e temperature minime e massime) e conoscere la risposta agronomica dei singoli fertilizzanti, infine, perché l'apporto annuale dei concimi non potrà mai essere "standardizzato", ma dovrebbe seguire il *trend* produttivo dell'impianto (annate di carica e scarica, produttività media annuale, ecc.) e la specificità della coltura (olive da olio, olive da mensa).

La somministrazione di azoto è fondamentale per lo sviluppo vegetativo e per la produzione della pianta, ma varia soprattutto in funzione della distribuzione e dell'intensità delle precipitazioni; la somministrazione può essere frazionata in due momenti dell'anno: due terzi, poco prima della ripresa vegetativa (febbraio-marzo) e la parte restante prima della fioritura (maggio-giugno). Nel caso in cui la mignolatura risultasse scarsa, è buona norma evitare la seconda somministrazione per non favorire eccessivamente lo sviluppo vegetativo dell'albero con formazione di rami sterili al pedale (polloni) o sulle branche (succhioni). La proposta di dividere la somministrazione dei concimi azotati in due periodi è valida soprattutto negli impianti dov'è previsto un soccorso irriguo. Per le altre situazioni è preferibile distribuire concime azotato nel periodo in cui si prevede una buona piovosità (fine inverno-inizio primavera).

È stato dimostrato che fenomeni di carenza da microelementi, quali il boro, annullano l'effetto di una concimazione azoto-potassica anche abbondante. In tal caso è possibile intervenire con somministrazioni di borato sodico da eseguirsi verso la fine dell'inverno (Delgado et al., 1994) interrando il concime sottochioma a 10-15 cm di profondità, oppure per via fogliare.

Per fosforo e potassio, trattandosi di elementi fissati dal terreno, è evidente che la valutazione dovrà considerare che i loro effetti fertilizzanti saranno tanto maggiori quanto più questi nutrienti saranno somministrati ed incorporati (lavorazione profonda 20-30 cm) in un terreno ricco di sostanza organica. Pertanto, anche se nella consuetudine la concimazione fosfo-potassica è ancora affidata agli apporti somministrati prima dello scasso del terreno, è buona

norma, ad anni alterni oppure ogni due-tre anni, provvedere ad introdurre fosforo e potassio attraverso concimi complessi.

Il magnesio è, generalmente, somministrato alla pianta per via fogliare come solfato di magnesio. Infine, la scarsità di ferro, tipica dei terreni molto calcarei dell'Andalusia si può correggere mediante l'uso di chelati (Fernandez Escobar et al., 1993).

Occorre segnalare che in merito alla fertilizzazione minerale, in molte regioni italiane sono stati messi a punto disciplinari che prevedono limiti nell'uso di concimi, fissando i quantitativi massimi di elementi fertilizzanti da apportare annualmente al terreno.

I concimi organici possono essere distribuiti da soli o come integrazione di concimi di sintesi; in entrambi i casi devono essere rispettate le dosi massime consentite per l'azoto. Il letame maturo (bovino o ovino) è sicuramente il prodotto migliore, ma se, come spesso avviene, non si dispone di letame, si possono apportare altri prodotti organici (ad esempio pollina, pennone, cascami di cuoio, ecc.) con l'avvertenza di integrarli con apporti di materiali poveri di azoto (paglia o stocchi di mais trinciati a dosi fino a 25-35 tonnellate per ettaro). L'alternativa più efficace è il sovescio di leguminose (o di altre specie) per le proprietà che hanno di apportare al terreno una notevole quantità di materiale organico facilmente decomponibile. Questa pratica deve essere realizzata nel periodo autunno-invernale per evitare eventuali competizioni idriche tra gli alberi e la specie erbacea. Quest'ultima è scelta, ovviamente, in base agli scopi per cui si esegue questa pratica. Un sovescio di veccia, ad esempio, può apportare fino a 150 unità di azoto per ettaro. Le crucifere hanno una forte capacità di assimilare i fosfati minerali più insolubili; sovesciando colza o senape si rendono disponibili rilevanti quantità di fosforo. Diversi studi concordano nel dire che almeno il 50% degli elementi nutritivi forniti da un sovescio sono rilasciati con prontezza e di conseguenza sono subito disponibili per l'assorbimento radicale, mentre la restante frazione lo sarà a distanza di un anno (Guet, 1997).

Nei casi di limitata disponibilità idrica, una soluzione alternativa alla letamazione è il sovescio parziale a file alternate o, ancora, l'impiego di compost ricavati da materiale organico di diversa natura (residui solidi urbani, scarti organici da lavorazioni industriali, ecc.).

29.5.2. Potatura

La potatura, insieme agli altri interventi colturali, contribuisce a mantenere il giusto equilibrio fisiologico fra la parte vegetativa e riproduttiva della pianta, allo scopo di ottenere produzioni buone e costanti negli anni. La potatura ha finalità e intensità diverse in relazione alle fasi del ciclo vitale della pianta.

La potatura di allevamento accompagna il periodo improduttivo dell'olivo conformandolo alla forma di allevamento prescelta; deve essere eseguita fin dai

primi anni se si vogliono dare caratteri precisi alla pianta (monocono), mentre può essere eseguita in modo più leggero nelle forme di allevamento libere (vaso libero, cespuglio). La potatura di produzione ha, invece, lo scopo di mantenere nel tempo la capacità produttiva e di favorire la penetrazione dell'aria e della luce all'interno della chioma, diminuendo l'incidenza delle malattie parassitarie e migliorando la pezzatura e quindi le caratteristiche qualitative dei frutti. Infine, la potatura di ringiovanimento utilizza tagli drastici per recuperare l'efficienza esauritasi con l'invecchiamento della pianta.

Le scelte che riguardano la potatura di produzione sono quelle relative alla intensità ed ai turni e devono essere impostate prendendo in esame alcuni fattori. L'intensità dei tagli dovrà rapportarsi all'età dell'albero (potature troppo intense nei primi anni compromettono la produttività o inducono forme non adatte alle esigenze agronomiche) ed alle sue capacità produttive: in caso di scarso vigore e di un elevato rapporto fra legno vecchio (maggiore di due anni) e legno nuovo (di uno o due anni) bisogna potare energicamente, mentre in previsione di un'annata di scarica è consigliabile ridurre l'intensità dei tagli.

Le forme di allevamento che richiedono una forma scheletrica ben determinata richiedono potature annuali e di bassa intensità. Le potature biennali e poliennali sono adatte alla gestione di grandi impianti o di piante di notevoli dimensioni.

Attualmente una turnazione rigida della potatura è stata fortemente ridimensionata poiché tale pratica incide per circa il 15-20% sul costo totale di coltivazione. Vi è infatti la necessità di semplificare le operazioni di potatura in modo da contenerne i costi e limitare il problema della reperibilità della manodopera specializzata. Uno dei metodi per ridurre i costi consiste nell'allungamento del turno di potatura: tale scelta può essere applicata senza problemi negli oliveti irrigui oppure nei casi in cui le condizioni pedologiche e climatiche (suoli fertili, profondi, di medio impasto, clima mite) permettono un certo rinnovo vegeto-produttivo anche senza lo stimolo dei tagli di potatura (Gucci, 2005). Al termine del turno di due o tre anni la potatura sarà più severa di quella prevista con la potatura annuale, in modo da assicurare un sufficiente accrescimento vegetativo e il rinnovo dei rami a frutto per tutta la durata del turno. Sempre sulla base del comportamento vegeto-produttivo e delle caratteristiche biologiche, sono stati proposti anche metodi di potatura minima che, invece di raggiungere una forma definita, tendono a gestire la forma di allevamento nel modo più libero possibile, per ridurre i costi di potatura e non deprimere la produttività. In questo caso si prevedono interventi con pochi tagli medi e grossi, soprattutto per ripristinare la corretta altezza della pianta, per correggere l'impostazione strutturale delle branche e per ridurre l'intensità vegetativa soprattutto all'interno della chioma.

29.5.3. Irrigazione

In olivicoltura l'irrigazione è molto importante per aumentare la produzione, ridurre l'alternanza, garantire rese più stabili e una maggiore e costante qualità del prodotto. Nei nuovi impianti, realizzati con sesti di impianto e potature ridotti, le esigenze idriche sono aumentate rispetto agli oliveti tradizionali e l'apporto idrico dato dalle precipitazioni spesso non è sufficiente. L'irrigazione è raccomandata specialmente per le varietà di olive da tavola, in cui la pezzatura dei frutti rappresenta una caratteristica merceologica fondamentale. Gli effetti dell'irrigazione sono stati confrontati per valutare la sua influenza sulla produzione dei frutti e sulla resa in olio (Lavee et al., 1990). In generale, l'irrigazione aumenta il numero d'infiorescenze, fa diminuire la percentuale di aborto ovario, riduce la cascola dei frutti, incrementa la pezzatura dei frutti e il rapporto polpa-nocciolo (Costagli et al., 2003, Goldhamer et al., 1993, Inglese et al., 1996,). L'acidità e il contenuto in acidi grassi non sembrano risentire dell'irrigazione, mentre esistono pareri discordanti sul contenuto in polifenoli, che sembra diminuire con l'apporto di acqua (Alegre, 2001).

Per calcolare il volume di acqua con cui irrigare occorre quantificare il fabbisogno idrico dell'oliveto. Il consumo idrico dell'impianto è dato da evapotraspirazione dal suolo (E) e traspirazione dall'albero (T), nel caso di un oliveto non inerbito, i due processi sono sommati nella evapotraspirazione (ET). I consumi variano sia nel corso del giorno che della stagione e risentono di fattori quali: la temperatura, l'umidità relativa, la radiazione solare, il vento, la disponibilità idrica del suolo. In una giornata estiva l'ET di un oliveto maturo può essere di 5 mm giorno⁻¹, mentre nei giorni invernali scende a 1 mm giorno⁻¹ (Feres, 2005).

La massima richiesta di ET dell'oliveto serve come punto di riferimento per quantificare l'apporto irriguo, ma la tendenza attuale è di somministrare quantità di acqua inferiori; in altre parole, il coltivatore ricorre ad una strategia di irrigazione in deficit controllato (RDI). Le strategie possibili possono essere le seguenti:

- irrigazione di sostegno, con apporti di acqua di poco inferiori all'ET dell'oliveto;
- irrigazione regolata, con un tasso costante di applicazione durante tutta la stagione;
- irrigazione regolata con deficit massimo in estate ma che raggiunge quasi il punto di saturazione in primavera e autunno.

In caso di irrigazione in deficit controllato l'oliveto utilizzerà la riserva idrica disponibile del suolo, almeno parzialmente, per sopperire alle proprie esigenze. È quindi opportuno evitare che il deficit diventi eccessivo o troppo prolungato per non compromettere non solo lo sviluppo del frutto e l'accumulo di olio, ma anche il ripristino delle riserve idriche del suolo.

Nelle aree con precipitazioni limitate gli olivicoltori hanno raggiunto buoni risultati utilizzando quantità di acqua costanti e molto limitate, dal

momento che con il primo incremento di acqua irrigua si ottiene subito un sostanziale aumento di produzione (da 20 a 30 Kg ha⁻¹ di olive per mm di acqua) (Feres, 2005). In ambienti caratterizzati da siccità prolungata (terre a pedoclima xerico e xerico secco), l'irrigazione può arrivare a raddoppiare la produzione di olio, mentre in climi più umidi, in cui l'aridità estiva è di circa due mesi, interrotta da brevi precipitazioni (terre a pedoclima ustico e udico), l'incremento produttivo è più contenuto.

Per la scelta e la progettazione dell'impianto irriguo occorre tenere ben presente il volume di suolo a disposizione dell'albero e le caratteristiche fisiche del terreno. Con sesti di impianto ristretti diventa necessaria l'irrigazione per fornire all'albero un'adeguata disponibilità idrica nel ridotto volume di suolo da esplorare.

In suoli superficiali sabbiosi o ricchi di scheletro la capacità di immagazzinamento di acqua è modesta e l'irrigazione è in grado di aumentare notevolmente la produzione. Data la capacità dell'olivo a produrre anche in asciutto, è bene valutare i benefici produttivi che derivano dall'impianto di un sistema di irrigazione con i costi per l'ammortamento e la gestione di un impianto irriguo. In linea generale si stima che l'aumento produttivo debba essere almeno del 20% (Gucci, 2003).

29.5.4. Difesa

L'ecosistema oliveto ospita circa 250 specie di parassiti fra specie fitofaghe ed entomofaghe, funghi, batteri e virus, ma solo alcune sono realmente dannose per l'olivo e quindi destinatarie di specifica lotta. L'ampia distribuzione dell'olivo e le numerose diversità morfologiche e microclimatiche presenti, unite alla diversità di cultivar, determinano una notevole variabilità nella diffusione e nell'incidenza del danno provocato dai parassiti. Quindi la difesa deve presentarsi diversificata sia come obiettivo da combattere, sia come numero di interventi da effettuare. La scelta di una fra le tecniche di lotta disponibili deve essere fatta dall'agricoltore in relazione al tipo di area olivicola (protetta o no), tipo di produzione (olio biologico), soglia economica di danno. Per la produzione delle olive da tavola è necessaria una diversa applicazione del concetto di soglia di danno tollerabile e di intervento, che deve scattare ai primi sintomi di infestazione o infezione (soprattutto per i fitofagi ed i patogeni che attaccano direttamente la drupa).

Nella olivicoltura biologica o integrata i sistemi di lotta sono di tipo: agronomico, biotecnico e microbiologico. Nella lotta agronomica si cerca di ristabilire l'equilibrio agroecologico, nel quale parassiti e patogeni possono esistere a livelli tali da non comportare danni di eccessivo rilievo economico; si utilizzano cultivar resistenti, si anticipa l'epoca di raccolta, si aumenta la diversità ambientale (copertura erbosa dell'oliveto, allestimento di siepi, frangivento, ecc.), si agisce con potature mirate. La metodologia di controllo

biologico e biotecnico, impiegate per la lotta ai parassiti fitofagi, si basa sull'uso di antagonisti naturali (parassiti o predatori) e sulla cattura massale attraverso trappole attrattive di diverso tipo.

29.5.5. Raccolta

La raccolta è un momento fondamentale nella coltivazione dell'olivo: da una sua corretta esecuzione dipendono la quantità e la qualità del prodotto, ma anche i costi dell'intervento colturale. Una prima classificazione dei metodi di raccolta ammette di distinguere i sistemi di raccolta in: manuali e meccanici.

Raccolta sull'albero o brucatura

È il sistema più antico; ma ancora oggi rimane quello più diffuso laddove non è applicabile una soluzione alternativa di raccolta e, soprattutto, quando il prodotto, qualitativamente, deve assumere carattere di pregevolezza. Sul mercato sono disponibili semplici strumenti (agevolatori manuali), che se convenientemente utilizzati, migliorano l'efficienza dell'operatore nella fase di distacco dei frutti. In genere, sottochioma sono poste teli o reti per intercettare le drupe e per favorire il successivo trasferimento in cassette.

Raccolta da terra dopo abscissione naturale dei frutti

Consiste nel raccogliere, manualmente o con l'impiego di macchine, le olive spontaneamente cadute a terra. L'abscissione può avvenire per raggiunta maturazione dei frutti o per cause accidentali quali l'azione di venti o d'intense infestazioni parassitarie. Questa procedura, a volte, è agevolata dalla preventiva stesura di reti sotto le piante. La raccattatura si pratica in tempi diversi ed a intervalli più o meno lunghi, in relazione alla successione della cascola. L'eccessivo grado di maturazione delle drupe, tuttavia, compromette le caratteristiche chimiche (aumento dell'acidità, dei perossidi, del K_{232} e K_{270} , nonché una diminuzione dei contenuti in clorofilla e polifenoli) ed organolettiche degli oli ottenuti.

Sistemi meccanici

Raccolta delle olive dalla pianta grazie all'impiego di macchine (scuotitori, bacchiatori, vibratrici). Con la raccolta meccanica sono prevalentemente distaccate olive di elevato peso unitario, più invaiate e con un maggior grado di inolizione. La parte dei frutti che rimane attaccata alla pianta, in alcune situazioni, potrebbe rappresentare una perdita di produzione che si stima intorno al 10%-15%. La qualità dell'olio ottenuto con la raccolta meccanica non subisce variazioni importanti quando le olive sono trasferite in giornata per l'estrazione. Questa scelta è importante poiché le olive in genere presentano lesioni e quindi possono subire fenomeni accelerati di ossidazione. Per le

cultivar i cui frutti sono destinati alla mensa la raccolta meccanizzata per scuotimento non è proponibile.

Macchine agevolatrici

Sono pettini pneumatici che provocano il distacco dei frutti sia per azione diretta sia tramite le vibrazioni impresse ai rami e alle brachette. Queste attrezzature permettono di raccogliere la quasi totalità del prodotto pendente ed incrementano di 2-4 volte la produttività del lavoro rispetto alla raccolta manuale.

Nello scegliere il sistema di raccolta occorre tenere presente che il raggiungimento di elevati *standard* qualitativi richiede il conferimento al frantoio di olive integre. Questo perché lacerazioni dell'epidermide causano non soltanto perdite della sostanza grassa, ma soprattutto espongono i frutti all'azione microbica responsabile dell'aumento dell'acidità e del peggioramento delle caratteristiche organolettiche. Compatibilmente con la realtà aziendale e della zona di produzione, il sistema di raccolta più idoneo sarà quello in grado di minimizzare i danni provocati alle drupe.

29.5.6. Lavorazioni del terreno

Le lavorazioni costituiscono una delle principali modalità di gestione del terreno e servono a garantire, soprattutto nei suoli meno strutturati, un aumento, almeno temporaneo, d'infiltrazione e di accumulo dell'acqua in profondità, oltre ad eliminare le erbe infestanti ed interrare i concimi. Il calendario degli interventi prevede, solitamente, una lavorazione ordinaria ad una profondità di circa 20–30 cm, da eseguirsi prima dell'autunno per favorire l'infiltrazione e l'accumulo delle piogge nel suolo. Seguono in primavera ed estate lavorazioni più superficiali (15–20 cm) finalizzate all'eliminazione delle erbe infestanti. In genere è consigliabile non effettuarne un numero maggiore di tre lavorazioni in tutto l'anno e di non superare la profondità di 15–20 cm (Mazzoncini et al., 2002). Lavorazioni energiche e frequenti, infatti, possono causare un'eccessiva frammentazione degli aggregati del suolo, favorendo il costipamento degli orizzonti superficiali e provocando interruzioni di continuità nel sistema dei pori. Queste modificazioni ostacolano i processi di umificazione ed in particolare, nei terreni argillosi e limosi, degradano la struttura del suolo e aumentano il rischio di compattamento e di formazione della crosta superficiale. Nei suoli a tessitura classata, soprattutto con abbondante sabbia fine e limo, lavorazioni ripetute sempre alla stessa profondità possono determinare la formazione della cosiddetta "suola di lavorazione" con conseguente riduzione della permeabilità del terreno (figura 29.13). Queste condizioni asfittiche, a loro volta, ostacolano gli scambi gassosi e determinano condizioni inibenti l'attività dei microrganismi.



Figura 29.13. Evidente suola di lavorazione a circa 40 cm di profondità in un oliveto di Montepulciano (SI).



Figura 29.14. Profilo con evidente crosta superficiale per le lavorazioni troppo frequenti in un oliveto di Strove (SI).

Le lavorazioni con attrezzi che sminuzzano il terreno, quali fresatrici, zappatrici ed erpici, in suoli poveri di sostanza organica e argilla, possono

provocare il collasso della struttura dell'orizzonte lavorato del suolo e la formazione di crosta superficiale (figura 29.14).

29.5.7. Inerbimento

L'inerbimento prevede la presenza nell'oliveto di un cotico erboso permanente o temporaneo. Tale pratica conferisce una maggiore stabilità al sistema agroecologico: accresce la disponibilità di sostanza organica, limita il dilavamento dei nitrati e svolge una funzione di regolatore della disponibilità di azoto nel terreno. In termini di conservazione del suolo l'inerbimento riduce l'erosione, incrementa la struttura del suolo ed il drenaggio, migliora le condizioni fisico-idrologiche con benefici anche sulla transitabilità delle macchine. Nei terreni calcarei, ad esempio, il ricorso all'inerbimento rappresenta una valida pratica agronomica perché tale scelta è in grado di limitare gli inconvenienti della clorosi ferrica. Le graminacee presenti nel prato, infatti, producono essudati radicali capaci di complessare e solubilizzare il ferro che, in questo modo, è maggiormente disponibile per le radici. In zone a sufficiente piovosità il ritorno a prato stabile, gestito con sfalcio senza asportazione dell'erba, può aumentare in dieci anni la sostanza organica dell'1% in uno strato di suolo di circa 10 cm (Zucconi, 1996).

L'aspetto limitante di tale tecnica è rappresentato dalla competizione idrica e nutrizionale che si stabilisce tra la pianta di olivo e il miscuglio delle erbacee che costituiscono il cotico. Vi sono però forme d'inerbimento artificiale con essenze autodisseminanti a ciclo autunno-primaverile che, dissecandosi durante il periodo estivo, rendono possibile questa pratica anche in presenza di piovosità limitata. In ogni caso, le leguminose sono da preferire alle altre essenze per la capacità azoto-fissatrice e per la capacità di attingere acqua dagli orizzonti più profondi del suolo.

Nei climi mediterranei tale competizione è stata accertata per le piantagioni giovani e, soprattutto, nei primi anni dell'impianto. In questo periodo il giovane apparato radicale degli alberi ha sviluppo prettamente superficiale ed è in grado di esplorare gli stessi strati del suolo occupati dalle radici delle piante erbacee. In ogni caso, è consigliabile adottare questa tecnica di gestione del suolo a partire dal quinto anno dopo l'impianto; con tale scelta, si può evitare che la competizione idrico-nutritiva esercitata dal tappeto erboso impedisca il regolare accrescimento delle giovani piante di olivo.

In suoli a buona capacità di immagazzinamento di acqua disponibile per le piante (maggiore di 150 mm), la pluviometria può essere utilizzata per la scelta dei miscugli e del metodo d'inerbimento: con una piovosità media annua di 700-800 mm non sussistono ostacoli all'inerbimento permanente (naturale o artificiale); con una piovosità inferiore a tali livelli, fino a un minimo di circa 600 mm per anno, o in presenza di piovosità di circa 150 mm durante il quadrimestre maggio-agosto, possono essere praticate forme di inerimento

temporaneo, a filari alterni o a strisce, integrato da altre tecniche di controllo delle infestanti durante il periodo di maggior competizione idrica.

29.6. Attitudine delle terre alla coltivazione dell'olivo e tabelle di valutazione

In Italia sono state realizzate pochissime esperienze che, su base territoriale, hanno correlato i parametri pedologici al risultato quantitativo e qualitativo delle produzioni olivicole. Tra esse, si segnalano quelle di Lulli e collaboratori in Calabria e in Sardegna (Lulli, 2004), di Tittarelli e altri in Lazio (Tittarelli, 2002) e di Cimato e collaboratori in provincia di Siena (Costantini et al., 2006b). Gli schemi di valutazione del suolo e delle terre riportati in questa sede fanno riferimento in modo particolare a quest'ultima esperienza, ma trovano una sostanziale corrispondenza con i risultati delle altre due sperimentazioni citate.

I fattori funzionali del suolo per la coltura dell'olivo sono risultati essere di due categorie: stazionali e del profilo. Nel primo caso vanno considerate quota ed esposizione, secondo i valori riportati in tabella 29.2.

Tabella 29.2. Tabella di valutazione per l'attribuzione delle classi d'attitudine dei suoli alla coltivazione dell'olivo (parametri stazionali).

PARAMETRI	CLASSE DI ATTITUDINE			
Carattere stazionale	Suoli molto adatti (S1)	Suoli adatti (S2)	Suoli scarsamente adatti (S3)	Suoli non adatti (N)
Quota (m s.l.m.)	200-400	400-500	500-800	> 800
Esposizione	sud; sud-ovest	est-ovest	nord-ovest; nord-est	nord

I risultati della sperimentazione hanno indicato che l'apparato radicale dell'olivo necessita di un buon equilibrio tra capacità idrica e capacità d'aria, per cui risultano maggiormente adatti i suoli con drenaggio buono e moderato. I suoli con drenaggio imperfetto risultano molto penalizzanti, se la difficoltà di drenaggio non è attenuata da una contemporanea presenza di un drenaggio esterno alto e di un abbondante contenuto di scheletro (almeno 35% in volume).

Numerose esperienze hanno dimostrato che la capacità di ritenuta idrica del suolo è il parametro che maggiormente regola la produttività dell'olivo (Chaves et al., 1976). Sulla base della letteratura e dei risultati sperimentali, gli intervalli di AWC ritenuti soddisfacenti (coincidenti con la classe S2) sono fissati su valori di almeno 70 mm, mentre per la classe S1 il limite è stato posto a 110 mm.

La letteratura indica che la tolleranza dell'olivo alla salinità è paragonabile a quella della vite (Sbaraglia e Lucci, 1994); in virtù dell'esteso apparato radicale dell'olivo, l'analisi di questo carattere deve comprendere almeno un metro di spessore.

Sulla base di queste indicazioni, i fattori funzionali del suolo per la coltura dell'olivo sono stati distinti in due categorie, la prima che determina condizioni di non idoneità alla coltivazione (presenza di una falda idrica entro un metro di profondità o appartenenza alla tipologia dei vertisuoli); la seconda che gradua le diverse condizioni di attitudine (salinità, espressa come conducibilità elettrica, la capacità di trattenuta di acqua disponibile, il drenaggio interno ed esterno e il contenuto in scheletro) (tabella 29.3).

Tabella 29.3. Valutazione per l'attribuzione delle classi d'attitudine dei suoli alla coltivazione dell'olivo.

PARAMETRI	CLASSE DI ATTITUDINE			
Qualità e caratteristiche	Suoli molto adatti (S1)	Suoli adatti (S2)	Suoli scarsamente adatti (S3)	Suoli non adatti (N)
Falda profondità cm	> 100	> 100	> 100	< 100
Classificazione	No Vertisuoli	No Vertisuoli	No Vertisuoli	Sì Vertisuoli
Conducibilità elettrica dS m ⁻¹ (1m)	< 1	1-2	3-4	> 4
AWC mm 100 cm ⁻¹	> 110	110-70	69-30	< 30
Drenaggio interno	Buono, moderato, piuttosto mal drenato se drenaggio esterno > medio, piuttosto mal drenato se drenaggio esterno = medio e scheletro ≥ 35%	Talvolta eccessivo o piuttosto mal drenato se drenaggio esterno ≥ medio o scheletro ≥ 35%, piuttosto mal drenato se drenaggio esterno = medio e scheletro ≥ 35%	Eccessivo, imperfetto, mal drenato se drenaggio esterno > medio e scheletro ≥ 35%	Mal drenato e molto mal drenato

29.7. Stima dell'affidabilità della valutazione attitudinale

Le carte d'attitudine realizzate applicando tabelle di valutazione come quella sopra riportata, generalmente non forniscono informazioni sull'affidabilità della valutazione stessa. Il giudizio del lettore si basa soprattutto sulla qualità dell'approccio metodologico e sulla quantità di dati trattati. Rendere esplicita e facile da leggere l'incertezza dell'informazione fornita è invece importante per diversi motivi, tra cui i principali sono il rendere consapevoli gli utilizzatori dei limiti di uso corretto della cartografia e l'identificazione delle aree dove sono necessarie ulteriori indagini.

Vi sono diversi metodi che possono essere utilizzati per esplicitare l'incertezza. I più comuni fanno riferimento al concetto di “purezza” dell'informazione, cioè esprimono la percentuale di inclusioni di suoli diversi in ogni unità cartografica; altri si riferiscono alla “confidenza” della valutazione, con ciò esprimendo un giudizio sulla affidabilità del metodo di valutazione utilizzato; altri ancora esprimono in forma numerica (ad esempio, geostatistica) o di giudizio di esperto (classi) la “affidabilità” della spazializzazione o del legame suolo-paesaggio.

Nell'esperienza realizzata in provincia di Siena sull'olivo, a cui si è fatto riferimento per la tabella di valutazione sopra riportata, sono stati utilizzati approcci diversi, di tipo statistico e geostatistico (Costantini et al., 2002).

29.7.1. Indici di diversità

Il primo algoritmo utilizzato è stato l'indice di diversità di Shannon, comunemente impiegato negli studi ecologici, ma introdotto anche in pedologia (vedi, ad esempio, Ibañez et al., 1995).

$$H' = \sum_{i=1}^n p_i * \ln(p_i) \quad (1)$$

dove H' è il valore dell'indice, p_i è la proporzione di individui i nell'area studiata; p_i è calcolato come n_i / N , con n_i = numero di individui i e N numero totale di individui. Nel nostro caso, p_i era la percentuale di area occupata dall'individuo i (suolo oppure paesaggio a seconda del caso).

L'indice d'uniformità ($E = evenness$) è derivato da quello di Shannon e può variare da 0 (massima uguaglianza) a 1 (massima diversità):

$$E = H' / H \max = H' / \ln S \quad (2)$$

dove S è la numerosità della popolazione.

Nella figura 29.15 è riportato il risultato della prima fase di valutazione delle terre di Siena all'olivicoltura. La legenda fornisce indicazioni sulla percentuale di presenza in ogni poligono di suoli a diversa attitudine (classi S1, S2, S3, N). L'indice d'uniformità è stato utilizzato per valutare la diversità di valutazione in ogni poligono.

Come risulta dalla figura 29.16, la distribuzione dei valori dell'indice mostra che vi è solo un piccolo gruppo di poligoni omogenei, cioè con suoli tutti della stessa attitudine, mentre la maggior parte dei poligoni della carta racchiude suoli a diversa attitudine. Il valore medio dell'indice è comunque piuttosto basso ($E = 0,365$), ciò significa che solo relativamente pochi poligoni hanno suoli di tre o quattro classi diverse e che, quando sono presenti suoli a diversa attitudine, vi è comunque un suolo territorialmente prevalente.

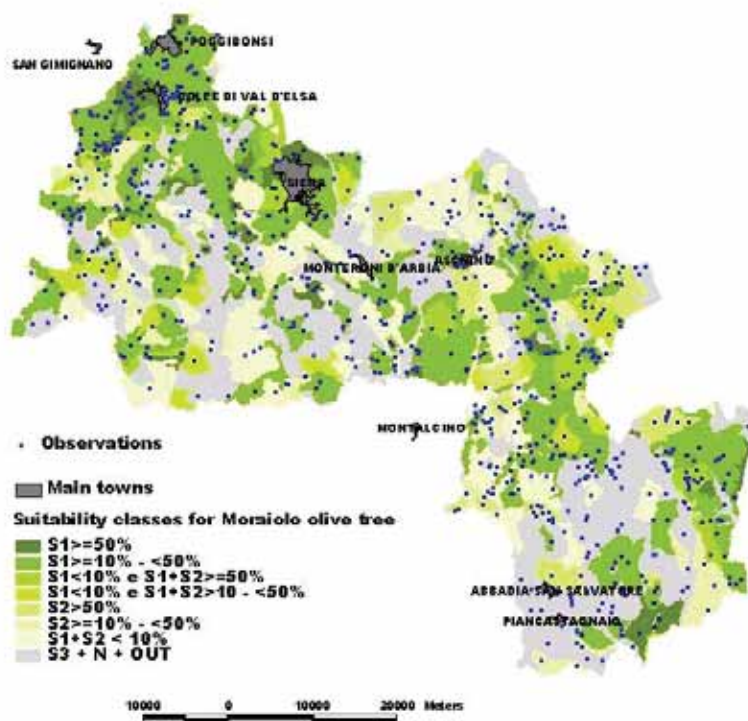


Figura 29.15. Prima approssimazione della carta d'attitudine all'olivicoltura delle terre di Siena e localizzazione dei punti di rilevamento.

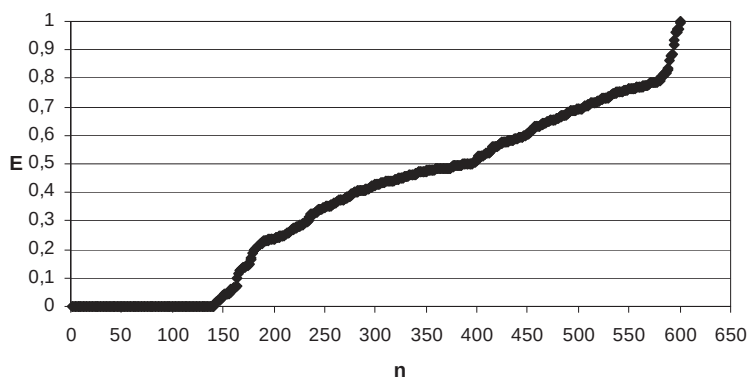


Figura 29.16. Diversità di valutazione nei poligoni della carta d'attitudine. p_i = classe/poligono (km² km⁻²); n = valore cumulato di numero di poligoni, n totale = 601.

29.7.2. L'interpolatore kriging

Nell'esperienza di Siena è stato utilizzato anche un approccio geostatistico. Un rilevamento indipendente a griglia di 127 trivellate è stato realizzato nella parte interessata da una prima valutazione, circa 1600 km², escludendo aree forestali e edificate. L'attitudine all'olivicoltura di ogni osservazione di questa campagna è stata confrontata con quella risultante in quell'area in banca dati, cioè con quella dedotta dal precedente rilevamento pedologico. Sono state considerate due classi di accordo, 0 e 1 (vero o falso), per identica o differente valutazione, oppure quattro classi, in funzione della distanza tra le due valutazioni e cioè, 0 = identica valutazione; 1 = differenza di una classe tra i due approcci; 2 = differenza di due classi; 3 = differenza di tre classi. Tramite il software del GIS utilizzato, sono stati calcolati i semivariogrammi, scelto il modello di spazializzazione migliore e applicato, come interpolatore, il kriging lineare. Il rilevamento a griglia ha indicato che per 70 delle 127 osservazioni vi è una valutazione d'attitudine diversa da quella prevista per quel punto dall'indagine pedologica. La struttura del semivariogramma non mostra però alcuna variazione spazialmente dipendente, cioè le differenze tra dati osservati e predetti appaiono non essere dipendenti dalla loro distanza. Per spazializzare quest'informazione è stato utilizzato, tra i possibili interpolatori, il kriging lineare, con il risultato riportato in figura 29.17.

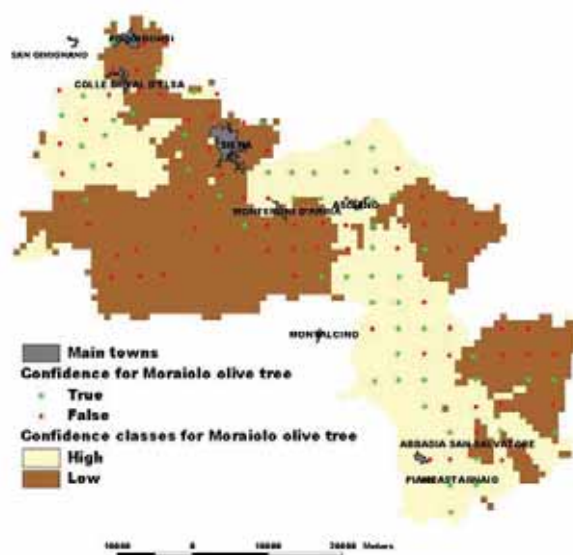


Figura 29.17. Accordo tra la valutazione d'attitudine fornita dal rilevamento pedologico e quella ricavata dall'indagine indipendente a griglia (due classi: vero o falso). Spazializzazione del risultato tramite kriging lineare.

Utilizzando quattro classi di accordo è stato possibile evidenziare come nella maggior parte dei casi la non rispondenza tra valutazione prevista e quella ottenuta è causata da una differenza di solo una o due classi di valutazione (figura 29.18). Anche in questo caso, il semivariogramma non ha mostrato alcuna variabilità spaziale strutturata. La spazializzazione ottenuta con il kriging lineare, pur non fornendo un'affidabilità statistica della valutazione per ogni pixel, ha consentito comunque di confrontare questa informazioni con altre banche dati. Nello specifico, è stato possibile verificare come i risultati peggiori si ottenevano dove vi era maggiore complessità di suoli o minore quantità d'osservazioni in banca dati.

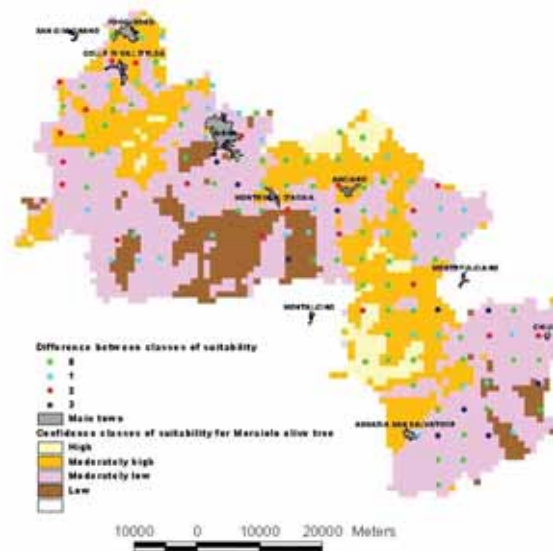


Figura 29.18. Accordo tra la valutazione d'attitudine fornita dal rilevamento pedologico e quella ricavata dall'indagine indipendente a griglia (quattro classi). Spazializzazione del risultato tramite kriging lineare.

29.7.3. Indici sintetici d'affidabilità della valutazione

Oltre all'analisi geostatistica, tramite il rilevamento indipendente a griglia è stato possibile ottenere degli indici sintetici d'affidabilità della valutazione. A tal fine sono stati utilizzati l'errore quadratico medio (RMSE) e l'indice di accordo (I_oA).

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (P_i - O_i)^2}{N}} \quad (3)$$

dove P_i e O_i sono i dati predetti e osservati; N il numero totale di dati.

L'indice I_oA è assimilabile ad una RMSE standardizzata, perciò può variare tra 0, disaccordo totale, e 1, accordo totale tra i valori previsti e quelli osservati:

$$I_oA = \frac{\sum_{i=1}^N (P_i - O_i)^2}{\sum_{i=1}^N (|P_i'| + |O_i'|)^2} \quad (4)$$

dove P_i' e O_i' sono rispettivamente le differenze tra ogni valore e il valore medio dei dati predetti e osservati.

Il valore ottenuto dall'indice $RMSE = 1,31$ esprime come l'errore di valutazione sia stato mediamente di poco superiore ad una classe di valutazione, mentre l'indice d'accordo $I_oA = 0,67$ vuole dire che l'affidabilità complessiva della prima approssimazione della carta d'attitudine alla olivicoltura delle terre di Siena è di quasi il 70%.

Bibliografia

- ALEGRE, S., 2001. *Efecto de diferentes estrategias de riego deficitario controlado durante la epoca estival sobre la produccion de olivo (Olea europaea L.) cv Arbequina*. Tesis doctoral, Universitat de Lleida, Leida, 224.
- ALFEI, B., PANNELLI, G., 2002. *Guida alla razionale coltivazione dell'olivo*. ASSAM, Regione Marche.
- AMIOT, M.J., FLERIET, A., MACHEIX, J.J., 1989. *Accumulation of oleuropein derivatives during olive maturation*. Phytochemistry, 28, 67-69.
- BANDINO, G., DELRIO, G., DETTORI, S., PASCHINO, F., PROTA, U., 1994. *Impianto dell'oliveto, tecniche colturali e aspetti qualitativi dell'olio d'oliva*. Regione Autonoma della Sardegna, Consorzio Interprovinciale per la frutticoltura, Cagliari, Oristano, Nuoro.
- BAREA, J.M., ACZON, R., ACZON AGIULAR, C., 2000. *Micorrizzazione e tecniche microbiologiche per migliorare l'attività radicale in vivaio*. Frutticoltura, 2, 71-75.
- BARGIONI, G., 1992. *Manuale per l'olivicoltore*. Ed. Centro I.R.I.P.A., Federazione Provinciale Coltivatori Diretti, Verona, 1-84.
- BERTUCCIOLI, M., ANICHINI, F., MONTEDORO, G., 1978. *Maturazione delle olive e qualità dell'olio: costituenti volatili dello "spazio di testa"*. Tecnologie Alimentari, 1, 97-104.
- BONGI, G., PALLIOTTI, A., 1994. *Olive*. In: Handbook of Environmental Physiology of Fruit Crops. Schaffer, B. and Andersen, P.C. (Ed.), CRC Press, Boca Raton, Florida, 165-187.

- CAMERA, L., ANGEROSA, F., 1976. *Gli alcoli superiori (alifatici e tripenici) degli oli d'oliva: loro evoluzione nel corso della maturazione delle olive*. Ann., Istituto, Sper., Elaiotecnica, Pescara.
- CHAVES, M., TRONCOSO, A., ROMERO, R., PRIETO, J., LINAN, J., 1976. *Estudio de los caracteres optimos de los suelos de olivar en diferentes zonas de andalucia occidental*. Nutricion del olivo, Sevilla.
- CIMATO, A., 1988. *Variazioni di parametri durante la maturazione delle olive: Influenza delle tecniche colturali*. P.S. "Nuovi orientamenti dei consumi e delle produzioni alimentari". Consiglio Nazionale delle Ricerche Roma (Ed.), giugno, 6-65.
- CIMATO, A., BALDINI, A., MORETTI, R., 1997. *L'Olio di Oliva, Cultivar, Ambiente e Tecniche Agronomiche*. Regione Toscana (Ed.), CNR, ARSIA, 1-93.
- CIMATO, A., BALDINI, A., MORETTI, R., 2001. *Cultivar, Ambiente e Tecniche agronomiche, II Edizione*. Manuale edito Regione Toscana, CNR, ARSIA, gennaio, 1-168.
- CIMATO, A., FIORINO, P., 1985. *L'alternanza di produzione dell'olivo: 2. Influenza dei frutti sulla differenziazione a fiore e sulla nutrizione minerale*. Rivista Ortoflorofrutticoltura Italiana, 69, 413-424.
- CIMATO, A., FIORINO, P., POLI, P. 1986. *Induzione e differenziazione a fiore nell'olivo. 1. Defogliazione ed ombreggiamento strumenti per studiare il processo*. L'Informatore Agrario, 31, 47-50.
- CIMATO, A., LAPUCCI, C., SANI, G., CORTEZ EBNER, S., 2002. *L'utilizzazione del boro nella fertilizzazione fogliare dell'oliveto*. Frutticoltura, 10, 57-61.
- CIMATO, A., MARRANCI, M., TATTINI, M., 1989. *The use of foliar fertilization to modify sinks competition and to increase yield in olive (Olea europaea L. cv Frantoio)*. International Symposium on Olive Growing, Cordoba, 26-29 September, Acta Horticulturae, 286, 175-178.
- CIMATO, A., SANI, G., MARZI, L., MARRANCI, M., 1994. *Efficienza e qualità della produzione in olivo: riflessi della concimazione fogliare con urea*. Olivae, 54, 48-55.
- CORTI, G., CONIGLIO, R., 2000. *Studio pedologico dei suoli coltivati a vite e olivo nel Comune di Montespertoli*. It. Comm., Firenze.
- COSTAGLI, G., GUCCI, R., RAPOPORT, M.F., 2003. *Growth and developement of fruits of olive "Frantoio" under irrigated and rainfed conditions*. Journal of Horticultural, Science and Biotechnology, 78(1), 119-124.
- COSTANTINI, E.A.C., 1985. *La lavorazione del suolo sui terreni pietrosi e in pendenza*. Genio Rurale, XLVIII, 6, 23-33.
- COSTANTINI, E.A.C., PELLEGRINI, S., VIGNOZZI, N., BARBETTI, R., 2006a. *Micromorphological Characterization and Monitoring of Internal Drainage in Soils of Vineyards and Olive Groves in Central Italy*. Geoderma, 131, 3-4, 388-403.
- COSTANTINI, E.A.C., BARBETTI, R., BUCELLI, P., CIMATO, A., FRANCHINI, E., L'ABATE, G., PELLEGRINI, S., STORCHI, P., VIGNOZZI, N., 2006b. *Zonazione viticola ed olivicola della provincia di Siena*. Grafiche Boccacci Editore, Colle val d'Elsa (SI), 224.
- COSTANTINI, E.A.C., BARBETTI, R., RIGHINI, G., 2002. *Managing the Uncertainty in Soil Mapping and Land Evaluation in Areas of High Pedodiversity. Methods and Strategies Applied in the Province of Siena (Central Italy)*. Acts of the Int. Sym. On Soils with Med. type of Climate, CIHEAM IAMB, Bari, 45-56.
- COUTTS, M.P., PHILIPSON, J.J., 1980. *Mineral Nutrition of fruit trees*. Butterworths, London.

- CRESCIMANNO, F.G., SOTTILE, I., AVERNA, V., BAZAN, E., 1975. *Ricerche sulla nutrizione minerale dell'olivo. Variazioni del contenuto in N,P,K,Ca e Mg in piante autoradicate ed innestate*. Ortoflorofrutt., 59, 48-68.
- CRESTI, M., CIAMPOLINI, F., TATTINI, M., CIMATO, A., 1994. *Effect of salinity on productivity and oil quality of olive (Olea europaea L.) plants*. Adv. in Hort. Sci., 8, 211-214.
- DELGADO, A., BENLLOCH, M., FERNÁNDEZ-ESCOBAR, R., 1994. *Mobilization of boron in olive trees during flowering and fruit development*. Hort Science, 29 (6), 616-618.
- DEMETRIADES, S.D., HOLEVAS, C.D., 1968. *Toxicité de bore chez l'olivier*. 2nd Col., Eur., Med., Contr., Fert., Sevilla.
- DETTORI, S., FILIGHEDDU, M.R., IBBA, M., VIRDIS, F., 1999. *Irrigazione con acque saline dell'olivo in vasca lisimetrica*, Frutticoltura, 61, 73-77.
- DI MATTEO M., SPAGNA MUSSO S., GRASSO G., BUFALO G. 1992. *Caratterizzazione agronomica e merceologica in relazione al grado di maturazione delle produzioni di alcune cultivar olearie della provincia di Avellino*. Rivista della Società Italiana di Scienza dell'Alimentazione, 21, 35-36.
- DOORENBOS, J., PRUITT, W.O., 1977. *Las necesidades de agua de los cultivos*. Estudio, FAO, Riego y drenaje, n.24, Roma.
- FERNANDEZ ESCOBAR R., BARRANCO D., BENLLOCH M. 1993. *Overcoming iron chlorosis on olive and peach trees using a low-pressure trunk-injection method*. HortScience, 28, 192-194.
- FERERES, E., 2005. *Strategie d'irrigazione in olivicoltura: uno studio spagnolo*. Phytomazine, 41.
- FERRINI, F., 1996. *Danni da venti e da freddo in olivo*. L'olivicoltura mediterranea verso il 2000. Atti VII°, International Course on olive growing, Scandicci, 6-11 maggio, 239-245.
- FRIAS, L., GARCIA, A., FEFFEIRA, J., 1975. *Composition en acidos grasos del aceite de oliva en frutos con distinto grado maduro*. Il Sem., Oleic., Int., Cordoba, 6-17 Oct.
- GOLDHAMER, D.A., DUNAI, J., FERGUSON, L., 1993. *Water use requiremens of Manzanillo olives and responses to sustained deficit irrigation*. Acta Horticulturae, 474, 369-372.
- GONZALES, F., CATALINA, L., SARMENTO, R., 1976. *Aspectos bioquimicos de la floración del olivo, var. "Manzanillo", en relación con factores nutricionales*. IV Coll., Int., CNRS, Gent, 409-426.
- GUCCI, R., 1998. *Effetti dei fattori ambientali sulla produttività dell'olivo*. Atti VII, International Course on Olive Growing, Scandicci, 6-11 maggio, 207-211.
- GUCCI, R., 2003. *L'irrigazione in olivicoltura*. ARSIA, Regione Toscana (Ed.).
- GUCCI, R., 2005. *Linee guida per la semplificazione della potatura in olivicoltura*. Phytomazine, 41.
- GUCCI, R., TATTINI, M., 1997. *Salinity tolerance in olive*. Horticultural Reviews, 21, 177-214.
- GUERRIERO, R., SCARAMUZZI, F., CRESCIMANNO, F.G., SOTTILE, I., 1972. *Ricerche comparative fra olivi innestati ed autoradicati*, Tecnica Agricola, 4.
- GUERRIERO, R., VITAGLIANO, C., 1973. *Influenza dell'ombreggiamento sulla fruttificazione dell'olivo*. L'Agricoltura italiana, 73, 85-115.
- HARTMANN, H.T., URIU, K., LILLELAND, O., 1966. *Olive nutrition. Fruit nutrition*. Childers (Ed.), Brunswich N., 252-261.
- INGLESE, P., BARONE, E., GULLO, G., 1996. *The effect of complementary irrigation on fruit growth, ripening pattern and oli characteristics of olive (Olea europea L.) cv. Carolea*. Journal of Horticultural Science, 71(2), 257-263.

- IUSS-ISRIC-FAO-ISSDS, 1999. *World Reference Base for Soil Resources*. Versione italiana a cura di Costantini, E.A.C., Dazzi, C., ISSDS, Firenze, 98.
- LA CERTOSA, G., MONTEMURRO N., PALAZZO, D., PIPINO, V., 1998. *Stato nutrizionale dell'olivo e fertilità dei terreni*. L'Informatore Agrario, 15, 109-144.
- LAVEE, S., 1977. *The grow potential of the olive fruit mesocarp in vitro (Olea europaea)*. Acta Hort., 78, 115-122.
- LAVEE, S., NASHEF, M., WONDER, M., HARSHMESH, H., 1990. *The effect of complementary irrigation added to old olive trees (Olea europaea L.) cv Souri on fruit characteristics, yeld and oil production*. Advances in Horticulturae Science, 4, 135-138.
- LAVEE, S., WODNER, M., 1991. *Factors affecting the nature of oil accumulation in fruit of olive (Olea europaea L.) cultivars*. Journal of Horticult. Science, 66, 5, 583-591.
- LULLI, L., 2004. *Il suolo e la qualità dei prodotti*. Bollettino della Società Italiana della Scienza del suolo, 53, 21-24.
- MAZZONCINI, M., BONARI, E., 2002. *Adattare le lavorazioni al tipo di agricoltura*. L'Informatore Agrario, 24, 35-39.
- MODI, G., SIRIANI, G., NIZZI GRIFI, F., 1992. *Diminuzione di clorofilla e di betacarotene in olive della cultivar Frantoio durante la maturazione*. Bollettino Chimici Igienisti, 43, 141-146.
- MONTEDORO, G., 1981. *Raccolta Meccanica delle olive*. C.N.R., Progetto Finalizzato, Roma.
- MORETTINI, A., 1972. *Olivicoltura*. R.E.D.A, Roma.
- MOSQUERA, M.I., FERNANDEZ-GARRIDO, J., 1989. *Chlorophyll and Carotenoid presence in olive fruit (Olea europaea)*. J. of Agric. and Food chemistry, 37,1, 1-7.
- NAVARRO, C., PARRA, M.A., 2001. *Plantación*. In: El cultivo del olivo, Barranco, D., Fernandez-Escobar, R., Rallo, L., (Ed.), Junta de Andalusia, 173-213.
- NUZZO, V., DICHIO, B., XYLOYANNIS, C., 1995. *Effetto cumulo negli anni della carenza idrica sulla crescita della parte aerea e radicale della cv. Coratina*. Atti del convegno Olivicoltura Mediterranea, Rende (CS), 26-28 gennaio, 512-518.
- OLIAS, J.M., GUTIERREZ, F., DOBARGANES, M.C., GUTIERREZ, R., 1980. *Componentes volatiles en el aroma del aceite de oliva. IV. Su evolucion e influencia en el aroma durante el proceso de maduracion de los frutos en las variedades Picual y Hojiblanca*. Grasas y Aceite, 31, 391-401.
- ORTEGA NIETO, J.M., 1969. *La poda dell'olivo*. Min. Agric., Madrid.
- PALESE, A.M., CELANO, G., XILOYANNIS, C., 1996. *L'importanza del terreno nell'oliveto*. Olivo&Olio, XX, 22-25.
- PATUMI, M., BRAMBILLA, I., LUCHETTI, A., 1990. *Indagini sulla biosintesi lipidica in drupe di olivo. Possibili correlazioni con aspetti quantitativi e qualitativi*. Atti Conv., Problematiche qualitative dell'olio di oliva, Sassari, 6 novembre, 307-316.
- PATUMI, M., FONTANAZZA, G., BALDONI, L., BRAMBILLA, I., 1998. *Determination of some precursors of lipid biosynthesis in olive fruits during ripening*. International Symposium on Olive Growing, Cordoba, 26-29 Sept, Acta Horticultrae, 286, 199-202.
- ROMANI, A., 1996. *Aspetti del metabolismo dei polifenoli in frutti di olivo*. International Course On Olive Growing, Scandicci, 6-11 maggio.
- SANCHEZ, RAYA, A.J., DONAIRE, J.P., MARTIN, E., RECALDE, L., 1975. An. Edafologia Agrob., 34, 98-104.
- SANCHEZ, J., HARWOOD, J.L., 1992. *Fatty acid synthesis in soluble fractions from olive (Olea europaea L.) fruits*. Journal of Plant Physiology, 140, 4, 402-408.

- SBARAGLIA, M., LUCCI, E., 1994. *Guida all'interpretazione delle analisi del terreno ed alla fertilizzazione*. Studio Pedon, Roma, 123.
- SERVILLI, M., BALDIOLI, M., PERRETTI, G., COSSIGNANI, L., SANTINELLI, F., MONTEDORO, G.F., 1995. *Evoluzione di alcuni componenti minori dell'oliva dal frutto all'olio*. Atti Convegno Internazionale "L'olivicultura Mediterranea", Rende, (Cs), 26-28 gennaio, 695-699.
- SOLINAS, M., DI GIOACCHINO, L., CUCURACHI, A., 1975. *I polifenoli delle olive e dell'olio. 1. Variazioni dei polifenoli con il procedere della maturazione*. Annali Istituto Sperimentale Elaiotecnica, Pescara, 5, 105-129.
- TISCORNIA, E., BESTINI, G.C., PAGANO, M.A., 1978. *La composizione della frazione sterolica di oli ottenuti da olive campionate in differenti momenti del loro ciclo di maturazione*. Riv., Ital., Sost., Grasse, 55, 277-282.
- TITTARELLI, F., NERI, U., POLETTI, P., LA CERTOSA, G., RAUS, R., 2002. *Monitoraggio dello stato nutrizionale dell'olivo*. L'Informatore Agrario, 44, 37-51.
- TOMA, M., 1999. *Dieci anni di sperimentazione olivicola in Toscana*, Manuale Arsia, (Ed.), Regione Toscana, ARSIA, 1-167.
- TOMBESI, A., 1994. *Olive fruit growth and metabolism*. Acta Horticulturae, 356, 225-229.
- TOMBESI, A., STANDARDI, A., 1977. *Influenza dell'Alar su alcune caratteristiche delle drupe di tre cultivar di olivo*. Rivista Ortoflorofrutticoltura Italiana, 58, 4, 265-273.
- TRONCOSO, A., 1998. *Nutrition mineral del olivo*. In: International Course on Olive Growing, (Ed.), COI, CNR, ARSIA, Regione Toscana, Scandicci, 6-11 maggio, 185-196.
- TURA, D., FAILLA, O., PEDÒ, S., GIGLIOTTI, C., SERRAIOTTO, A., BASSI, D., 2005. *Andamento meteorologico e qualità dell'olio extravergine di oliva*. L'Informatore Agrario, 8, 53-56.
- VASQUEZ RONCERO, A., MAESTRO DURAN, R., GRACIANI COSTANTE, E., 1971. *Cambions en los polifenoles de la aceituna durante la maturacion*. Grasas y Aceite, 5, 366-370.
- VINCIERI, F., 1997. *Polifenoli nelle olive: caratteristiche analitiche, nutrizionali ed attività per la tutela della salute*. Convegno Internazionale "Arauco '97", La Rioja, (Argentina), 6-11 maggio.
- VEGA, V., FERNANDEZ, M., PASTOR, M., ROJO, J., HIDALGO, J., ZAPATA, A., 2001. *Riego con aguas salinas de olivar joven en crecimiento en condiciones de campo. Efectos sobre la production*. XIX Congreso National de Riegos. Zaragoza, 12-14, Juño 2001, 95-96.
- XILOYANNIS, C., DICHIO, B., SOFO, A., PALESE, A.M., 2004. *Capacità di adattamento dell'olivo agli ambienti siccitosi*. L'Informatore Agrario, 40, 43-45.
- ZUCCONI, F., NERI, D., SABBATICI, P., 1996. *Fertilità del suolo e concimazioni minerali*. In: Corso internazionale "Gestione dell'acqua e del territorio per un'olivicultura sostenibile".
- WILLIAMS, M., SANCHEZ, J., HANN, A.C., HARWOOD, J.L., 1993. *Lipid biosynthesis in olive cultures*. Journal of Experimental Botany, 44, 1717-1723.

Ministero delle Politiche Agricole, Alimentari e Forestali
Osservatorio Nazionale Pedologico e per la Qualità del Suolo Agricolo e Forestale

In collaborazione con:
International Union of Soil Sciences
Società Italiana della Scienza del Suolo
Commissione VI - Uso e Conservazione del Suolo

BELLINI, E., GIORDANI, E., MORELLI, D., 2006. *Il pesco*. In: Costantini, E.A.C. (Ed.),
Metodi di valutazione dei suoli e delle terre, Cantagalli, Siena, pp. 922.

Collana dei metodi analitici per l'agricoltura diretta da Paolo Sequi, vol. 7

CRA - Consiglio per la Ricerca e la Sperimentazione in Agricoltura
Istituto Sperimentale per lo Studio e la Difesa del Suolo, Firenze

30. Il pesco

Elvio Bellini¹, Edgardo Giordani¹, Daniele Morelli¹

30.1. Specie, prodotti, usi	3
30.2. Varietà ed impollinatori	4
30.2.1. Varietà	4
30.2.2. Impollinatori	7
30.3. Portinnesti	7
30.4. Esigenze della pianta e tecniche colturali.....	10
30.4.1. Clima.....	10
30.4.2. Fertilizzazione	11
30.4.3. Fabbisogno idrico e irrigazione.....	14
30.4.4. Gestione del suolo.....	16
30.4.5. Impianto e allevamento	17
30.4.6. Potatura.....	19
30.4.7. Problemi sanitari e rimedi	19
30.5. Caratteri ambientali per la coltivazione del pesco	22
30.6. Caratteri funzionali del suolo.....	23
30.6.1. Profondità del suolo	23
30.6.2. Tessitura e fessurazione	23
30.6.3. Salinità e sodicità	24
30.6.4. Drenaggio	25
30.6.5. Ristagno idrico	25
30.6.6. Disponibilità d'ossigeno.....	25
30.6.7. Reazione (pH).....	25
30.6.8. Calcare attivo	26
30.6.9. Stanchezza del terreno.....	26
30.6.10. Schema di valutazione	26
Bibliografia di riferimento.....	28

¹ Università di Firenze - Facoltà di Agraria, Dipartimento di Ortoflorofrutticoltura

30.1. Specie, prodotti, usi

Il pesco (*Prunus persica*) è ritenuto originario della Cina e non della Persia come, erroneamente, siamo abituati a pensare. È proprio dalla Cina, coltivato fin dal 2000 a.C., che è pervenuto in Europa da oltre 20 secoli, passando per la Persia; il pesco era coltivato nell'antica Roma fino alla caduta dell'Impero. In America Centrale fu introdotto verso la metà del 1500, da dove si è

Ordine: ROSALES

Famiglia: ROSACEAE Juss

Sottofamiglia: PRUNOIDEAE

Genere: PRUNUS

Sottogenere: AMYGDALUS

Specie:

Prunus persica (L.) Batsch (comprende pesche, nettarine e percoche)

Alcuni botanici distinguono:

P. p. nucipersica Suckow (pesche noci o nettarine, indicate anche con i sinonimi botanici *P. p. laevis* e *Persica laevis*)

P. p. compressa Loudon (pesche piatte, indicate anche con i sinonimi botanici *P. p. platycarpa* e *Persica platycarpa*)

Altre specie interessanti:

P. amygdalus Batsch (mandorlo, per l'ottenimento di portinnesti resistenti alla siccità e ai tenori elevati di calcare attivo)

P. davidiana Carr. (per portinnesti resistenti ai nematodi)

P. ferghanensis (da frutto, fonte di resistenza all'oidio)

P. kansuensis Rehd. (da frutto e fonte di resistenza all'oidio)

P. mira Koehne (per l'epoca di maturazione tardiva)

successivamente espanso in Florida e Sud America. Nel 1600 è stato esportato in Sud Africa e nel secolo successivo in Australia e Nuova Zelanda.

Il frutto è una drupa di forma globosa o ellissoidale (con l'eccezione delle cultivar di *P. platycarpa*, che presentano un frutto schiacciato, cioè piatto) formata da un epicarpo (buccia) tormentoso o

glabro; da un mesocarpo (polpa) di colore giallastro, biancastro o sanguigno (fondente o non fondente); da un endocarpo lignificato (più o meno aderente alla polpa) contenente un seme.

Il frutto viene destinato quasi esclusivamente al consumo fresco (circa il 90%); il restante è trasformato industrialmente (essiccazione, purea e polpa, surgelazione; con le percoche, in particolare, si fanno sciroppati e sono usate per la canditura). La porzione maggiore del frutto è rappresentato dall'acqua (90% circa), in forma libera e legata, che mantiene il turgore delle cellule e, indirettamente, la tessitura del frutto. I carboidrati, principalmente saccarosio, glucosio e fruttosio, sono i costituenti più abbondanti delle pesche (7,5-8,5%); la fibra è costituita da cellulosa, sostanze pectiche ed emicellulose. Gli acidi primari sono rappresentati dall'acido malico, dall'acido citrico e quinic; il frutto è una buona fonte di sostanze minerali (0,8%), vitamina C ($4 \mu\text{g } 100\text{g}^{-1}$) e soprattutto vitamina A ($27 \mu\text{g } 100\text{g}^{-1}$). I composti fenolici hanno interesse dal punto di vista farmacologico, dello sviluppo del colore e del sapore: essi sono implicati soprattutto nella colorazione rossa dell'epicarpo, nell'astringenza e nell'imbrunimento enzimatico delle pesche sottoposte a trattamenti termici. Mentre la colorazione giallo-arancio delle pesche è attribuita principalmente alle xantofille, la colorazione rossa si deve essenzialmente alla presenza delle antocianine.

La produzione mondiale (FAO, 2004) di pesche e nettarine si attesta sulle 15.561.000 t, quella europea intorno alle 4.556.600 t; i principali paesi produttori del 2004 sono: Cina con 5.782.000 t, Italia con 1.750.000 t e Usa con 1.428.600 t. Seguono Spagna (1.111.100 t), Grecia (955.000 t), Turchia (460.000 t) e Francia (408.400 t). Tra le regioni italiane maggiormente coinvolte nella produzione di pesche e nettarine troviamo l'Emilia Romagna (615.550 t), la Campania (376.500), il Piemonte (138.250 t), il Veneto (105.200 t), la Sicilia (91.100 t), la Puglia (76.700 t), e il Lazio (54.100 t) (ISTAT, 2004). Interessante è sottolineare per le pesche come nonostante la molteplicità di varietà coltivate, le prime 10 varietà a livello nazionale coprono circa il 70% degli impianti totali. In Emilia Romagna, in generale, prevalgono varietà a maturazione precoce (Springbelle, Royal Glory, Royal Gem, Flavorcrest), seguite da quelle intermedie (Redhaven, Rich Lady, Maria Marta, Elegant Lady, ecc.); mentre il calendario delle nettarine è più spostato verso il medio-tardivo (spiccano Maria Aurelia, Stark Red Gold e Venus). La coltivazione di pesche e nettarine (tra le più importanti troviamo Nectaross e Maria Laura) in Piemonte è maggiormente incentrata su varietà a media maturazione.

Infine, scendendo verso Sud si assiste, in linea generale, ad un aumento dell'interesse verso pesche precoci ed extra-precoci.

30.2. Varietà ed impollinatori

30.2.1. Varietà

Analizzando i dati provenienti dai vari campi sperimentali dislocati in tutta Italia, gestiti dalle unità operative del Progetto finanziato dal MiPAF, si evidenzia che la quasi totalità delle cultivar di pesche e nettarine trova, scendendo dal Nord al Sud, condizioni climatiche sempre più congeniali alle proprie esigenze. Ad eccezione del soddisfacimento delle ore di freddo che in certi areali del Sud, come il Metapontino, non sempre è sufficiente, tutti gli altri caratteri agro-bio-pomologici vengono esaltati man mano che il clima diventa più mite e il periodo vegetativo più lungo.

Le cultivar che traggono i maggiori benefici in questi ambienti sono quelle a maturazione precoce e extra-precoci sulle quali influiscono favorevolmente l'anticipata ripresa vegetativa e la marcata incidenza della radiazione solare. Al Nord, le basse temperature, l'eccessiva umidità e la scarsa radiazione solare rendono difficile la coltivazione di varietà tardive e soprattutto molto-tardive. Tra le proposte più importanti incontrate nella lista varietale del pesco 2005 si possono ricordare quelle riportate in seguito.

Pesche gialle

L'evoluzione varietale di questo gruppo pomologico consente la permanenza di prodotto fresco sul mercato per circa 110 giorni: dalla extra-precoce Early Maycrest (-37 giorni dalla cv di riferimento Redhaven; quest'ultima matura dal 1 al 5 luglio al Sud, dal 5 al 10 luglio al Centro, dal 20 al 30 luglio al Nord) alla Fairtime (+68).

Tra questi estremi s'inseriscono un elevato numero di varietà che differiscono per epoca di raccolta, caratteristiche agronomiche e adattabilità. Nel periodo extra-precoce solo due varietà sono valide al Nord, Rich May* (-36 al Sud) e Maycrest®(-31); tutte tranne Françoise®e Rich May* dimostrano di avere buona consistenza della polpa e adeguata produttività, però difettano in sapore, ad eccezione di Queencrest®al Sud (-33), a causa di un insufficiente grado zuccherino. In epoca precoce un po' tutte le cultivar dimostrano pregevoli caratteri agronomici e pomologici, soddisfacenti per le tre grandi aree; tra queste ricordiamo Lolita* (-29), Springcrest (-26), Spring Lady®(-24), Crimson Lady* (-22) e Bigi Red (-7) che è in corso di valutazione al Centro e al Nord.

Nel periodo intermedio (0/+30), in generale, si può assistere ad una produttività molto soddisfacente al Sud e adeguata per le altre aree. Buoni anche i parametri di pezzatura, consistenza aspetto e sapore. Tra queste troviamo Redhaven, Red Moon*, Lara Star® Rich Lady* che rispondono alle suddette caratteristiche; mentre altre sono scartate al Nord (Red Top, Pontina, Royal Moon e Royal Red) e pure al Centro (Red Valley*, Red Coast* e Royal Red).

Nel periodo tardivo e molto tardivo si registrano varietà dai buoni caratteri di natura agronomica e pomologica come pezzatura, consistenza e sapore (il grado zuccherino, in generale, aumenta passando da Nord a Sud; viceversa, l'acidità diminuisce). In questo periodo si accentua il distacco tra le cultivar valide al Sud e al Centro (13), tra cui Fayette (+30), Royal Prince®(+34), O'Henry (+45), Fairtime (+68), e al Nord (5), tra queste Summer Lady* e Padana. Valide da Nord a Sud sono Red Star* e Guglielmina.

Pesche bianche

Le pesche a polpa bianca giudicate idonee maturano in un arco estivo di circa quattro mesi: da Primerose (-40) a Regina d'Ottobre (+63). Le pesche a maturazione extra-precoce e precoce sono valide esclusivamente al Sud, ad eccezione di Iris Rosso valide ovunque; le carenze sono da ricercare principalmente nei caratteri pomologici, tra i quali la scarsa consistenza e tenuta della polpa, la presenza di umbone, la pezzatura, la colorazione e il sapore. In epoca intermedia, pur restando un'accentuata differenza

* Questo simbolo indica che la cultivar è protetta.

®Questo simbolo indica "marchio registrato".

d'adattabilità tra Nord e Sud si registra un miglioramento delle caratteristiche pomologiche, tra le migliori: Maria Bianca, Greta* e Benedicte®

Nel periodo tardivo e molto tardivo tutte le cultivar in lista (tranne White Maeba) sono risultate valide al Sud; di esse quasi la metà risultano valide anche per il Nord. Pienamente soddisfacenti sono risultati i caratteri agronomici, più che sufficienti quelli relativi a produttività e pezzatura, mentre le altre caratteristiche pomologiche (colore e forma) non sono del tutto soddisfatte, come nel caso di Maria Angela (+31), Tardivo Zuliani (+36) e Regina Bianca (+40). È da considerare che alcune di queste sono di più vecchia costituzione e ritenute non adatte per i moderni sistemi di raccolta e confezionamento, ma restano in lista perché rappresentano, in alcune regioni, interessanti produzioni di nicchia: Michelini per il Piemonte, Regina di Londa e Regina d'Ottobre per la Toscana.

Nettarine gialle

Le nettarine a polpa gialla rappresentano, dopo le pesche gialle, il gruppo pomologico più numeroso; verso di esse sono rivolte le attenzioni dei frutticoltori nelle più importanti aree di produzione. In epoca extra-precoca (da Green Sun*, -30, a Armking) non si incontra nessuna cultivar adatta per il Nord, mentre tutte sono più o meno valide al Sud. I maggiori difetti che le caratterizzano sono da riscontrare nella piccola pezzatura, la scarsa produttività e la presenza di *cracking*.

Superano l'esame le nettarine a maturazione precoce, da Rita Star®(-18), Laura*, Ambra*, fino a Spring Bright (-1). Tra queste emerge la subacida Big Top®(-4) che riporta elevati valori nel calibro e nella consistenza. Anche nel periodo intermedio poche sono le varietà ritenute valide per il Nord: tra esse si annoverano Independence, Maeba Top®, Diamond Red*, Stark Red Gold, Nectaros, Maria aurelia, Venus e Orion*. Le nettarine di questo periodo non riescono a soddisfare pienamente i frutticoltori per inaffidabilità produttiva (ad esempio Flavortop e Maria Carla), o carenze pomologiche (Firebrite, Ruby Grand e Summer Grand®). Le considerazioni fatte per gli altri gruppi pomologici valgono anche per le nettarine gialle del tardo periodo; resta esiguo il numero di queste adatte al Nord, mentre fra le più interessanti troviamo: Sweet Red®(+33) Maria Dolce* (+34), Sweet Lady* (+38), Lady Erica®(+46), Morsiani 90®(+54) e August Red®(+55).

Nettarine bianche

È un gruppo ancora scarsamente rappresentativo, per il quale si nutrono favorevoli aspettative. Tra i difetti imputabili vi sono la minore affidabilità produttiva e le inferiori caratteristiche pomologiche. Nel periodo extra-precoca e precoce tutte le cultivar sono presenti al Sud; tra queste Early Silver* (-19), Silver Rome* (-11), Jade®(-10), Silver Splendid* (-9) e Caldesi 2000* (-8) sono adatte anche al Centro Sud. Di quasi tutte si denuncia una scarsa sovracolorazione della buccia e consistenza. Nel periodo intermedio e tardivo

le più adattabili si sono dimostrate Emeraude®(+7), Caldesi 2010* (+22), Silver Star* (+33) e Silver Giant* (+35).

Percoche

Le 21 cultivar di percoche giudicate idonee in lista maturano in un arco estivo di poco più di due mesi, ma solo poche sono considerate idonee all'industria di trasformazione. In generale, come ribadito per gli altri gruppi pomologici, tutte sono giudicate positivamente al Sud e nelle Isole, anche perché molte di queste vengono utilizzate soprattutto per il consumo fresco; non altrettanto al Centro, dove le cultivar in lista sono 13, e al Nord dove le varietà idonee sono solo 4. Le cultivar ritenute più valide in ogni ambiente di coltivazione sono Romea (che matura con Redhaven), Carson (+14), Andross (+32) e Jungermann (+36); tutte queste posseggono buone produttività, pezzatura, consistenza e ottimo sapore della polpa; per questi ed altri caratteri sono ritenute idonee all'industria di trasformazione.

30.2.2. Impollinatori

Il pesco è una specie autofertile, ma non mancano casi di sterilità di tipo morfologico, riscontrabili in alcune cultivar androsterili, quali Alamar, Aurora, Candoka, J.H.Hale, Mid Gold, Mikado, Hiley Belle, June Elberta, Ruby Gold, Solo, Summerqueen, Vellutata di Holliwood, ecc. Altre cultivar (ad esempio Tulip) presentano uno stilo anomalo, riflesso, per cui lo stimma non è raggiungibile dalle api bottinatrici. Fortunatamente tutte le varietà che vengono coltivate presenti nelle Liste e quelle ancora in valutazione sono altamente autofertili ed interfertili. In ogni caso è bene favorire l'impollinazione per vie entomofila: l'ape è l'insetto più attivo.

30.3. Portinnesti

La necessità di adattare il pesco ai vari ambienti nei quali la sua coltivazione si è sviluppata, ha determinato la costituzione e l'introduzione di nuovi portinnesti. Da anni è diventato operativo il gruppo di lavoro "Valutazione dei portinnesti dei fruttiferi", promosso e finanziato dal MiPAF.

Portinnesti franchi

Tra le soluzioni proposte troviamo il gruppo dei portinnesti franchi, cioè derivati da seme di *Prunus persica*. Il franco rappresenta il portinnesto più diffuso nei terreni ritenuti idonei per il pesco (attualmente tende ad essere sostituito dal GF677); è sensibile a nematodi e ad *Agrobacterium tumefaciens*. Affine a tutte le cultivar induce elevata vigoria, buona produttività e buone caratteristiche qualitative dei frutti. A livello vivaistico si utilizzano semi di piante selezionate appositamente; come, ad esempio, il Franco Slavo (*P.*

silvestris) che è stato il più diffuso in Italia fino a quando è stato possibile reperirne i semi. Tra le numerose selezioni che sono state esaminate, solo alcune sono largamente utilizzate: il Missouri (e suoi cloni I, II, III, ecc.) viene preferito in Italia, anche per la mancanza del franco slavo, e in altri paesi mediterranei per la sua seppure limitata tolleranza ai nematodi e una minore sensibilità al cancro radicale; non può essere impiegato in terreni precedentemente coltivati a pesco, né in quelli pesanti ed umidi. Importante risulta anche la serie PS, diffusa dall'Università di Pisa; è interessante per l'uniformità dei soggetti ottenuti che conferiscono anche una costante produttività, mentre si differenziano per il vigore; il PS B 2 induce un vigore pari al franco slavo; mentre il PS A 5 induce un vigore inferiore del 10-15 %, pertanto è idoneo per impianti intensivi o per varietà molto vigorose.

Portinnesti ibridi di pesco

Al fine di superare alcuni limiti d'adattabilità del franco alle condizioni pedologiche nelle quali la coltura si era diffusa, il pesco è stato incrociato con altre specie per l'ottenimento di nuovi portinnesti, il più importante tra i quali risulta essere il GF 677 (*P. persica x amygdalus*) che è ormai il portinnesto più utilizzato. Induce un vigore maggiore del franco pari al 10-15%; questo portinnesto ha risolto in parte il problema del ristoppio (terreni stanchi), e quello della clorosi in quei terreni dove il calcare attivo può superare l'8%, cosa frequente nel meridione italiano ed in altre zone dei paesi mediterranei. Ha mostrato ottima affinità con tutte le varietà di pesche e nettarine; tollera male i suoli argilloso-limosi e quelli soggetti a ristagni idrici. Mostra sensibilità nei confronti dell'*Armillaria mellea*, dell'*Agrobacterium tumefaciens*, della *Phytophthora cactorum* e *Stereum purpureum*. Gli ibridi Hansen® sono piuttosto sensibili all'*Agrobacterium*, ma presentano un'elevata resistenza al calcare e sono immuni da nematodi galligeni. Fra le nuove introduzioni di ibridi, particolarmente interessante è Sirio® (I.S. 5/22), selezionato dal Dipartimento di Coltivazione e Difesa delle piante legnose dell'Università di Pisa assieme ad altri cloni, in quanto induce una vigoria del 40-50% in meno rispetto al GF 677 ed una buona resistenza al calcare (fino anche al 13%), anche se interferisce negativamente sulla pezzatura dei frutti. Sono in corso prove per verificare il possibile utilizzo nei terreni ristoppiati o con problemi legati alla stanchezza. Per terreni pesanti, dove il GF 677 non tollera il ristoppio, un ibrido che vale la pena sperimentare è Barrier®1. (*P. persica x P. davidiana*); resiste inoltre ai nematodi e grazie al suo apparato radicale espanso e profondo, mostra un buon adattamento a vari tipi di terreno, compresi quelli clorosanti, asfittici e affetti da stanchezza.

Portinnesti di susino

I portinnesti per il pesco derivanti dal susino sono utilizzati in quantità modesta e possono trovare una valida applicazione solo in particolari condizioni che non permettono la buona riuscita del franco o del GF 677. Tra

questi, al momento, solo l'MrS 2/5 sta riscontrando un certo successo perché indicato per terreni affetti da stanchezza. Esso rappresenta una valida alternativa al franco e al GF 677 in terreni fertili o molto fertili, dove consente di ridurre notevolmente i sesti d'impianto e di utilizzare forme di allevamento poco espanse (fusetto e vasetto ritardato). Un limite alla sua diffusione è costituito da problemi d'ordine vivaistico. Un ibrido interspecifico complesso e polivalente, caratterizzato da una buona affinità d'innesto ed una ridottissima attività pollonifera è l'Ishtara-Ferciana. Esso conferisce alle piante innestate un vigore medio; nei terreni fertili e freschi riesce a contenere lo sviluppo dell'albero, ma è sensibile a contenuti di calcare attivo > 5%.

Due nuovi portinnesti, il Penta e il Tetra, si inseriscono nel panorama dei portinnesti di susino per il pesco. L'Istituto Sperimentale per la Frutticoltura di Roma li ha ottenuti per libera impollinazione di Imperial Epineuse il primo, e di Regina Claudia Verde il secondo. Innestati con diverse varietà di pesco e nettarine, sono stati saggiati per diversi anni in cinque località con condizioni pedoclimatiche differenti fornendo sempre eccellenti risultati, sia nei terreni argillosi, pesanti, che in quelli sciolti o di medio impasto. Le differenze principali tra i due portinnesti consistono nelle maggiori dimensioni che il Penta induce alle piante rispetto a Tetra (+10-15%); nell'anticipo di maturazione di alcuni giorni che Tetra induce rispetto a Penta e al pesco franco e, anche se in ambedue i portinnesti è molto elevata, in una migliore efficienza produttiva del Penta.

Il Ministero delle Politiche Agricole e Forestali, a partire dal 1994, nell'ambito del sottoprogetto "Valutazione dei Portinnesti", ha avviato delle ricerche per valutare il comportamento di alcuni portinnesti sulla cultivar Suncrest, dislocando gli impianti presso varie Unità Operative, situate al Nord (Cuneo e Forlì), al Centro (Pisa, Ancona e Roma), al Sud (Caserta, Matera e Catanzaro) e in Sardegna (Cagliari). Gli studi hanno portato ai seguenti risultati: in termini di sviluppo vegetativo, espresso come area della sezione del tronco, il GF 677 ed il Barrier 1 hanno costantemente indotto un'elevata vigoria, mentre portinnesti Franchi, o cloni di susino come l'Ishtara e Julior (Ferdor), hanno mostrato una limitata differenza di sviluppo rispetto alla media generale. Il maggiore sviluppo, risulta ancora più accentuato in condizioni di minore fertilità, elevato contenuto in calcare attivo, assenza di irrigazione, pendenza del terreno o pesantezza del suolo (ad esempio nella stazione di Forlì, in cui le caratteristiche pedologiche erano le seguenti: tessitura argilloso-limosa, con contenuto di calcare attivo pari al 6,5%, pH neutro, scarsamente dotato in sostanza organica (< 2%) e di azoto totale (< 1,2 ‰), con elevata capacità di scambio cationico (> 30 meq 100g⁻¹), e nelle stazioni Ancona, Pisa, Roma, Caserta e Cagliari). Al contrario, in condizioni di fertilità buona o elevata, le differenze di sviluppo dei Franchi di pesco e dei cloni di susino Ishtara e Julior sono meno evidenti. Al maggior ingombro volumetrico della chioma delle piante innestate su GF 677 e, in minor misura su Barrier 1, ha corrisposto un'elevata incidenza del materiale asportato con la potatura verde. Anche per

quel che riguarda la produttività i due ibridi, GF 677 e Barrier 1, hanno fornito le produzioni cumulate maggiori, seguiti da PS A5, PS A6 e Ishtara, però con produzioni nettamente inferiori ai primi due. Anche qui l'ambiente ha giocato un ruolo fondamentale visto che, in alcune zone (Cuneo, Matera e Caserta) i Franchi di pesco e l'Ishtara hanno fornito risultati uguali o superiori del Barrier 1. Complessivamente, però, le differenze sulla produzione non sono state così incidenti come per lo sviluppo vegetativo; questo perché il minore rigoglio di alcuni portinnesti ha favorito una maggiore penetrazione della luce, determinando così una migliore efficienza fotosintetica; difatti, la minore efficienza fotosintetica è riscontrabile nel GF 677. Per quanto riguarda i caratteri qualitativi, espressi come peso medio del frutto, le differenze sono da imputare più ai vari ambienti che ai portinnesti. Appare evidente che nelle stazioni in condizioni di ridotta fertilità, ed in particolare assenza d'irrigazione, difficilmente sono state raggiunte pezzature elevate.

30.4. Esigenze della pianta e tecniche colturali

30.4.1. Clima

In linea di massima le condizioni climatiche italiane e degli altri Paesi mediterranei sono ideali per la coltivazione del pesco che può sopportare limiti assai ampi, da minime invernali anche di -15 o -18°C fino ad ambienti subtropicali dove il riposo invernale è alquanto limitato. Si spiega anche così l'enorme quantità di varietà diffuse nel mondo ed i numerosi costitutori che continuamente ne presentano di nuove. La scelta della gamma di varietà che abbiano un fabbisogno in ore di freddo adatto alla zona nella quale si opera, è determinante per la riuscita della coltura, che trova la giusta collocazione in terre di pianura e collina. Da considerare che, data la precoce fioritura, vanno evitati ambienti soggetti a ritorni di freddo primaverili, ai quali il pesco è molto suscettibile. Sono da preferire esposizioni favorevoli che possano assicurare le migliori condizioni, più facili da riscontrare in collina dove le minime invernali sono più alte e le gelate primaverili meno frequenti.

Sono ritenute ottimali altimetrie fino a 100 m s.l.m.; sub ottimali quelle tra 100 e 200 m s.l.m.; la coltivazione risulta accettabile anche per altimetrie comprese fra 200 e 300 m s.l.m. Oltre i 300 m s.l.m. la coltivazione del pesco risulta non essere più idonea.

In generale la maggior parte delle cultivar presenta un fabbisogno in freddo tra 800 ore (ottimale) fino alle 375 ore (accettabile). Sotto le 375 ore il fabbisogno non è soddisfatto. Al di fuori di questo intervallo esistono anche varietà con esigenze in ore di freddo molto limitate (anche sotto le 300 ore) o molto elevate (fabbisogni stimati sopra le 1.000 ore); la fioritura dura circa 15 giorni ed ha luogo tra la fine di febbraio e la fine di marzo; in cultivar a

bassissimo fabbisogno in freddo (200-300 ore sotto 7°C) avviene anche a gennaio negli ambienti meridionali.

Come già detto precedentemente, il pesco è coltura tipica dei climi temperato caldi e soffre particolarmente i ritorni di freddo primaverili; difatti ad ogni fase fenologica a partire dal rigonfiamento della gemma fino all'allegagione sono state individuate le temperature minime al di sotto delle quali si verificano danni tali da compromettere la produzione; sono considerate ottimali le temperature che comportano danni inferiori al 10% della PLV e non idonee le temperature alle quali le perdite di prodotto sarebbero superiori al 25% (tabella 30. 1).

Tabella 30.1. Indice di gelata (Probsting et al., 1971).

FASE FENOLOGICA	Durata (giorni)	T (°C) ottimale / accettabile (10-20%)	Non idoneo (> 25%)
Gemma gonfia (fine febbraio)	5-10	-8 / -10	-16
Bottoni rosa (1 ^a decade di marzo)	5-10	-6 / -8	-15
Inizio fioritura (metà marzo)	5-7	-5 / -8	-15
Piena fioritura (2 ^a -3 ^a decade di marzo)	5-7	-2,8 / -3,4	-4,4
Inizio caduta petali (fine marzo)	5-7	-2,2 / -2,8	-3,9
Allegagione (1 ^a settimana di aprile)	3-7	-2,2 / -2,8	-3,9

30.4.2. Fertilizzazione

Una corretta tecnica di fertilizzazione non può prescindere da tre fattori da prendere in esame: analisi del suolo (tabella 30.2), analisi delle foglie e caratteristiche del frutteto (età degli alberi, varietà, portinnesto, densità, vigoria, produttività, ecc.). La concimazione pre-impianto deve prevedere apporti di sostanza organica (letame ed altro) e di K, P e Ca per aumentare la disponibilità di questi elementi, prendendo in esame la loro disponibilità nel terreno, e degli altri microelementi (Mg, Mn, B, Fe, Zn), qualora si manifesti la loro carenza.

Gli effetti positivi di una buona letamazione si esplicano nei confronti della struttura, della dotazione dei nutrienti, dell'effetto chelante: inoltre, da esperimenti effettuati dal Dipartimento di Colture Arboree dell'Università di Bologna, risulta chiara l'induzione di un precoce sviluppo di un maggior numero di radici, rispetto ad una fertilizzazione minerale o con compost.

Tabella 30.2. Interpretazione delle analisi del terreno.

Tipo di tessitura	Valutazione	Sostanza organica (%)	Azoto totale (‰)	Fosforo assimilabile (P) ppm	Potassio scambiabile (K) ppm
sabbia > 60%	Basso	0,5-0,8	< 0,8	< 7	< 85
	Normale	0,8-1,3	0,8-1,2	7-11	85-120
	Elevato	1,3-2,0	1,2-1,6	12-15	120-150
	Molto elevato	> 2,0	> 1,6	> 15	> 150
Medio impasto	Basso	1,0-1,5	1,0	< 9	< 100
	Normale	1,5-2,0	1,0-1,6	9-17	100-150
	Elevato	2,0-3,0	1,6-2,0	18-26	150-180
	Molto elevato	> 3,0	> 2,0	> 26	> 180
Argilla > 35%	Basso	1,0-1,5	1,2	< 11	< 120
	Normale	1,5-2,0	1,2-1,6	11-21	120-180
	Elevato	2,0-3,0	1,6-2,0	22-30	180-220
	Molto elevato	> 3,0	> 2,0	> 30	> 220

Vista la facilità di movimento dell'azoto, non devono essere apportati fertilizzanti minerali azotati prima della messa a dimora delle piante, mentre risulta utile somministrare fosforo nella buca d'impianto perché tale elemento stimola l'attività radicale e riduce la crisi d'impianto. La concimazione post-impianto va eseguita tenendo conto della diagnostica fogliare e delle asportazioni del pescheto (tabella 30.3) nel corso dell'anno.

Tabella 30.3. Quantità di elementi minerali assorbiti dal pesco.

Asportazioni e perdite	Sostanza secca (%)	N (g 100kg ⁻¹ di frutti)	P ₂ O ₅ (g 100kg ⁻¹ di frutti)	K ₂ O (g 100kg ⁻¹ di frutti)
Frutti	13,1	185	50	275
Foglie	35,0	265	32	245
Legno di potatura	55,6	190	30	62
<i>Organi perenni:</i>				
- branche	57,9	110	20	30
- radici	48,8			
Totale	-	750	132	612

L'analisi chimica delle foglie (tabella 30.4) e la concimazione fogliare sono, senza dubbio, validi strumenti in grado di affiancarsi e integrarsi. Tramite la

diagnostica fogliare siamo in grado di disporre di un quadro inerente lo stato nutrizionale del pescheto, evidenziando carenze, eccessi o condizioni ottimali. Nel caso dell'azoto, si ritengono adeguati apporti annui compresi tra 70 kg ha⁻¹ nel caso d'impianti più vigorosi e 130 kg ha⁻¹ quando si è in presenza di scarsa attività vegetativa e la carica produttiva degli alberi è elevata (Disciplinare di produzione integrata Regione Emilia Romagna, 2005).

Tabella 30.4. Valori di riferimento per la diagnostica fogliare.

Elementi minerali		Livello nutrizionale				
		carente	basso	ottimale	elevato	eccessivo
Azoto	%	< 2,5		2,6-3,5		> 3,5
Fosforo	%	0,09-0,11	0,11-0,13	0,16-0,19	0,22	
Potassio	%	0,59-0,79	0,79-1,36	1,56-2,34	3,12	
Calcio	%	0,60-0,80		1,00-1,90	2,40	
Magnesio	%	0,18-0,24		0,35-1,00	1,30	
Zolfo	%	0,25-0,75				
Boro	(ppm)	20-80				> 100
Ferro	(ppm)	100-200				
Manganese	(ppm)	20-300				
Zinco	(ppm)	15-50				
Rame	(ppm)	6,0-15				
Cloro	(ppm)	> 3.000				
Sodio	(ppm)	> 2.000				

Numerose verifiche sperimentali effettuate dal DCA dell'Università di Bologna hanno evidenziato l'inefficacia di apporti azotati superiori a 150 kg ha⁻¹, poiché stimolano eccessivamente l'attività vegetativa della pianta. Alla ripresa vegetativa l'assorbimento d'azoto risulta piuttosto modesto e fino alla fase di fioritura la pianta utilizza essenzialmente le sostanze di riserva accumulate negli organi legnosi durante la stagione precedente; successivamente, nel periodo di massima crescita dei germogli (dal diradamento a tutto agosto), viene assorbito il 65% dell'azoto, mentre il restante 25-35% in seguito. Per cui per il pesco è consigliabile intervenire con la prima somministrazione primaverile non prima della fase fenologica di "fioritura", effettuando un secondo intervento dalla "fioritura" al momento del "diradamento dei frutticini". Se gli apporti unitari risultassero superiori alle 60 unità fertilizzanti è necessario operare secondo il loro frazionamento, così come non è consentito apportare azoto al terreno dopo la metà di ottobre nei pescheti (Disciplinare di produzione integrata Regione Emilia Romagna, 2005).

Per il potassio, in presenza di terreni ben dotati non si ritiene conveniente superare le 150 unità ha^{-1} , mentre per il fosforo, in virtù delle limitate quantità asportate dal pescheto nel corso dell'anno, non è conveniente superare i 50 kg ha^{-1} di P_2O_5 . Non vanno dimenticati gli apporti di calcio, per limitare la rugginosità dell'epidermide, e quelli di magnesio, in presenza di terreni molto sciolti.

La fertirrigazione permette di soddisfare in modo puntuale la reale domanda di nutritivi; la suddetta tecnica, rispetto alla concimazione convenzionale, permette una più elevata efficienza di utilizzo con riduzione dei costi e dell'entità dei fertilizzanti applicati (-30%).

Il ricorso alla concimazione fogliare risulta particolarmente efficace quando si manifestano a carico dell'albero stress nutrizionali che richiedono interventi mirati e tempestivi; nel pesco è piuttosto diffusa la somministrazione di CaO (ossido di calcio, chelato di calcio) a livello preventivo e per ridurre la rugginosità dell'epidermide, che colpisce molte nettarine e crea zone di rottura che non solo deprezzano il frutto ma favoriscono la penetrazione di crittogame (ad esempio, *Monilia spp.*).

30.4.3. Fabbisogno idrico e irrigazione

Il pesco è abbastanza resistente alla siccità, tuttavia la pratica irrigua risulta fondamentale per l'incremento produttivo e il miglioramento qualitativo dei frutti, essenzialmente in termini di pezzatura e di minori esigenze di diradamento. Queste considerazioni, generalmente valide, vanno poi a confrontarsi con la realtà di campo: con un calendario di maturazione così ampio, accade, ad esempio, che le varietà precoci maturino in periodi dell'anno in cui sono frequenti le piogge ed i terreni hanno ancora sufficienti riserve idriche a disposizione delle piante; in tali casi l'irrigazione consente un miglioramento della pezzatura in misura non sempre determinante. Viceversa, nelle varietà tardive, che maturano in periodi siccitosi, l'effetto irriguo si fa più marcato. Anche il portinnesto gioca il suo ruolo: piante innestate su GF 677 sono molto più vigorose e posseggono un apparato radicale idoneo per esplorare il terreno più in profondità, richiedendo minori attenzioni in termini irrigui. Vi sono, inoltre, sostanziali differenze nella risposta irrigua del pesco durante le varie fasi fenologiche, ciò è dovuto alla "concorrenza" fra le fasi di accrescimento vegetativo della pianta, quella dello sviluppo dei frutti e quello della differenziazione delle gemme. È evidente il vantaggio produttivo nel favorire sempre l'accrescimento dei frutti; ciò è possibile "guidando" l'irrigazione in modo opportuno, distinguendo tra le fasi fenologiche in cui vi è una buona risposta produttiva all'irrigazione (fioritura e ingrossamento del frutto) e quelle in cui ve ne è minore (indurimento del nocciolo). Questo è il principio che regola la tecnica dello "stress idrico controllato", che prevede la piena restituzione dei consumi della pianta nella fase di fioritura, seguito ad una

forte riduzione degli adacquamenti fino all'indurimento del nocciolo, per finire con l'aumento dei livelli irrigui in fase d'ingrossamento del frutto.

In genere gli andamenti pluviometrici dell'Italia Centrale soddisfano meglio le esigenze del pesco; mentre il problema si presenta nel Meridione, dove, l'elevato *deficit* idrico ambientale e la limitata disponibilità di acqua per l'irrigazione sono fattori da considerare limitanti. La tempestività, la regolarità d'intervento e la possibilità di modulare i quantitativi di acqua erogati alle piante, nonché i minori costi e la mancata bagnatura dell'apparato fogliare orienta i frutticoltori odierni verso impianti microirrigui. Individuare con precisione la quantità d'acqua da somministrare alle piante ed il momento d'intervento rappresentano scelte assai difficoltose in quanto condizionate da numerose variabili (entità delle piogge, tipo di impianto irriguo, ecc.). È stato calcolato che i consumi medi annuali di un pescheto (considerati irrigazione, pioggia, riserve idriche del terreno, suolo, ecc.) al Sud oscillano da 6.000 a 8.000 m³ ha⁻¹, mentre al Nord tali consumi si attestano, per una stessa varietà, sui 3.000-4.000 m³ ha⁻¹. Per supportare adeguatamente l'agricoltore nella razionale gestione della pratica irrigua, sono da alcuni anni attivi in Emilia Romagna alcuni servizi ("Servizio Regionale Irrigazione") che forniscono consigli su volumi d'irrigazione e momenti d'intervento. In ogni caso è condizione vincolante per i Disciplinari di produzione integrata disporre in azienda di un pluviometro o dei dati di una capannina meteorologica anche limitrofa in modo da poter valutare l'entità delle piogge e ritardare, in questo modo, l'intervento irriguo.

Ipotizzando una situazione di piante in piena produzione, portinnesto standard, vigoria e densità di piantagione media, falda freatica ininfluyente e interfilare inerbito, può essere stimato un calendario di irrigazione (tabella 30.5).

Tabella 30.5. Volumi di adacquamento e turni per impianto microirriguo.

Mese	Restituzione idrica (mm g ⁻¹) ¹	Intervallo consigliato (giorni)	Pioggia (mm) ²
Aprile	0,8	1-4	1,0
Maggio	2,0	1-4	2,0
Giugno	3,5	1-4	3,0
Luglio	4,0	1-3	4,0
Agosto	3,7	1-3	3,5
Settembre	3,0	1-4	2,5

¹ Si intende il quantitativo di acqua da restituire alla coltura in base al suo fabbisogno idrico.

² mm di pioggia misurati con il pluviometro che fanno ritardare di un giorno l'intervento irriguo. Devono essere considerate nulle le piogge inferiori ai valori che ritardano l'irrigazione; allo stesso modo sono nulli i mm di pioggia eccedenti il volume di adacquamento prescelto.

30.4.4. Gestione del suolo

La conduzione del terreno per il pesco non si discosta, in generale, dalla gestione utilizzata per le altre specie arboree da frutto. Dopo le sistemazioni idraulico-agrarie (creazione di fossi e scoline per il governo delle acque superficiali, oppure di drenaggi qualora i terreni siano troppo compatti e poveri di scheletro al punto da ostacolare lo smaltimento delle acque in profondità), seguirà il livellamento del terreno, molto importante per evitare il ristagno idrico e per facilitare i movimenti delle macchine operatrici; in caso di irrigazione per scorrimento deve essere prevista una pendenza dell'1-2%. Sarà inoltre opportuno eseguire uno scasso totale o una rippatura a 1-1,20 m (con concimazione di fondo allo scopo di arricchire il terreno di sostanza organica) e, al termine, una lavorazione superficiale, tipo erpicatura.

In fase di allevamento il terreno viene lavorato, in modo da evitare una possibile competizione tra la coltura e le specie erbacee per l'assorbimento dell'acqua e degli elementi minerali, nonché fenomeni di allelopatia. In fase di produzione, con condizioni pedoclimatiche che lo consentono o dove sia impossibile ricorrere alle lavorazioni (suoli ricchi di scheletro), oppure in terreni alcalini e poveri di sostanza organica, si ricorre all'inerbimento. L'inerbimento dell'interfila può essere attuato dal terzo anno dall'impianto, ricorrendo a specie spontanee od a prati artificiali (miscugli di 4-5 specie: *Lolium perenne*, *Festuca ovina*, *Poa pratensis*, *Festuca rubra*, *Trifolium repens*) somministrando 60 kg ha⁻¹ di seme; oltre agli effetti positivi sulla strutturazione del terreno, sulla disponibilità degli elementi nutritivi, sulla maggiore infiltrazione dell'acqua, nel pesco l'inerbimento diviene importante perché riduce i rischi di clorosi ferrica, alla quale è molto suscettibile. Il ricorso all'inerbimento può essere utile, inoltre, per il contenimento della spinta vegetativa. Con pendenze superiori al 10% si può ridurre l'erosione del suolo piantando il pescheto in terreno inerbito precedentemente trattato con erbicidi (il cotico erboso disseccato perdura circa due anni). Va ricordato che con l'inerbimento la temperatura al suolo si porta su valori leggermente più bassi di quelli dei terreni nudi lavorati, favorendo così il pericolo di gelate.

Il controllo delle malerbe lungo il filare si ottiene con il diserbo chimico; la striscia diserbata non deve superare i 70 cm. Si utilizzano prodotti non residuali, biodegradabili, preferibilmente nel periodo primaverile (Disciplinare di produzione integrata Regione Emilia Romagna, 2005). I principi attivi usati sono ad assorbimento fogliare con traslocazione nell'apparato radicale e colpiscono anche le infestanti perenni, con l'obiettivo di mantenerle in uno stato di sviluppo che limiti la competizione con l'albero da frutto. L'uso di glifosate su piante adulte può avvenire anche in presenza di radici superficiali senza danno per la pianta. Generalmente in zone con buona piovosità e possibilità di irrigare, le lavorazioni del terreno sono state sostituite dall'inerbimento sull'interfila e dal diserbo sulla fila; mentre nel Meridione l'inerbimento è proponibile solo in pescheti irrigui; necessita quindi

considerare i maggiori costi di produzione dovuti all'elevato numero di sfalci, da effettuare uno ogni 15-20 giorni. La pacciamatura sul filare con film plastici neri di lunga durata è una pratica corrente in alcune zone peschicole italiane e nella coltura protetta. Nel caso d'irrigazione a goccia, i gocciolatori possono essere posti sotto il film plastico o lateralmente.

30.4.5. Impianto e allevamento

Le configurazioni d'impianto realizzate in frutticoltura hanno il preciso scopo di raggiungere i massimi livelli produttivi in un breve arco di tempo (3 anni) e migliorare l'efficienza dell'uso dei mezzi tecnici impiegati e delle risorse ambientali; tra queste ultime, per il pesco, la massima attenzione è stata posta alla radiazione luminosa intercettata e alla relativa distribuzione all'interno della pianta.

È stato dimostrato che una buona distribuzione luminosa all'interno della chioma, oltre a migliorare la qualità dei frutti, favorisce il metabolismo della pianta in senso riproduttivo (esaltando la fertilità potenziale). Nel pesco la mancanza di portinnesti nanizzanti e la necessità di riduzione dei costi, ha fatto propendere le scelte verso impianti in grado di contenere la dimensione delle piante. Una possibile, limitata, riduzione della produzione, conseguente al minor volume degli alberi è preferibile quando il costo unitario di produzione è più basso; ciò vale soprattutto per le imprese agricole mentre, ovviamente, il coltivatore diretto tenderà ad ottenere il massimo della produzione anche a discapito di un maggior tempo impiegato.

I sistemi d'allevamento utilizzati in peschicoltura sono molteplici: da forme in volume a forme in parete verticale o inclinata; la scelta è principalmente funzione delle diverse condizioni operative e della dimensione aziendale, della disponibilità e livello di manodopera, e della destinazione del prodotto (consumo fresco o industria).

Forme in volume

Nel mondo, il vaso con le sue varianti, è ancora la forma più utilizzata; dagli anni '50 in Italia e in Francia al vaso è subentrata la palmetta che ha modificato sostanzialmente il pescheto.

Il vaso classico è tipico della vecchia peschicoltura, comporta distanze ampie (6 x 5 – 6 x 6 m) con piante innestate su franco, poste in terreni fertili. Dopo essere stato abbandonato in favore della palmetta è di nuovo utilizzato in forma più adatta alla moderna frutticoltura: come il vasetto ritardato e vaso veronese. Il vasetto ritardato è la forma in volume, alternativa a quella in parete, più evoluta che viene sempre più adottata nelle aziende di ampie dimensioni o in quelle troppo ridotte per giustificare l'acquisto di un carro raccolta. Attualmente si utilizzano sesti di 5,5 x 2,5-3,0 m (600-700 piante per ettaro circa).

Rientra tra le forme in volume anche il fuso, forma impropria e di difficile gestione per una specie acrotona quale il pesco; essa non consente di costituire filari a pareti continue, male adattandosi all'utilizzo di piattaforme mobili per agevolare importanti operazioni colturali (potatura, diradamento e raccolta dei frutti). È comunque impiegato per favorire la precoce entrata in produzione, favorendo l'apertura delle branche. L'intensificazione degli impianti e la riduzione delle distanze ha fatto introdurre il fusetto anche nel pesco; le distanze vanno dai 4,5-5,0 m tra le file a 1,5-2,0 m sulla fila, che determinano dalle 1.000 alle 1.480 piante per ettaro. Un'altra forma per impianti intensivi o superintensivi (1.333-2.500 piante per ettaro) è il cordone o asse colonnare, il quale non è altro che un fusetto modificato, con uniforme rivestimento di branche e branchette fruttifere d'uguale ed equilibrata vigoria, inserite direttamente lungo tutto l'asse centrale.

Forme in parete

Il passaggio alla palmetta, ossia ad una forma in parete provvista di struttura di sostegno permanente (pali e fili), ha offerto il grande vantaggio di poter utilizzare macchine operatrici semoventi per l'esecuzione di tutte le operazioni colturali.

Nella palmetta gli astoni vengono posizionati con sesti 4,5 x 3,0-4,0 m (740-555 piante per ettaro); dall'iniziale palmetta regolare, ottenuta attraverso continui tagli dell'asse centrale per costituire le impalcature, si è passati alla meno rigida palmetta irregolare con potatura a tutta cima, dove le branche dell'impalcatura si possono ottenere anche da rami anticipati.

Forme a pareti inclinate

Attualmente, tra le alte densità, un sempre maggior consenso hanno ottenuto il Tatura trellis, particolarmente adatto per zone ventose, e l'Y trasversale, specie nel Meridione del nostro Paese e nel veronese. In questo caso le distanze si attestano su 5,0-5,5 x 1,0-1,5 m (con densità di 1.000-2.000 piante per ettaro). Recenti studi condotti, hanno evidenziato in piante allevate ad Y, tassi di assimilazione doppi per unità di radiazione intercettata rispetto al vaso ritardato o alla palmetta, ed inoltre una più elevata efficienza d'uso dell'acqua: questo garantisce maggiori e migliori produzioni.

Un ruolo importante è svolto dagli impianti protetti che sono stimati in Italia sui 600 ha di superficie peschicola, distribuiti prevalentemente in Campania, Sicilia, Sardegna e Basilicata. Grazie alle favorevoli condizioni climatiche di questi ambienti presenti lungo le fasce costiere di queste regioni, viene effettuata una protezione (forzatura produttiva attraverso la copertura con film plastici dei pescheti nel periodo dicembre-maggio). L'apprestamento si comporta come un collettore solare che incrementa il proprio livello di temperatura, in funzione dei materiali di copertura usati (PE, PVC, EVA, ecc.).

30.4.6. Potatura

La potatura d'allevamento del pesco consiste nel far assumere alla pianta la forma d'allevamento voluta nei primi anni dall'impianto; ciò prevede pochi tagli, ma comporta piegature e legature dei rami. La potatura di produzione ha lo scopo di regolare la distribuzione dei frutti e migliorare la qualità degli stessi. La fruttificazione nel pesco inizia molto presto: già al secondo anno compaiono diversi frutti e al quarto o al quinto anno si passa alla piena produzione; l'intensità del diradamento dei rami misti deve anch'essa essere man mano maggiore fino a raggiungere il 50-70% nella fase adulta. Al raggiungimento della piena fruttificazione si deve porre la massima attenzione per mantenere il giusto equilibrio fra vegetazione e produzione, distribuendo quest'ultima sulle branche di diverso ordine in modo razionale mediante l'asportazione dei rami che hanno prodotto e tagli di ritorno sopra uno o più rami misti di giusto vigore, eliminando i rami troppo vigorosi o male inseriti, così da mantenere i rami a frutto il più possibile vicino alla struttura scheletrica della pianta. La potatura del pesco si esegue quasi esclusivamente a mano con l'ausilio di forbici pneumatiche da terra o su carri a piattaforma. La potatura meccanica è stata ampiamente sperimentata ed è risultata particolarmente interessante soprattutto per le pesche da industria: essa si effettua con barre a dischi rotanti o lame contrapposte che praticano tagli orizzontali alla sommità delle piante (*topping*) e verticali (*hedging*).

La potatura verde viene eseguita tra la metà di luglio e la metà di agosto normalmente sulle piante giovani o per eliminare succhioni e germogli in sovrannumero in piante adulte (per ridurre l'ombreggiamento). Per produrre frutti di pezzatura regolare e favorire la differenziazione delle gemme a fiore, contenendo l'alternanza, può essere effettuato il diradamento dei frutti; questa è la più importante operazione per ottenere frutti di pezzatura commerciale a complemento della potatura sia di allevamento che di produzione. Va eseguita dalla terza alla sesta settimana dopo la piena fioritura (a seconda dell'epoca di maturazione delle cultivar): iniziata precocemente assicura una miglior pezzatura dei frutti, un anticipo della maturazione, miglior colore e maggiore differenziazione di gemme per l'anno successivo ma, nelle varietà soggette a spaccatura del nocciolo, ne accentua il difetto. Il diradamento chimico nel pesco sembra molto difficile da mettere a punto per le varietà da consumo fresco e nettarine, mentre è più praticabile per le percoche, così come il diradamento meccanico.

30.4.7. Problemi sanitari e rimedi

La difesa fitoiatrica del pesco deve essere impostata su tre specifici momenti decisionali: la valutazione dell'attacco e del danno, la scelta del momento d'intervento e del mezzo di difesa più adeguato. Tra le principali crittogame la

più temibile, soprattutto nella produzione integrata (ed ancora di più in quella biologica) è senza dubbio la Bolla del pesco (*Taphrina deformans*): è diffusa e conosciuta in tutte le aree peschicole con suscettibilità diversa a seconda delle varietà. L'infezione si manifesta con più intensità con decorsi invernali e primaverili freddi, umidi e piovosi. La lotta chimica è principalmente preventiva con due o tre trattamenti di ditiocarbammati o prodotti rameici a partire da novembre.

Parimente importante è la moniliosi: con questo nome generico sono indicate malattie fungine distruttive che colpiscono giovani germogli, fiori, rametti, frutticini e frutti con intensità e frequenza diverse a seconda dell'andamento stagionale; i danni maggiori si verificano nelle zone umide, nebbiose per effetto di piogge prolungate e forti irrigazioni soprachiuma. L'agente principale è rappresentato da *Monilia laxa* che si riscontra sulle drupacee in genere: i danni più gravi si hanno sui frutti in prossimità della raccolta e dopo la raccolta specie se conservati a lungo in frigo; spesso i frutti mummificano e restano attaccati alla pianta. La lotta deve riguardare anzitutto misure agronomiche che rendono la pianta meno recettiva quali il controllo delle concimazioni azotate, le potature soprattutto estive, le irrigazioni contenute, l'eliminazione dei frutti marciti caduti a terra, delle "mummie" e dei rami secchi. Nelle varietà più sensibili e nelle zone a più alto rischio, è necessario trattare prima e dopo la fioritura anche ripetutamente, secondo l'andamento stagionale fino alla prossimità della raccolta; bisogna ricordarsi di intervenire tempestivamente con prodotti disinfettanti dopo una grandinata.

Tra le altre crittogame sono da menzionare il Mal bianco del pesco (*Sphaerotheca pannosa* pv. *persicae*), il Corineo (*Clasterosporium carpophilum*), la Ruggine, Cancro rameale (*Fusicoccum amygdali*), Tracheovorticilliosi (*Verticillium* spp.), ecc. Le malattie di origine abiotica sono dovute a scompensi nutrizionali (carenza di azoto e ferro), climatici (danni da gelo e argentatura fogliare) e inquinanti.

Tra i fitofagi ricordiamo l'*Anarsia lineatella* e la *Cydia molesta*: sono i lepidotteri più dannosi per il pesco; la difesa è simile e può essere di tipo chimico o basata sulla confusione sessuale. Nei grandi frutteti è opportuno intervenire fin dalla prima generazione (fine marzo-aprile), mentre nei piccoli pescheti, con unità colturali frammentate e contornate da altri frutteti, la difesa chimica si inizia contro la seconda generazione, quando l'entità di adulti catturati dalle trappole a feromoni sessuali supera la soglia di intervento. Gli interventi contro le generazioni successive vanno fatti tenendo conto del grado d'infezione presente (adulti catturati), del rischio d'infezione in rapporto allo stadio di sviluppo dei frutti, dei principi attivi che si intendono usare. Durante la crescita dei frutti occorre una protezione continua dei frutti attraverso trattamenti. In alternativa alla difesa chimica, possono essere adottati programmi di difesa basati sulla confusione sessuale mediante la collocazione di specifici erogatori di feromoni che generano confusione impedendo gli accoppiamenti. Anche la distribuzione di *Bacillus thuringiensis* fatta 10-15

giorni dopo il superamento della soglia d'intervento può avere efficacia nella lotta; altri importanti fitofagi sono inoltre Afidi, Cocciniglie, ecc. Il frutticoltore non è in grado di effettuare una lotta diretta contro le malattie da virus, pertanto la sola garanzia è quella di acquistare materiale certificato virus-esente. I virus più dannosi per il pesco sono Sharka (PPV), Maculatura anulare necrotica (PNRV), Giallume (PYV) e Mosaico (PLMVd). Tra le batteriosi sono da citare il Cancro batterico, la Maculatura batterica (*Xanthomonas campestris* pv. *pruni*) e i tumori radicali. Molto dannosi per le radici del pesco sono alcune specie di nematodi, patogeni che sono messi in relazione con il fenomeno della stanchezza del terreno (specialmente il nematode *Pratylenchus vulnus*).

30.4.7.1. I patogeni e il suolo

Il prodursi delle infezioni dipende, oltre che dal contatto patogeno-ospite, dalla presenza di un ambiente idoneo, ed ogni suo fattore (temperatura, umidità, reazione, composizione chimica del suolo, ecc.) influisce sul patogeno (Matta, 2000).

La temperatura identifica la fascia termica entro la quale il patogeno può svilupparsi; questa da organismo a organismo può essere più o meno ampia. Vi sono, inoltre, specie patogene che hanno preferenze termiche ben definite: così, ad esempio, specie di *Phytium*, che causa i più comuni marciumi alle specie arboree da frutto, richiedono temperature superiori a 26°C.

Il livello di umidità influisce sullo sviluppo delle epidemie; nel terreno gli eccessi idrici favoriscono il trasporto, lo sviluppo e l'attività di funghi idrofili come *Phytium* e *Phytophthora*; altri preferiscono invece livelli di umidità inferiori a quelli di saturazione del terreno: per *Rhizoctonia solani* l'ottimo sembra collocarsi all'incirca al 65% della capacità di campo; per *Streptomyces scabies* è ancora inferiore (in questi casi, se la coltura lo permette, l'inondazione prolungata del terreno può esercitare un'azione addirittura sradicante nei confronti di agenti di tracheofusariosi e di molti nematodi).

Il pH influisce sulla virulenza dei patogeni del terreno; i *Fusarium* vascolari prediligono terreni da acidi a moderatamente acidi, i *Verticillium* terreni da moderatamente acidi ad alcalini. L'innalzamento del pH mediante calcitazioni può risultare un giusto mezzo per abbassare l'incidenza della malattia (Matta, 2000).

Per quanto profonda anche l'influenza delle concimazioni sull'andamento delle malattie è esercitata in modo non sempre facilmente prevedibile; l'azoto in quanto elemento stimolatore per eccellenza della crescita, favorisce indubbiamente tutte quelle malattie (muffe, marciumi, ecc.) che infieriscono in condizioni di lussureggiamento.

30.5. Caratteri ambientali per la coltivazione del pesco

Come già ricordato, le condizioni climatiche italiane e degli altri Paesi mediterranei sono in genere ideali per la coltivazione del pesco, che può sopportare temperature minime molto inferiori a 0°C e massime fino a ben oltre i 30°C. Attualmente la coltivazione del pesco è maggiormente diffusa tra i 30° e i 40° di latitudine in entrambi gli emisferi.

Nell'Italia centro-settentrionale la peschicoltura viene praticata prevalentemente nelle zone pianeggianti e, in misura minore, collinari dell'Emilia Romagna (province di Ravenna, Bologna, Forlì e Cesena), del Piemonte (Torino, Cuneo e Novara) e del Veneto (Padova e Verona); al meridione la coltivazione interessa alcune aree della Campania (il Piano casertano; la zona Flegrea, la provincia di Salerno), della Sicilia (le aree costiere sono adibite alla peschicoltura precoce, le zone dell'entroterra, Catania e Enna, alla peschicoltura tardiva) e della Puglia (Brindisi e Foggia).

La pendenza ottimale del terreno per la coltivazione del pesco è quella compresa tra lo 0 e il 10% (tabella 30.6). All'aumento della pendenza si verificano problemi relativi alle operazioni colturali, all'erosione, ai tempi di movimento di uomini e macchine.

Tabella 30.6. Indici altimetrici e delle pendenze.

Classi idoneità	Altimetria media (m s.l.m.)	Pendenza media (%)
Ottimale	0-100	0-10
Sub ottimale	101-200	11-20
Accettabile	201-300	21-30
Non idoneo	> 300	> 30

Altro fattore da considerare è l'esposizione del terreno; questa influisce in modo rilevante sulla disponibilità di ore di luce e sulle temperature medie dell'ambiente di coltivazione. Per le aree del Centro e del Nord Italia sono ritenuti non idonei terreni esposti verso nord ed est, date le minori temperature e la minore disponibilità di irraggiamento rispetto ai terreni esposti a sud e sud-est, dove l'elevata intensità luminosa e le alte temperature possono risultare fattori limitanti. Sono stati ritenuti ottimali anche terreni esposti verso nord-ovest. L'esposizione a nord è stata considerata la meno favorevole alla coltivazione in tutti gli ambienti.

Le temperature entro le quali il pesco non subisce alcun danno sono comprese tra -15/-18°C nei mesi di pieno riposo invernale ai 36°C dei mesi più caldi; naturalmente queste considerazioni sono in funzione della suscettibilità della fase fenologica in cui la pianta si trova; i ritorni di freddo primaverili (brinate, gelate, venti freddi, ecc.) assumono particolare importanza ai fini della scelta della zona di coltivazione, poiché abbassamenti termici di 1° o 2°C sotto

lo zero prima della fioritura, durante la fioritura o subito dopo l'allegagione, possono causare danni considerevoli che spesso portano ad una totale perdita della produzione.

Il soddisfacimento delle ore in freddo varia molto da varietà a varietà, intorno alle 300 ore per quelle meno esigenti fino alle 800 ore e oltre per quelle più esigenti; in generale, per le varietà più coltivate in Italia, 800 ore garantiscono un ottimo soddisfacimento del fabbisogno in freddo. Le ore di caldo necessarie per la fioritura devono superare le 180.

30.6. Caratteri funzionali del suolo

30.6.1. Profondità del suolo

Il volume di suolo interessato dall'apparato radicale è regolato da molteplici fattori; fra questi il più importante è fuor di dubbio il portinnesto; tra questi ultimi, quello maggiormente diffuso per il pesco è il GF 677. Questo portinnesto, oltre ad esplorare rapidamente il volume di suolo a sua disposizione, riesce ad occupare sin dai primi anni dall'impianto anche gli strati più profondi, raggiungendo profondità anche di 170 cm; per questo motivo il pesco ha un'alta resistenza alla siccità (la capacità estrattiva dell'acqua è elevata, lo strato di massima estrazione è intorno a 60 cm), tanto che fino a venti anni fa la maggioranza dei pescheti romagnoli non erano irrigati.

30.6.2. Tessitura e fessurazione

Nei riguardi del suolo il pesco presenta comunque una buona adattabilità, essendo una specie piuttosto plastica; preferisce terreni tendenzialmente sciolti (60-70% di sabbia, 20-30% di argilla) e fertili (2-3% di sostanza organica), la componente scheletrica dovrebbe essere scarsa o assente. Il pesco è particolarmente suscettibile al fenomeno della stanchezza (i sintomi variano da uno stentato accrescimento ad una ritardata messa a frutto), che risulta maggiormente evidente nei terreni sciolti, seppur fisicamente più adatti, correlati con la presenza di nematodi (in specifico il *Pratylenchus vulnus*), alla carenza di microelementi, a tossine rilasciate nell'apparato radicale, per cui è preferibile evitare la successione del pesco su se stesso. Sarebbe auspicabile una bassa fessurazione del terreno, in quanto un accentuato dinamismo compromette la funzionalità dell'apparato radicale.

30.6.3. Salinità e sodicità

Il pesco, indipendentemente dal portinnesto, trova condizioni ottimali alla sua coltivazione con salinità inferiore a $0,2 \text{ dS m}^{-1}$ e percentuali di sodio scambiabile (ESP) del terreno inferiori al 5%. All'aumentare di questi valori le condizioni peggiorano, fino alla non idoneità con valori maggiori di $0,4 \text{ dS m}^{-1}$ per la salinità e valori di ESP superiori a 10. Da questo punto di vista, di particolare interesse risulta il controllo dell'irrigazione. L'irrigazione rappresenta un fattore indispensabile per una moderna peschicoltura; paradossalmente però, essa può costituire una delle principali cause di degradazione del suolo, specie in zone caratterizzate da elevato *deficit* idrico e scarsa piovosità.

Nel Metapontino, l'irrigazione combinata con tecniche intensive di coltivazione ha causato il progressivo deterioramento della struttura del suolo, imputabile principalmente alla diminuzione del contenuto di sostanza organica (che in questi ambienti ha raggiunto valori $< 1\%$). La degradazione dei terreni a causa della salinizzazione, dell'alcalinizzazione e dell'impoverimento della fertilità costituisce, da sempre, un problema antico delle zone aride e semi-aride come quelle che si affacciano sul Mediterraneo.

Confrontando le caratteristiche delle acque per irrigazione utilizzate nel pescheti del Metapontino e quelli Romagnoli (tabella 30.7), risulta evidente il rischio cui vanno incontro i suoli del Metapontino; l'uso di acque salino-sodiche provoca danni alla struttura del suolo (il sodio è un catione con azione disperdente a carico delle argille) con conseguente alterazione della morfologia e della dimensione dei pori; viene inoltre ostacolato l'assorbimento dell'acqua da parte delle piante (a causa dell'innalzamento del potenziale osmotico della soluzione circolante) e sono possibili effetti tossici dovuti all'elevata concentrazione di alcuni elementi (boro, sodio, magnesio, ioni solfato e carbonato).

Tabella 30.7. Qualità delle acque d'irrigazione (mg L^{-1}) utilizzate nel Metapontino e nel canale Emiliano-Romagnolo.

Elementi	Metapontino		Canale Emiliano Romagnolo
	Invasi	Pozzi	
Salinità totale		893,8	360,0
Cloro	22	133,8	16,0
Solfati	60	164,4	28,9
Bicarbonato	195	411,8	141,2
Sodio	50	127,8	Tracce
Magnesio	25	50,4	11,5
Calcio	45	131,6	56,5
Nitrati	5	19,8	2,1
Potassio	8	10,5	-

30.6.4. Drenaggio

Per quello che attiene il drenaggio, se eseguito correttamente permette di eliminare gli eccessi d'umidità del terreno, garantendo un idoneo franco di coltivazione e favorendo l'approfondimento radicale; questo risulta tanto più importante in presenza di terreni compatti e poveri di scheletro. Esso prevede la disposizione di tubi corrugati in plastica ad una profondità di circa 100-120 cm e ad una distanza variabile a seconda della natura del terreno: minore nei terreni compatti (5-10 m) e maggiore in quelli più sciolti (15-20 m). Nei terreni limoso-argillosi la lunghezza dei dreni non deve superare i 100-120 metri.

30.6.5. Ristagno idrico

Il ristagno idrico insorge quando il contenuto di acqua nel terreno persiste su livelli superiori alla capacità di campo fino a raggiungere la completa saturazione dei pori.

Terreni argillosi o limosi non sufficientemente drenati possono manifestare ristagni superficiali; in questo contesto, il pesco, che teme molto l'asfissia radicale, rifugge i terreni compatti e poco permeabili, risultando inadeguato per quelle zone a rischio di media o lunga inondabilità. Il pesco sul GF 677 risulta essere leggermente più resistente di quello innestato su portinnesto Franco. Periodi di prolungata inondazione possono favorire gli inoculi idrofili, mentre per quei patogeni che preferiscono livelli d'umidità inferiori ai livelli di saturazione del terreno, può esercitare un'azione sradicante nei confronti di tracheofusariosi e di molti nematodi.

30.6.6. Disponibilità d'ossigeno

Le radici del pesco, come quelle delle altre arboree da frutto, sono mediamente esigenti riguardo al ricambio gassoso, per la respirazione e l'approfondimento. Da ricordare che un contenuto d'ossigeno inferiore al 2% in volume causa la cessazione dello sviluppo della pianta. Nel suolo la capacità d'aria non dovrebbe scendere mai al di sotto del 10%.

30.6.7. Reazione (pH)

Nei confronti della reazione, il pesco predilige una reazione tendenzialmente neutra; si ritiene che i valori ottimali siano compresi tra pH 6,5 e 7,5, fino a pH 8 se innestato su GF 677 e Cadaman. Allontanandosi da questo intervallo di valori, il pesco trova condizioni che rendono sempre più difficile la sua coltivazione: aumentando di pH, specie con elevate concentrazioni di carbonato di calcio (a partire dal 5%), si crea un'alcalinità costituzionale che esercita un effetto "clorosante" sulle foglie. Inoltre, la clorosi fogliare è

dipendente dalla scarsa disponibilità di azoto e ferro nel terreno, problema che si verifica proprio a partire da pH superiori a 7,5. Terreni acidi invece sono correlati con il fenomeno di deperimento del pesco denominato *short life* che interessa alcune zone degli Stati Uniti, dove è stato messo in stretta relazione anche con la presenza del nematode *Criconomella xenoplax*, fortunatamente non ancora segnalato nel nostro Paese.

30.6.8. Calcare attivo

Relativamente al calcare attivo, uno dei fattori responsabili della clorosi fogliare, il pesco non tollera più del 10% di calcare attivo se innestato su mirabolano MrS 2/5, mentre può arrivare al 13% se innestato su GF 677 e su Cadaman. Con il Franco e sue selezioni la suscettibilità aumenta molto, non resistendo a percentuali superiori all'8%.

30.6.9. Stanchezza del terreno

Un aspetto molto importante è quello relativo alla stanchezza del terreno, che si manifesta con uno sviluppo, soprattutto iniziale, più stentato e meno uniforme della pianta ed una ritardata messa a frutto quando il pesco viene coltivato in successione a se stesso. Questo fenomeno sta assumendo sempre maggiore importanza in considerazione della relativa ristrettezza delle aree vocate a questa coltura. Tra le varie cause che possono determinare tale fenomeno vi sono alcuni patogeni, soprattutto nematodi, ma anche funghi e batteri, le tossine emesse dalle radici residue dalla precedente coltura o dai prodotti derivati dalla loro decomposizione e la carenza di microelementi. In particolare alcuni studi hanno evidenziato una netta correlazione tra i sintomi di stanchezza e la presenza del nematode *Pratylenchus vulnus*. Alcune condizioni di stanchezza possono essere superate con fumigazioni o concimazioni appropriate. Tra i rimedi agronomici più validi vi sono un'adeguata rotazione delle colture e l'utilizzo di portinnesti resistenti.

30.6.10. Schema di valutazione

Si riporta (tabella 30.8) lo schema di valutazione delle limitazioni pedologiche alla crescita del pesco su diversi portinnesti, frutto del lavoro svolto da I.TER nel progetto CRPV "Rilancio della peschicoltura", finanziato dal Servizio Sviluppo Sistema Agro-alimentare della Regione Emilia Romagna ai fini della L.R.28/98; lo schema è stato validato tramite la produzione di carte applicative condivise dai tecnici esperti in peschicoltura.

Tabella 30.8. Schema di valutazione delle limitazioni pedologiche alla crescita del pesco su diversi portinnesti.

Caratteristiche pedologiche	Gruppi di portinnesti	Intensità delle limitazioni		
		assenti o lievi	moderate	severe
Profondità utile alle radici (cm)	Ibrido GF 677, Ibrido Cadaman, Mirabolano MrS 2/5, Ibrido interspecifico Ishtara	> 100	50 - 100	< 50
Tessitura	Ibrido GF 677, Ibrido Cadaman	media, moder. fine, moder. grossolana		fine, grossolana
	Mirabolano MrS 2/5, Ibrido interspecifico Ishtara	media, moder. grossolana	moder.fine	fine, grossolana
Fessurazione	Ibrido GF 677, Ibrido Cadaman	bassa	media	forte
	Mirabolano MrS 2/5, Ibrido interspecifico Ishtara	bassa		media, forte
Salinità (EC 1:5 dS m ⁻¹)	Ibrido GF 677, Ibrido Cadaman, Mirabolano MrS 2/5, Ibrido interspecifico Ishtara	< 0,2	0,2 - 0,4	> 0,4
Sodicità (ESP)	Ibrido GF 677, Ibrido Cadaman, Mirabolano MrS 2/5, Ibrido interspecifico Ishtara	< 5	5 - 10	> 10
Rischio di inondazione: inondabilità	Ibrido GF 677, Ibrido Cadaman, Mirabolano MrS 2/5, Ibrido interspecifico Ishtara	assente o lieve	moderato	alto
Rischio di inondazione: durata	Ibrido GF 677, Ibrido Cadaman, Ibrido interspecifico Ishtara	estremamente breve, molto breve	breve	lunga, molto lunga
	Mirabolano MrS 2/5	estr. breve, molto breve, breve	lunga	molto lunga

Caratteristiche pedologiche	Gruppi di portinnesti	Intensità delle limitazioni		
		assenti o lievi	moderate	severe
Disponibilità di ossigeno	Ibrido GF 677, Ibrido Cadaman, Ibrido interspecifico Ishtara	buona	moderata	imperfetta, scarsa, molto scarsa
	Mirabolano MrS 2/5	buona, moderata		imperfetta, scarsa, molto scarsa
Reazione (pH)	Mirabolano MrS 2/5, Ibrido interspecifico Ishtara	6,5 – 7,5	5,5 – 6,5; 7,5 – 8,5	< 5,5; > 8,5
	Ibrido GF 677, Ibrido Cadaman	6,5 – 8	5,5 – 6,5; 8 – 8,5	< 5,5; > 8,5
Calcare attivo (%)	Ibrido interspecifico Ishtara	< 5	5 – 9	> 9
	Ibrido GF 677, Ibrido Cadaman	< 8	8 – 13	> 13
	Mirabolano MrS 2/5	< 7	7 – 10	> 10

Bibliografia di riferimento

- AA., VV., 1991. *Frutticoltura speciale*. Reda, Roma.
- AA., VV., 1995. *Atti XXII convegno peschicolo*. Cesena 28, 30 settembre.
- AA., VV., 1996. *Pesco: Linee tecniche di produzione integrata*. Suppl., Terra e Vita 46.
- AA., VV., 2001. *La peschicoltura meridionale di fronte alle nuove esigenze di mercato*. Atti III convegno nazionale, Metaponto, 21, 22 giugno.
- ANCORELLI, S., LINONI, F., 2004. *La tecnica/prevenzione nei campi, come difendersi dalle gelate fuori stagione*. Ermes Agricoltura, 23.
- BACCI, L., CONESE, ROMANI, M., 2005. *Individuazione di indici bioclimatici e morfologici per la realizzazione di mappe di land suitability per le principali colture frutticole italiane*. Telespazio spa, Roma.
- BALDINI, E., 1986. *Arboricoltura Generale*. CLUEB, Bologna.
- BALDINI, E., SCARAMUZZI, F., 1981. *Frutticoltura anni 80 - Il pesco*. REDA, Roma.
- BELLINI, E., NENCETTI, V., NATARELLI, L., LIVERANI, A., INSERO, O., CONTE, L., 2004. *Liste varietali dei fruttiferi 2004 - Pesco*. Suppl., L'Informatore Agrario 24, 53-69.
- DICHIO, B., XILOYANNIS, C., MONTANARO, G., 2001. *Irrigazione: efficienza, qualità e rispetto ambientale*. Italus Hortus, 8, 3, 8-9.
- DICHIO, B., XILOYANNIS, C., MONTANARO, G., 2003. *L'irrigazione della peschicoltura meridionale: efficienza, qualità e rispetto ambientale*. Frutticoltura, 7, 8, 33-38.

- FAO, 2004. www.fao.org.
- GIOVANNINI, D., LIVERANI, A., MERLI, M., BRANDI, F., 2005. *Comportamento agronomico di portinnesti del pesco: risultati di uno studio condotto in Romagna*. Frutticoltura, 7, 8, 43, 46.
- ISTAT, 2004. www.istat.it
- LANDI, R., 1999. *Agronomia e ambiente*. Edagricole, Edizioni Agricole, Bologna.
- LINONI, F., ANTOLINI, G., 2004. *Gelate tardive: genesi e previsione*. Il Divulgatore, 4.4.
- LORETI, F., MASSAI, R., 2003. *Orientamenti per la scelta dei portinnesti del pesco*. Frutticoltura, 7, 8, 26-30.
- MANNINI, P., 2003. *L'irrigazione in frutticoltura, una tecnica imprescindibile*. Frutticoltura, 9, 17.
- MATTA, A., 2000. *Fondamenti di patologia vegetale*. Patron Editore, Bologna.
- MAZZOTTI, V., MIOTTO, G., 2004. *Tendenze dell'offerta italiana di pesche e nettarine e strategie per i prossimi anni*. Frutticoltura, 7, 8, 18-21.
- NASI, F., LAZZAROTO, R., GHISI, R., 1994. *Coltivazioni arboree*. Liviana Editrice, Padova.
- NUZZO, V., CARUSO, T., MATTERELLI, B., 2001. *Configurazioni d'impianto per una peschicoltura di qualità nel mezzogiorno d'Italia*. Italus Hortus, 8, 3, 11-13.
- ONDRADU, G., BELLINI, E., NENCETTI, V., PAZZARINI, L., LIVERANI, A., INSERO, O., CONTE, L., 2005. *Speciale Liste varietali in frutticoltura. Pesco*. Suppl., Terra e Vita, 24, 59-79.
- PROBSTING, E.L., TUKEY, R.B., MILLS, H., 1971. *Critical temperatures from blossom buds*. Wash., State Agr. Axt. Circ., 369-374.
- PROVINCIA DI BOLOGNA, 2003. *La coltivazione del pesco*. Il Divulgatore, 3.
- REGIONE CAMPANIA, 2004. *Disciplinari di agricoltura integrata della Regione Campania - parte speciale - Pesco*. www.sito.regione.campania.it/agricoltura/disciplinari/pesco.pdf
- REGIONE EMILIA ROMAGNA, I.TER, 1998. *Catalogo dei suoli della pianura emiliano romagnola*. www.gias.regione.emilia-romagna.it/suoli/guidaindice.asp.
- REGIONE EMILIA-ROMAGNA, 2004. *Le buone pratiche agricole per risparmiare acqua*. Suppl., Agricoltura, 5, 56, 63.
- REGIONE EMILIA-ROMAGNA, 2005. *Disciplinare di produzione integrata del pesco*. www.ermesagricoltura.it/wcm/ermesagricoltura/consigli_tecnici/disciplinari/sezione_disciplinari/s_nome_coltura/s_frutticole/s_pesco.htm.
- SANTANGELO, I., CAPUTO, T., CASATO, G., 2001. *La peschicoltura in Campania*. Italus Hortus, 8, 3, 24, 25.
- SCARASCIA, MUGNOZZA, G., 1999. *Materiali e strutture per gli apprestamenti protetti nella coltura del pesco*. Frutticoltura, 2, 48, 56.
- SCOGNAMIGLIO, G., MARTELLI, G., 2001. *La peschicoltura pugliese*. Italus Hortus, 8, 3, 27, 28.
- TOSELLI, M., BALDI, E., MARCOLINI, G., MARANGONI, B., 2004. *La concimazione di pre-impianto delle colture arboree da frutto*. L'Informatore Agrario, 47, 51, 54.
- TRENTIN, L., 1946. *Frutticoltura*. Editrice Soc., p. Az. Fratelli Ottavi, Casale Monferrato.

Ministero delle Politiche Agricole, Alimentari e Forestali
Osservatorio Nazionale Pedologico e per la Qualità del Suolo Agricolo e Forestale

In collaborazione con:
International Union of Soil Sciences
Società Italiana della Scienza del Suolo
Commissione VI - Uso e Conservazione del Suolo

BELLINI, E., GIORDANI, E., MORELLI, D., 2006. *Il melo*. In: Costantini, E.A.C. (Ed.),
Metodi di valutazione dei suoli e delle terre, Cantagalli, Siena, pp. 922.

Collana dei metodi analitici per l'agricoltura diretta da Paolo Sequi, vol. 7

CRA - Consiglio per la Ricerca e la Sperimentazione in Agricoltura
Istituto Sperimentale per lo Studio e la Difesa del Suolo, Firenze

31. Il melo

Elvio Bellini¹, Edgardo Giordani¹, Daniele Morelli¹

31.1. Specie, prodotti, usi	3
31.2. Varietà ed impollinatori	5
31.2.1. Varietà	5
31.2.2. Impollinatori	6
31.3. Portinnesti	7
31.4. Esigenze della pianta e tecniche colturali.....	8
31.4.1. Clima.....	8
31.4.2. Fertilizzazione	9
31.4.3. Fabbisogno idrico e irrigazione.....	11
31.4.4. Gestione del suolo.....	12
31.4.5. Impianto e allevamento	13
31.4.6. Potatura.....	15
31.4.7. Problemi sanitari e rimedi	16
31.5. Caratteri ambientali per la coltivazione del melo.....	17
31.6. Caratteri funzionali del suolo.....	18
31.6.1. Profondità del suolo	18
31.6.2. Tessitura e fessurazione	19
31.6.3. Salinità e sodicità	19
31.6.4. Drenaggio	19
31.6.5. Ristagno idrico	20
31.6.6. Rischio di inondazione.....	20
31.6.7. Disponibilità di ossigeno.....	20
31.6.8. Reazione (pH).....	20
31.6.9. Calcare attivo	20
31.6.10. Schema di valutazione	21
Bibliografia di riferimento.....	21

¹ Università di Firenze - Facoltà di Agraria, Dipartimento di Ortoflorofrutticoltura

31.1. Specie, prodotti, usi

Il melo (*Malus pumila*) è una pianta originaria del sud del Caucaso, diffusasi in Europa precocemente, tanto da trovarne citazioni nei testi di civiltà antiche. L'origine di *Malus pumila* è probabilmente da ascrivere ad ibridazione tra *Malus sylvestris* e altre specie di *Malus*.

Il frutto è un pomo di forma globosa (falso frutto), formato dall'ingrossarsi dell'estremità del ricettacolo; questo ingloba il torsolo (l'endocarpo) più o meno sviluppato e cinque logge ovariche, contenenti ciascuna due semi ovoidi, bruni e lucidi. Il mesocarpo è costituito dalla polpa,

con caratteristiche diverse in funzione della varietà. L'epicarpo è costituito dalla buccia, la quale assume colore variabile.

Il frutto è destinato, sia fresco che conservato, al consumo fresco per oltre il 65% della produzione, il resto viene impiegato nell'industria (*solid pack* o mele a fette per

Ordine: ROSALES

Famiglia: ROSACEAE

Sottofamiglia: POMOIDEAE

Specie:

Malus pumila Mill. (vi afferiscono quasi tutte le cv attuali ed i più comuni portinnesti):

M. p. paradisiaca L. («Paradiso», ad esempio M9)

M. p. praecox gallica («Dolcino», ad esempio EM2, EM4)

Altre specie interessanti:

M. baccata (L.) Borkh. (cv di mele da sidro, fonte di resistenza al freddo ed alla ticchiolatura)

M. floribunda Sieb. (fonte di resistenza alla ticchiolatura, impollinatore di *M. pumila*)

pasticceria; *apfelmuss* o crema di mele per i paesi nordici; succo limpido o torbido per bevande; sidro dopo la fermentazione; cremogenato per la prima infanzia; distillato per eliminare le eccedenze).

La mela è uno dei frutti più interessanti dal punto di vista alimentare, per la sua ricca composizione e le caratteristiche di digeribilità. Infatti, oltre all'85% di acqua che la rende dissetante e diuretica, contiene glucidi che sono i costituenti principali delle mele (mediamente 11 g 100g⁻¹ di parte edibile), con frazione disponibile costituita da amido e zuccheri, responsabili dell'elevato potere energetico. Altri costituenti importanti sono gli acidi organici, soprattutto l'acido malico, che stimolano la digestione e proteggono le mucose gastriche, ed inoltre influenzano il sapore e la cottura. Il contenuto di ceneri nelle mele fresche può variare in funzione delle condizioni pedo-climatiche, ossia della disponibilità dei minerali nel terreno. Il potassio rappresenta la porzione minerale più importante (oltre il 40% del totale), seguono fosforo (12 mg 100g⁻¹) e calcio (6 mg 100g⁻¹). Il contenuto di vitamine, fatta eccezione per la vitamina C (5 µg 100g⁻¹) ed A (8 µg 100g⁻¹), è da considerarsi insignificante. La mela contiene molti composti fenolici, coinvolti nei processi di imbrunimento dei prodotti a base di mela. D'altro canto è stato confermato che il consumo regolare di mele provvede ad apportare una significativa parte dei polifenoli (catechina, epicatechina, procianidina B2, acidi idrossicinnamici, flavonoli, diidrocalconi e antociani) assunti giornalmente nella dieta alimentare occidentale. In base al quadro prospettato al congresso Prognosfruit di Lublino

(Polonia) del 6 e 7 agosto 2004, dove vengono ufficializzate le previsioni di produzione di mele per la stagione entrante, è stimata una produzione di mele di 10.300.00 t nell'Europa allargata a 25 Paesi nel 2004, con un +3% rispetto al 2003. La scelta della Polonia non è stata casuale, in quanto "*new entry*" nella Comunità, ma anche paese con la maggiore produzione di mele nell'Europa con circa 2.500.000 t (di cui il 70% trasformate in succhi). Nella UE a 15 Paesi la produzione è stimata sulle 6.900.000 t di mele nel 2004, +4% rispetto al 2003; i dati del 2004 riguardanti l'Italia testimoniano l'importanza della sua melicoltura, con una produzione intorno a 2.012.000 t. Da segnalare, tra i 25 Paesi UE, Francia (2.400.000 t), Germania (1.600.000 t), Ungheria (680.000 t) e Spagna (614.000 t). I cali di produzione più vistosi sono avvenuti in Grecia (-18% rispetto al 2003) e Belgio (-21%). Tra i Paesi extra europei, ricordiamo gli Stati Uniti con produzioni di 4.290.000 t di mele, l'ex URSS con circa 3.400.000 t, seguono India (1.470.000 t), Argentina (1.262.000 t) e Cile (1.100.000 t). Un caso a parte è rappresentato dalla Cina, in vertiginosa espansione (dal 1999 ad oggi +400%), che si colloca come il maggiore produttore di mele mondiale con circa 24.000.000 t di mele (35% sul totale mondiale) (FAO, 2004).

L'andamento della produzione di mele nel nostro Paese si è mantenuto pressoché costante dal 2000 ad oggi, tra le varietà più coltivate troviamo Golden Delicious (931.000 t nel 2004), che si conferma la più diffusa, Red Delicious (276.000 t) e Gala (236.000 t); l'anno 2004 ha registrato forti aumenti per le varietà Annurca (60.000 t, +50% rispetto al 2003), Breaburn (85.000 t, +48%), Gala (+27%), Red Delicious e Renette, mentre in calo rispetto allo scorso anno figurano Jonagold, Elstar e Imperatore. In vetta alla classifica delle regioni più produttive si conferma l'Alto Adige con 872.165 t (+1,3% sul 2003); segue il Trentino con 391.144 t (+ 4,8%), al terzo posto il Veneto con 226.182 t, ma con un forte calo del 15,9% sul 2003; seguono Friuli, Emilia Romagna e Piemonte (ISTAT, 2004). In Piemonte, la coltivazione, pur essendo diffusa in larga parte della regione, trova le migliori condizioni pedoclimatiche nella provincia di Cuneo, caratterizzata da terreni permeabili, ben esposti e dove sono assenti fenomeni di ristagno idrico. Da sempre la Provincia di Bolzano, insieme a quella di Trento, è sinonimo di melicoltura di qualità; in Provincia di Trento oltre il 50% dei meleti è localizzato nella Val di Non.

La coltivazione veneta è incentrata per la maggior parte in provincia di Verona, oltre ad altre province importanti quali Padova e Rovigo. La melicoltura regionale emiliana e romagnola è particolarmente diffusa nelle Province di Ferrara, Modena, Ravenna e Bologna. Per il Sud spicca la Campania (in particolare nella Provincia di Salerno), dove si riscontrano meleti di Annurca.

31.2. Varietà ed impollinatori

31.2.1. Varietà

In Italia, come nelle più importanti aree di coltivazione mondiali, si rileva un netto e preciso orientamento dei frutticoltori verso talune varietà afferenti ai gruppi policlonali Golden Delicious, Red Delicious, Gala e Fuji (rappresentanti poco meno dell'80% della produzione nazionale di mele), ai quali fanno da corollario altre tipologie per il completamento della gamma d'offerta e la copertura di limitati segmenti di mercato, con prodotti tipici diffusi localmente. Tra le proposte più importanti incontrate nella Lista varietale del melo 2005, del progetto finanziato MiPAF si possono trovare quelle citate in seguito.

Varietà estive

Dominano i cloni del gruppo Gala, dove è generalizzata la preferenza per le varietà a frutto striato come Galaxy* (-27 gg dalla cv di riferimento Golden Delicious, che matura il 16 settembre a Bolzano, il 22 settembre a Cuneo), clone di riferimento del gruppo dotato di elevata e costante produttività oppure come Gala Schnitzer® Schniga* o Brookfield® (-27) dalle analoghe caratteristiche. Sono varietà molto valide in ambienti pedemontani, mentre difettano in ambienti di pianura per problemi di *cracking* peduncolare e di regressione del colore.

Varietà autunnali

Per il gruppo delle Red Delicious sono proposti soprattutto cloni spur come la storica Red Chief® (-5), in alternativa Scarlet Spur® (-9) o Superchief® e la consolidata Early Red One® (-10) che in tutte le aree hanno manifestato un buon comportamento agronomico e pomologico. Altre varietà possono essere proposte solo per limitate zone di montagna o collina dell'arco alpino come Top Red o Hapke Delicious, di buona colorazione brillante e striata.

Giudizi unanimi e simili caratterizzano anche le indicazioni per il gruppo Golden Delicious; accanto alle sempre valide Golden Delicious clone B (0) e Smoothee® (0), per le quali una coltivazione di pianura peggiora lievemente lo standard rispetto alle aree alpine, troviamo le più recenti Gold Chief® e Tentation® con frutti aromatici e attraenti. Altre mele autunnali, che maturano nella seconda quindicina di settembre, vengono indicate solo per specifiche zone. È il caso del gruppo Jonagold, Corail® Pinova* (-3) o Cameo® Va menzionata, infine, una vecchia cultivar dai frutti di grossa pezzatura, irregolari e rugginosi, di sapore caratteristico e aromatico come la

* Questo simbolo indica che la cultivar è protetta.

® Questo simbolo indica "marchio registrato".

Renetta del Canada (-15) che, però, resta pur sempre un prodotto di nicchia per le aree montane.

Varietà invernali

Tra le mele a maturazione tardiva troviamo diversi gruppi. Si segnalano alcuni cloni di Braeburn, solo per il Nord Italia; nel gruppo Stayman, le indicazioni più interessanti riguardano la vecchia Staymared (+20) e la più recente Superstaymared, di grande produttività con frutti resistenti alla spaccatura. Nell'ambito del gruppo Fuji (+25), da sempre uno dei più prolifici in cloni, si segnala una varietà preferita in pianura (Naga Fu 12, +25) e due cloni striati graditi nelle zone di maggior altitudine come Kiku®8 e Raku Raku. Tra le varietà lasciateci in eredità dal passato si ricordano Imperatore Dallago e Granny Smith, questa anche col ruolo di impollinatrice di meleti monovarietali. La mela Annurca (+25), con il mutante Annurca Rossa del Sud resta la più importante per il meridione, con prodotti di nicchia di sempre crescente interesse da parte del consumatore.

Varietà resistenti alla ticchiolatura

Le novità sono rappresentate dalle numerose cultivar emerse dai programmi di miglioramento genetico e dall'introduzione delle prime varietà a resistenza multipla (come Ariwa® resistente a oidio e ticchiolatura); le molte cultivar proposte si sono dimostrate valide nella maggior parte degli ambienti di valutazione e in grado di fornire un'ampia gamma, differenziazione qualitativa e continuità di raccolta. Tra le molte cultivar proposte possiamo citare Prime Red, Querina® Florina*, Golden Orange*, Harmonie® Delorina*, Nova Ènova*, Topaz* e Brina* (poco sensibile anche all'oidio); tutte quante caratterizzate da frutti molto colorati, di buona forma e pezzatura.

31.2.2. Impollinatori

Per favorire una buona impollinazione occorre garantire la presenza di arnie di api in ragione di 3-4 per ettaro; per non distrarre le api dei fiori del melo e favorire l'impollinazione è necessario sfalciare il cotico erboso ed evitare l'impiego di antiparassitari in fioritura. Per assicurare un'ottimale impollinazione incrociata andrebbero garantiti rapporti di consociazione tra le cultivar del 10-15% di piante impollinatrici se intercalate lungo la fila; nel caso di filari monovarietali tale rapporto dovrebbe risultare del 20-25% (Disciplinare di produzione integrata Regione Emilia Romagna, 2006). Generalmente si consiglia di utilizzare nell'impianto due varietà di impollinatori, tra i più noti si citano: Evereste*, che garantisce abbondante fioritura; Golden Gem* e Crimson Gold*, che sono varietà di *Malus floribunda*. Alcuni esperti consigliano anche la distribuzione di varietà da

consumo quali donatori di polline, fra i più adatti citiamo Granny Smith, Golden Delicious, Gala, Red Delicious, Idared.

31.3. Portinnesti

La moderna melicoltura è basata per il 90% su di un solo portinnesto: l'M9 (*Malus p. paradisiaca*). Altri portinnesti più vigorosi trovano una logica applicazione solo per le varietà molto deboli o di tipo spur, oppure quando le condizioni pedoclimatiche sono sfavorevoli. L'M9 è stato selezionato da una popolazione di "Paradiso Giallo di Metz" ottenuta ad East Malling nel 1914, successivamente risanato con termoterapia e rifezionato per individuare i cloni meno vigorosi.

Induce scarsa vigoria e necessita di sostegni, per questo ben si addice agli impianti ad alta densità; è poco pollonifero, generalmente affine con le varietà coltivate; la messa a frutto è precoce, la produttività e l'efficienza produttiva sono elevate. La qualità dei frutti è esaltata in sapore, pezzatura e colore. È sensibile alle minime termiche inferiori a -20°C, ad *Agrobacterium tumefaciens* e all'afide laniero, ma resiste a *Phytophthora*. Essendo "nanizzante", ha apparato radicale più superficiale ed un minor ancoraggio. Tra i cloni risanati e diffusi in Italia troviamo l'M9 EMLA, moltiplicato in Emilia Romagna, inserito nel Progetto finalizzato Portinnesti del MiPAF, leggermente più vigoroso; altri cloni degni di menzione sono Pajam 1, Pajam 2, NAKB 337, KL 29 e Burgmer 751. M26, trova la sua migliore applicazione nei nuovi impianti combinato con tipi spur di Red Delicious; si adatta bene ai terreni siccitosi, mentre mal sopporta quelli asfittici; è altamente suscettibile al "colpo di fuoco batterico". Induce una vigoria medio scarsa, ma comunque troppo elevata per la gestione da terra. Fra i più utilizzati fino a qualche anno addietro troviamo MM106, adatto per terreni di media fertilità, non soggetti a ristagni idrici (soffre molto i marciumi radicali causati da *Phytophthora cactorum*); meritevole per la precoce messa a frutto. Induce vigore medio, quindi è poco compatibile con le moderne esigenze. Molto adattabile a tutti i terreni è MM111, che però induce elevata vigoria; mentre oggi è praticamente abbandonato M7. Portinnesti di recente introduzione, in corso di sperimentazione e diffusi in tutta Europa, sono M9 T337 e M9 T339, ottenuti da selezioni clonali di "Paradiso Giallo di Metz"; inducono vigoria leggermente inferiore a M9 EMLA e hanno scarsa attitudine pollonifera. La fruttificazione e la qualità dei frutti sono buone.

31.4. Esigenze della pianta e tecniche colturali

31.4.1. *Clima*

Dovendo produrre mele di qualità non è possibile diffondere la coltura in ambienti non vocati o comunque poco idonei. Infatti, la migliore qualità, adatta ai mercati europei, si ottiene in tutte le vallate dell'arco alpino, dove le particolari condizioni di temperatura e luminosità sono solitamente tali da conferire ai frutti una migliore qualità organolettica rispetto ai terreni di pianura. Sono ritenute ottimali altimetrie tra i 600 e i 900 m s.l.m. (la Golden Delicious è coltivata fino al limite di 900 metri); sub ottimali quelle tra 600 e 200 m s.l.m. (al Sud Italia si ottiene una qualità adatta al consumo interno con le tradizionali varietà Golden e Red Delicious coltivate oltre i 400 metri di altitudine, Annurca e Gala anche ad altitudine inferiore); la coltivazione risulta accettabile anche in zone pianeggianti (0-200 m s.l.m.). Sulle pendici dell'Etna esiste un'interessante produzione di alcune vecchie varietà di mele, spesso in coltivazione biologica e quasi sempre sopra i 1.300 metri di altitudine. In generale però, oltre i 1.400 metri la coltivazione di mele risulta non essere più idonea. L'esigenza di ore di freddo si estende da 800 (accettabile) a 1.300 (ottimale) ore; sotto le 750 ore il fabbisogno non è soddisfatto. Il melo è coltura tipica dei climi temperato freddi, infatti sopporta bene sia i freddi invernali (fino -29°C), sia gli eccessi di umidità e si adatta anche ai climi caldi purché siano soddisfatte le esigenze in freddo; le migliori condizioni per l'attività vegetativa sono comprese tra 15 e 18°C.

Tabella 31.1. Indice di gelata (Probsting et al., 1971).

FASE FENOLOGICA	Durata (giorni)	T (°C) ottimale, accettabile (10-20%)	Non idoneo (> 25%)
Rottura gemme (1 ^a -2 ^a decade di marzo)	12	-9 / -12,5	-16
Punte verdi (fine marzo)	12	-7,8 / -8,5	-12
Orecchiette di topo (inizio aprile)	6-7	-5 / -6,5	-9,4
Mazzetti affioranti (1 ^a settimana di aprile)	4-7	-2,8 / -3,5	-6,1
Bottoni rosa (1 ^a decade di aprile)	4-7	-2,2 / -2,8	-4,4
Inizio fioritura (metà aprile)	5-7	-2,2 / -2,8	-3,9
Fioritura (1 ^a -2 ^a decade di aprile)	5-7	-2,2 / -2,8	-3,9
Fine fioritura (fine aprile)	5-7	-2,2 / -2,8	-3,9

È una pianta molto suscettibile ai ritorni di freddo, ad ogni fase fenologica a partire dal rigonfiamento della gemma fino all'allegagione sono state individuate le temperature minime al di sotto della quale si verificano danni tali da compromettere la produzione; sono considerate ottimali le temperature che comportano danni inferiori al 10% della PLV e non idonee le temperature alle quali le perdite di prodotto sarebbero superiori al 25% (tabella 31.1).

31.4.2. Fertilizzazione

I fattori determinanti la concimazione di un meleto sono molteplici: il terreno, la sua gestione, il regime idrico, il portinnesto, la varietà, la produzione, ecc. Dare dati precisi sulla concimazione risulta praticamente impossibile; le indicazioni di carattere generale, tenuto conto di tutti i fattori, devono basarsi su un'analisi del terreno (tabella 31.2).

Tabella 31.2. Valori di riferimento per alcuni caratteri del suolo.

PARAMETRI	VALORI
pH (H ₂ O)	6,5-7,5
Calcare attivo	2-5%
CSC	10-20 meq 100g ⁻¹
S.O.	> 2%
N _{totale}	1,5%
P ₂ O ₅ assimilabile	> 15 ppm
K ₂ O scambiabile	> 150 ppm
Ca scambiabile	> 2.000 ppm
Mg scambiabile	> 150 ppm
B scambiabile	> 5 ppm
Rapporto C/N	11
Rapporto Mg/K	2-5

La concimazione pre-impianto deve prevedere apporti di sostanza organica (letame ed altro) e di K, P e Ca per aumentare nel terreno la disponibilità di questi elementi e degli altri (Mg, Mn, B, Fe, Zn), qualora si manifesti la loro carenza. Vista la facilità di movimento dell'azoto, non devono essere apportati fertilizzanti minerali azotati prima della messa a dimora delle piante. Nel caso che il rapporto Mg/K sia inferiore a 2 è necessaria una correzione (per apportare dosi non elevate si ricorre al solfato potassico

magnesiaco o al solfato magnesiaco per elevate correzioni); mentre se superiore a 5 vanno evitate concimazioni magnesiache per non compromettere l'assimilazione del potassio. La concimazione post-impianto, va rapportata alla dotazione potenziale di fondo indicata dell'analisi del terreno, dalla diagnostica fogliare e tenendo presente le asportazioni del meleto (tabella 31.3) nel corso dell'anno. L'analisi del contenuto di elementi minerali delle foglie va eseguito ai primi di giugno e una seconda volta all'inizio di agosto. Nel caso dell'azoto, si ritengono adeguati apporti annui compresi tra 60 kg ha⁻¹ nel caso di impianti più vigorosi e 100 kg ha⁻¹ quando si è in presenza di scarsa attività vegetativa e la carica produttiva degli alberi è elevata.

Tabella 31.3. Quantità (kg ha⁻¹) di elementi assorbiti da un meleto in piena produzione (40t ha⁻¹).

Asportazioni e perdite	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	CaO	MgO
Strutture permanenti	15,5	8,5	15,0	52,0	3,5
Legno potatura	10,0	4,4	4,0	32,0	3,5
Foglie	43,0	6,5	54,5	98,0	27,0
Frutti	20,0	13,0	60,0	5,0	3,0
Varie*	10,5	3,0	15,5	4,0	1,5
TOTALE	99,0	35,4	149,0	191,0	38,5

* Fiori e frutticini cascolati a terra (ERSO, 1993).

Per il melo è consigliabile intervenire con la prima somministrazione primaverile non prima della fase fenologica dei “bottoni fiorali”; se gli apporti unitari risultassero superiori alle 60 unità fertilizzanti è necessario effettuare somministrazioni frazionate, così come non è consentito apportare azoto al terreno dopo la metà di ottobre nei meleti (Disciplinare di produzione integrata Regione Emilia Romagna, 2006). Per il potassio, in presenza di terreni ben dotati, non si ritiene conveniente superare le 150 unità ha⁻¹, mentre per il fosforo, in virtù delle limitate quantità asportate dal meleto nel corso dell'anno non è conveniente superare i 50 kg ha⁻¹ di P₂O₅. Non vanno dimenticati gli apporti di calcio e magnesio, in presenza di terreni molto sciolti (tabella 31.4).

Tabella 31.4. Piano di fertilizzazione di un meleto in piena produzione.

Elemento	Quantità (kg ha ⁻¹)	Cadenza	Epoca	Note
Azoto	80-90	annuale	primavera/ autunno	aumentare in impianti intensivi (130-140 kg ha ⁻¹)
Fosforo	50-80	biennale, triennale	autunno	
Potassio	100-120	annuale	autunno	
Magnesio	50-70			se necessario
Boro e Calcio				concimazione fogliare

Il ricorso alla concimazione fogliare risulta particolarmente efficace quando si manifestano a carico dell'albero stress nutrizionali che richiedono interventi mirati e tempestivi; nel melo sono piuttosto diffuse le somministrazioni dei microelementi come boro, ferro, zinco, zolfo, e la somministrazione di CaO per via fogliare per prevenire la Butterschmelze amara e quindi migliorare la conservazione frigorifera dei frutti.

31.4.3. Fabbisogno idrico e irrigazione

Il melo è in assoluto, tra le specie arboree da frutto, la pianta che meglio di altre risponde agli interventi irrigui, incrementando sia la pezzatura che il numero dei frutti. In più, corrette gestioni irrigue garantiscono conservabilità e serbevolezza; diversamente sono possibili scadimenti qualitativi del frutto e l'insorgenza, in fase di conservazione, di quelle fisiopatie legate a squilibri nutrizionali. Dato l'impiego di portinnesti nanizzanti, con apparato radicale molto superficiale, il melo è assai soggetto a stress da carenza idrica. Il fabbisogno idrico di questa specie è assai elevato (500 L kg^{-1} di s.s. prodotta), pari mediamente a 6.000 m^3 di acqua; non vi sono particolari fasi di sviluppo in cui il melo risulta sensibile allo stress idrico, l'intero ciclo vegetativo richiede attenzione. In genere gli andamenti pluviometrici al Nord soddisfano le esigenze del melo; tuttavia un nuovo impianto di melo non può prescindere da un efficiente sistema irriguo. La tempestività, la regolarità di intervento e la possibilità di modulare i quantitativi di acqua erogati alle piante, nonché i minori costi e la mancata bagnatura dell'apparato fogliare orienta i frutticoltori odierni verso impianti microirrigui. Questo tipo di irrigazione consente di distribuire l'acqua in modo localizzato pianta per pianta; funziona a bassa pressione d'esercizio ($1\text{-}1,5 \text{ atm}$), con minima portata specifica continua ($0,15\text{-}0,20 \text{ L sec}^{-1} \text{ ha}^{-1}$) e con gocciolatori autocompensanti permette un notevole risparmio energetico. Nei terreni sciolti e sabbiosi, con abbondante scheletro è necessaria una minore distanza fra i gocciolatori. Individuare con precisione la quantità di acqua da somministrare alle piante ed il momento di intervento rappresenta una scelta assai difficoltosa in quanto condizionata da numerose variabili (entità delle piogge, tipo impianto irriguo, ecc.). Per supportare adeguatamente l'agricoltore nella razionale gestione della pratica irrigua, sono da alcuni anni, attivi in Emilia Romagna alcuni servizi ("Servizio Regionale Irrigazione") che forniscono consigli su volumi di irrigazione e momenti di intervento. In ogni caso è condizione vincolante per i Disciplinari di produzione integrata disporre in azienda di un pluviometro o dei dati di una capannina meteorologica limitrofa in modo da poter valutare l'entità delle piogge e ritardare, in questo modo, l'intervento irriguo.

Al fine di verificare l'idoneità all'irrigazione dell'acqua disponibile si raccomanda di analizzarne un campione, ricordando che per la conducibilità

elettrica (ECw) valori compresi tra 1,0 e 2,2 mS cm⁻¹ arrecano parziali danni alla coltura, mentre contenuti superiori a 2,2 mS cm⁻¹ causano gravi danni.

Ipotizzando una situazione di piante in piena produzione, portinnesto standard, vigoria e densità di piantagione media, falda freatica ininfluyente e interfilare inerbito può essere stimato un calendario di irrigazione (tabella 31.5).

Tabella 31.5. Volumi di adacquamento e turni per impianto microirriguo.

Mese	Restituzione idrica (mm g ⁻¹) ¹	Intervallo consigliato (giorni)	Pioggia (mm) ²
Aprile	0,8	1-4	1,0
Maggio	2,1	1-4	2,0
Giugno	4,2	1-4	3,5
Luglio	5,1	1-3	4,5
Agosto	4,6	1-3	4,0
Settembre	3,4	1-4	3,0

¹ Si intende il quantitativo di acqua da restituire alla coltura in base al suo fabbisogno idrico.

² mm di pioggia misurati con il pluviometro che fanno ritardare di un giorno l'intervento irriguo. Devono essere considerate nulle le piogge inferiori ai valori che ritardano l'irrigazione; allo stesso modo sono nulli i mm di pioggia eccedenti il volume di adacquamento prescelto.

Durante il periodo della fioritura dei meli, uno dei pericoli più gravi è quello delle gelate notturne che possono danneggiare i fiori e quindi compromettere il raccolto.

È durante la notte che la rugiada, se la temperatura scende sotto gli 0°C, congela e cristallizza formando la brina. Il sistema di difesa più diffuso nei frutteti è l'irrigazione antibrina. I sistemi d'allarme che segnalano l'approssimarsi della temperatura ai valori a rischio (0°C/-1°C), possono essere sia elettronici, sia tradizionali come il comune termometro. Questo sistema, se ben progettato, consente di proteggere il frutteto da temperature anche inferiori ai -10°C.

31.4.4. Gestione del suolo

Nella fase d'impianto dopo le sistemazioni idraulico-agrarie (creazione di fossi e scoline per il governo delle acque superficiali, oppure di drenaggi qualora terreni troppo compatti e poveri di scheletro ostacolino lo smaltimento delle acque in profondità) ed il livellamento del terreno, sarà opportuno eseguire uno scasso totale o rippatura (con concimazione di fondo allo scopo di arricchire il terreno in sostanza organica) e per finire una lavorazione superficiale, tipo erpicatura.

In fase di allevamento il terreno viene lavorato, in modo da evitare una possibile competizione tra la coltura e le specie erbacee per l'assorbimento dell'acqua e degli elementi minerali, nonché fenomeni di allelopatia. In fase di produzione, in terreni irrigui e con buona capacità di ritenzione idrica, può essere conveniente l'inerbimento. L'inerbimento dell'interfila può essere attuato dal terzo anno dall'impianto, con 60 kg ha⁻¹ di seme, ricorrendo a specie spontanee od a prati artificiali (miscugli di 4-5 specie: *Lolium perenne*, *Festuca ovina*, *Poa pratensis*, *Festuca rubra*, *Trifolium repens*); i risultati positivi sono dati dalla maggiore portanza e praticabilità dei mezzi meccanici; dall'apporto di sostanza organica nel terreno (intorno a 20-30 t ha⁻¹ di materia fresca) e quindi un miglioramento della struttura dello stesso; dalla scarsa lesione all'apparato radicale; dalla maggiore capacità d'infiltrazione dell'acqua; dal controllo sulla flora infestante; dalla maggiore disponibilità di elementi come fosforo e potassio; dal contenimento della butteratura amara e del disfacimento interno. Il ricorso all'inerbimento può essere utile per il contenimento della spinta vegetativa nel caso di impianti con portinnesti, come MM111, che inducono elevata vigoria alle piante (è consigliato aggiungere una buona dose di Trifoglio bianco). Talvolta sono stati notati effetti negativi, come la rugginosità nelle cultivar sensibili e l'aumento delle brinate tardive. Va ricordato che, là dove si temono gelate, non è conveniente lasciare un cotico erboso perché con esso la temperatura al suolo si porta su valori leggermente più bassi di quelli dei terreni nudi non lavorati. Il controllo delle malerbe lungo il filare si ottiene con il diserbo chimico, la striscia diserbata non deve superare i 70 cm; si utilizzano prodotti non residuali, biodegradabili, preferibilmente nel periodo primaverile (Disciplinare di produzione integrata Regione Emilia Romagna, 2006).

I principi attivi usati sono ad assorbimento fogliare con traslocazione nell'apparato radicale e colpiscono anche le infestanti perenni, con l'obiettivo di mantenerle in uno stato di sviluppo che limiti la competizione con l'albero da frutto. L'uso di Glyphosate su piante adulte può avvenire anche in presenza di polloni radicali senza danno per la pianta. In generale nel Centro-Nord, dove esiste maggiore disponibilità idrica, le lavorazioni del terreno sono state sostituite dall'inerbimento sull'interfila e dal diserbo sulla fila, mentre nel Sud si ricorre alla tecnica della lavorazione del terreno sia sulla fila che sull'interfila al fine di costituire le riserve idriche del terreno e per il controllo delle infestanti. In tali zone l'inerbimento non è di regola proponibile e si ricorre a lavorazioni superficiali (essenzialmente erpicature).

31.4.5. Impianto e allevamento

La facilità del controllo della vigoria degli alberi di melo con i vari portinnesti clonali a debole vigore, ha permesso l'applicazione pratica di numerosi tipi di impianto più o meno intensivi aventi tutti gli stessi obiettivi: riduzione dei costi, aumento della produzione, miglioramento della qualità. Da forme in

volume (vaso e piramide) della frutticoltura estensiva, si è passati a forme appiattite o poco voluminose (palmetta e *spindelbush*) nella melicoltura semi-intensiva, al fusetto per elevate densità di impianto.

L'intensità di piantagione, che è proporzionale ad una più precoce entrata in produzione, comporta alcune considerazioni preliminari: le capacità tecniche, l'ambiente, la possibilità di elevati investimenti, l'utilità economica di arrivare subito sul mercato con una nuova varietà. In generale si assiste a densità maggiori in ambienti montani rispetto a quelli di pianura, questo per la necessità di ottimizzare la quantità di terra disponibile e per la necessità di sfruttare con più efficienza la luce in situazioni declivi.

*Impianti a medio-basse densità (300-600 c)**

Le forme d'allevamento adottate sono principalmente quelle in volume come il fuso libero, la piramide Oeschberg o il vaso ritardato.

*Impianti a medio-alta densità (600-2.000 piante per ettaro)**

Ben vi si adattano forme d'allevamento appiattite o poco voluminose quali palmetta e Spindelbush. La preferenza dei melicoltori di pianura ricade su forme riconducibili ad una parete fruttifera continua come la palmetta di altezza non superiore a 2,20-2,30 m, con piante equilibrate, ben esposte alla luce in ogni parte della chioma.

*Impianti a molto alta densità (2.000-3.000 piante per ettaro)**

Per maggiori densità d'impianto sono state adottate fuso libero e fusetto, cioè forme a cespuglio non molto aperte che rispettano l'*habitus* vegetativo della pianta e che consentono una raccolta agevole da terra; quest'ultimo è il sistema adottato nelle zone melicole di pianura e montagna, si ottiene più rapidamente con astoni preformati in vivaio, dotati di numerosi rami anticipati fra i 70 e 100 cm da terra, lasciate intere senza alcuna cimatura. Si può arrivare, con forme del tipo fusetto a più file, Minicespugli a file multiple, Asse colonnare a cordone verticale, il serpentone e Slender spindel alle 5.000 piante per ettaro. Lo spindel nelle varietà standard è costituito da un'asse centrale e da un palco di branche a circa 80 cm da terra, il tutto rivestito di rami a frutto, mentre nelle varietà di tipo spur è costituito da un asse centrale e da 4-5 branche a 60-70 cm da terra, inclinate di 40-50°, il tutto rivestito di rami a frutto e di speroni. I sistemi a file multiple, introdotti in Alto Adige negli anni '70 e '80, per ottenere maggiori produzioni unitarie più rapide ed a minor costo, vengono adottate solo marginalmente. Questo a causa dei maggiori problemi di alternanza, di una minore pezzatura dei frutti, ed alcune pratiche agronomiche non compatibili con i disciplinari di produzione integrata.

* Le densità d'impianto sono da considerare raddoppiate qualora le piante siano di tipo spur.

Impianti ad altissima densità (5.000-20.000 piante per ettaro)

Possono essere raggiunte queste densità d'impianto con forme d'allevamento specifiche quali il cordone verticale e Superspindel a file singole o multiple. Il cordone verticale rappresenta il sistema d'impianto più intensivo per il melo ad oggi adottato; si è rapidamente diffuso ormai in quasi tutte le zone frutticole europee ed anche americane. Le piante sono formate da un asse centrale con corti rami laterali, quasi tutti brindilli, e non richiedono legature; la potatura si limita all'eliminazione dei rami troppo vigorosi o con angolo di inserzione stretto; l'elevato numero di piante permette di raggiungere produzioni superiori alle 50 t ha⁻¹ già dal terzo anno ed inoltre tutti i frutti si trovano ben esposti alla luce, così da raggiungere buoni livelli qualitativi in pezzatura e colorazione.

31.4.6. Potatura

La potatura di allevamento del melo consiste nel far assumere alla pianta la forma d'allevamento voluta nei primi anni dall'impianto, ciò prevede pochi tagli ma comporta piegature e legature dei rami. La potatura di produzione, eseguita nel periodo vegetativo, deve tenere in considerazione il tipo di fruttificazione delle diverse varietà: può richiedere interventi cesori scarsi e leggeri per le varietà che fruttificano su lamburde portate da legno vecchio (Renetta del Canada e altre, ormai poco usate); mentre necessitano un più veloce *turn-over* delle formazioni fruttifere le varietà che fruttificano prevalentemente su legno giovane (lamburde di primo fiore, brindilli coronati, rami misti).

La potatura del melo si esegue quasi esclusivamente a mano con l'ausilio di forbici pneumatiche da terra o su carri a piattaforma. La potatura meccanica è poco utilizzata in Italia, ma sembra fornire buoni risultati sulla base delle esperienze straniere: le forme di allevamento particolarmente indicate per questo tipo di potatura sono il Lincoln canopy e il Tatura trellis. La potatura verde viene eseguita tra la metà di luglio e la metà di agosto normalmente sulle piante giovani o per eliminare succhioni e germogli in sovrannumero in piante adulte.

Per produrre frutti di pezzatura regolare e favorire la preparazione delle gemme a fiore, contenendo l'alternanza, viene effettuato il diradamento dei frutti. Questa pratica può essere effettuata manualmente, da praticarsi in giugno, o chimicamente se condotto mediante trattamenti a base di fitoregolatori auxinici: NAD (amide dell'acido alfa-naftalenacetico), NAA (acido alfa-naftalenacetico). Il NAD si utilizza per frutticini di diametro 4-6 mm su legno di 2 anni, non si impiega per Fuji o Red Delicious, sulle Gala, data la loro sensibilità, va ridotta la dose del 30%; inoltre possiede un effetto cosmetico sulle Golden. Il NAA si utilizza su frutticini di diametro 10-12 mm su legno di 2 anni ed è indicato per Fuji, Stayman, ma non è preferibile su

Golden. Trattamenti con NAD o NAA vanno eseguiti in condizioni di alta umidità e con temperature superiori a 12°C; è sempre opportuno l'utilizzo di un bagnante.

31.4.7. Problemi sanitari e rimedi

Il melo è una pianta suscettibile a numerose malattie, tanto da richiedere il maggior numero di trattamenti antiparassitari tra i fruttiferi, nonostante l'applicazione dei principi di lotta integrata. La difesa deve essere correlata ad una strategia di "produzione integrata" che analizza tutti i fattori tecnico-colturali i quali, direttamente o non, influiscono sull'aspetto sanitario della coltura (concimazione, irrigazione, potatura, gestione del suolo, ecc.) e sulle caratteristiche qualitative e commerciali dei frutti. Tra le principali crittogame, la più temibile è senza dubbio la Ticchiolatura (*Venturia inaequalis*) che si manifesta con macchie sfumate a contorno indefinito, olivacee, di diametro fino a 0,5 cm sulla pagina inferiore delle foglie; su quella superiore si presenta con collosità e lacerazioni del lembo; macchie e pustole si presentano anche su rami e gemme. L'impiego della resistenza genetica non sembra al momento fattibile. L'indirizzo di difesa antiticchiolatura adottato nei disciplinari di produzione integrata prevede un trattamento preventivo alla comparsa delle punte verdi o delle orecchiette di topo con sali di rame o polisolfuro di calcio (da preferire a quello di bario) e proseguire con trattamenti di difesa tempestiva tenendo in considerazione l'avvenuta infezione e l'entità di essa; là dove l'incidenza della malattia è più bassa può essere utilizzato polisolfuro di calcio a basse dosi (1.500 g hL⁻¹). Dal volo delle ascospore in poi per un primo trattamento di copertura può essere usato un fungicida ad azione curativa retroattiva come IBE (con temperature di almeno 8-10°C) e Dodina; per una seconda applicazione pre-fioritura prodotti maggiormente persistenti come il Dithianon. I succitati fungicidi vanno somministrati in miscele con prodotti di copertura e non applicati per più di 3-4 volte nel corso dell'annata indipendentemente dall'avversità; è bene alternare i formulati, e seguire tutte le prescrizioni sulle limitazioni dei principi attivi. Fra le altre crittogame menzioniamo l'oidio (*Podosphaera leucotricha*), che colpisce particolarmente la varietà Imperatore; mentre resiste bene la Red Delicious. La difesa prevede uno o due trattamenti in pre-fioritura con prodotti sistemici specifici; in post-fioritura seguirà l'intensità di attacco e l'andamento stagionale. Sulle Golden usare zolfi bagnabili fino alla fase del frutto noce, mentre non si deve usare Bupirimate sul gruppo Imperatore perché fitotossico. Pericolosi anche i cancri rameali e la ruggine.

Tra le malattie non parassitarie ricordiamo: spaccatura dei frutti, cascola dei frutti e rugginosità suberosa. Le fitopatie più dannose e imputabili alle basse temperature di conservazione sono: disfacimento interno, disfacimento sugoso, riscaldamento molle. Altre alterazioni fisiologiche delle mele non imputabili alle

basse temperature sono: imbrunimento da senescenza, cuore roseo, butteratura amara, vitrescenza, riscaldamento comune, appassimento.

Tra le alterazioni fisiologiche delle mele molto importante è la Butteratura amara, imputabile a carenza di calcio e altri fattori quali squilibri idrico-nutrizionali. Per prevenire la calcio-carenza sono necessarie ripetute applicazioni fogliari con chelato, ossido o cloruro di calcio.

Tra i fitofagi ricordiamo la *Carpocapsa* e la *Cydia* molesta: la difesa è impostata sulla base del monitoraggio degli adulti con le specifiche trappole a feromoni; in seguito sono da preferire gli IGR (*Insect Growth Regulator*) alla ovodeposizione della prima generazione, con i fosfororganici impiegati per la seconda generazione. Altri importanti fitofagi sono inoltre afidi, cocciniglie e ricamatori (contro i quali è possibile fare ricorso all'impiego del *Bacillus thuringiensis*).

31.5. Caratteri ambientali per la coltivazione del melo

Il melo è una specie arborea che si adatta bene ai climi piuttosto rigidi e può spingersi anche a latitudini e altitudini relativamente elevate; difatti è coltivato in zone alpine e pedemontane (fra le prime ricordiamo le valli alpine del Trentino, la Valtellina e le zone lombarde limitrofe, alto Piemonte a Valle d'Aosta, alte zone appenniniche come la Val d'Agri; nelle seconde rientrano il fondovalle alpino, la bassa atesina, la collina del cuneese, l'alto Friuli, l'alto Veneto, le colline appenniniche); nella pianura padano-veneta (le Province di Ferrara, Verona e Rovigo); nel Centro-Sud (le zone dell'agro campano, le zone etnee, la bassa Val d'Agri), cioè in ambienti pedoclimatici assai diversificati.

La pendenza del suolo ottimale per la coltivazione del melo è quella compresa tra 0 e 10%, poiché facilita l'esecuzione delle operazioni meccaniche (tabella 31.6). All'aumento della pendenza si verificano problemi relativi alle operazioni colturali, all'erosione, ai tempi di movimento di uomini e macchine.

Altro fattore da considerare è l'esposizione del terreno; questa influisce in modo rilevante sulla disponibilità di ore di luce e sulle temperature medie dell'ambiente di coltivazione. Per le aree del Centro e del Nord Italia sono ritenuti non idonei terreni esposti verso nord ed est, date le minori temperature e la minore disponibilità di irraggiamento che si riscontrano in tali ambienti rispetto ai terreni esposti a sud e sud-est. Sono stati ritenuti ottimali terreni esposti verso nord-ovest. L'esposizione a nord è stata considerata la meno favorevole alla coltivazione in tutti gli ambienti.

Si può affermare che le temperature entro le quali il melo non subisce alcun danno sono comprese da -20/-25°C nei mesi invernali ai 36°C dei mesi più caldi; naturalmente queste considerazioni sono in funzione della suscettibilità della fase fenologica in cui la pianta si trova; difatti temperature di -4°C in fioritura arrecano danni alla pianta. Tra le varietà più sensibili alle gelate ricordiamo le Golden e le Red Delicious; mentre tra le più resistenti

annoveriamo la Renetta del Canada, tipica mela di montagna. Temperature di 15°C durante il periodo maggio-ottobre, salvo diverse esigenze di alcune varietà, sono sufficienti per completare il ciclo riproduttivo; Granny Smith ed altre richiedono in media almeno 18°C. Per il superamento della fase di riposo vegetativo sono necessarie almeno 800 ore di freddo, mentre le ore di caldo necessarie per la fioritura devono superare le 400.

È ben noto che la qualità delle mele è fortemente influenzata dall'ambiente di coltivazione. Le aree montane garantiscono condizioni di temperatura e luminosità ottimali: intorno agli anni '80 nasce in Italia il fenomeno della mela di montagna; la superiorità qualitativa di tale prodotto, ottenuto nelle zone vocate del Trentino e dell'Alto Adige, si afferma rapidamente grazie alle migliori caratteristiche organolettiche del frutto (gusto e croccantezza) che andavano incontro alle richieste del consumatore, nonché alla nascita di alcuni marchi (più o meno longevi e fortunati) che favorirono l'identificazione del prodotto. Analisi svolte su due delle più comuni varietà in circolazione, la Red Delicious e la Golden Delicious, coltivate in cinque aree diverse, tre di montagna (Valtellina, Val di Non e Alto Adige) e due di pianura (Emilia e Veneto), hanno portato a risultati importanti: le mele di montagna sono, nel complesso, per pezzatura, forma, colore e lucentezza, sicuramente più attraenti rispetto alle mele di pianura. Altri caratteri a favore delle mele di montagna sono risultati l'epicarpo liscio con assenza di rugginosità, la polpa più soda e croccante, la maggiore durata della conservazione e una più lunga tenuta di maturazione.

Tabella 31.6. Indici altimetrici e delle pendenze.

Classi idoneità	Altimetria media (m s.l.m.)	Pendenza media (%)
Ottimale	600-900	0-10
Sub ottimale	200-600	11-20
Accettabile	0-200; 900-1.400	21-30
Non idoneo	> 1.400	> 30

31.6. Caratteri funzionali del suolo

31.6.1. Profondità del suolo

La profondità minima, utile alle radici, è di 50 cm; quella ottimale, considerando la differenze tra i vari portinnesti, deve essere superiore ai 100 cm (tabella 31.7). Un melo innestato su M9 possiede infatti radici che possono raggiungere

comunemente i 110 cm, assicurando una media capacità estrattiva dell'acqua (strato di massima estrazione 50 cm); le radici di un melo su MM106 possono raggiungere anche 130 cm, assicurando un'alta capacità estrattiva dell'acqua (strato di massima estrazione 60 cm). L'importanza della profondità utile alle radici non deve comunque essere sopravvalutata, poiché le radici più profonde hanno una prevalente funzione di ancoraggio, mentre la maggioranza delle radici assorbenti si trova nello strato più superficiale del terreno.

31.6.2. Tessitura e fessurazione

Nei riguardi del suolo il melo presenta una buona adattabilità, preferendo comunque terreni fertili di medio impasto; rifugge terreni spiccatamente argillosi, compatti, in cui il lento smaltimento delle acque crea problemi di asfissia; in questo caso risulta appropriato MM111 (assolutamente sconsigliati M26 e MM106). Anche i suoli eccessivamente sciolti, caratterizzati da scarsa ritenzione idrica, non sono adatti, in quanto M9, che conferisce ridotto vigore, non ha un apparato radicale molto sviluppato e non è capace di estrarre l'acqua in profondità. La fessurazione del terreno deve essere quanto più bassa possibile, perché terreni con forti crepacciature non sono idonei alla coltivazione.

31.6.3. Salinità e sodicità

Contenuti di sali nel terreno intorno a $0,4 \text{ dS m}^{-1}$ o superiori sono causa di sofferenza della coltura e di forti cali produttivi. Il melo tollera percentuali di sodio scambiabile (ESP) fino al 10%. L'irrigazione rappresenta un fattore indispensabile per una moderna melicoltura; di conseguenza, la qualità delle acque irrigue è fondamentale per il buon esito della coltivazione.

31.6.4. Drenaggio

Il drenaggio interno, cioè la capacità di eliminare gli eccessi idrici, di un suolo agrario atto ad ospitare un specie arborea da frutto dipende dalla permeabilità del suolo e dei suoi diversi orizzonti, dalla profondità della falda freatica, ecc. Per la coltivazione del melo i terreni migliori sono quelli che assicurano un drenaggio buono, ma non eccessivo: sono suoli a tessitura franca, in cui l'acqua è rimossa prontamente, ma non rapidamente, così da essere disponibile per l'assorbimento radicale. Il drenaggio sotterraneo permette di eliminare gli eccessi di umidità del terreno, garantendo un idoneo franco di coltivazione e favorendo l'approfondimento radicale; questo risulta tanto più importante nel caso di terreni compatti e poveri di scheletro.

31.6.5. Ristagno idrico

Nei confronti del ristagno idrico (che insorge quando il contenuto di acqua nel terreno persiste su livelli superiori alla capacità di campo fino a raggiungere la saturazione dei pori) il melo, anche quando innestato su M9, è molto suscettibile. M27, M26 e MM106 mal sopportano i terreni argillosi e asfittici; quest'ultimo predilige terreni non soggetti a ristagni idrici, anche perché soffre molto i marciumi radicali causati da *Phytophthora cactorum*.

31.6.6. Rischio di inondazione

L'inondabilità rappresenta il rischio probabilistico d'allagamento e alluvionamento di un territorio, entro un definito intervallo di tempo, per il verificarsi di una piena e la fuoriuscita dall'alveo del corso d'acqua. Per le ragioni riportate precedentemente la coltivazione del melo, sia in montagna che in pianura, deve essere sostenuta in zone con rischio di inondabilità lieve o assente.

31.6.7. Disponibilità di ossigeno

Per la coltivazione del melo, come per altre arboree da frutto, il suolo deve garantire una buona disponibilità di ossigeno per la respirazione e l'approfondimento radicale. Da ricordare che se l'ossigeno è inferiore al 2% in volume si ha la cessazione dello sviluppo della pianta.

31.6.8. Reazione (pH)

Nei confronti della reazione, si ritiene che i valori ottimali siano compresi tra pH 6,5 e 8,5; suoli con valori inferiori a 5,4 e superiori a 8,5 sono da considerarsi inospitali per la coltura del melo.

31.6.9. Calcare attivo

Il melo risulta mediamente resistente al calcare attivo quando innestato su M9, tollerando fino al 10% di calcare attivo; notevole capacità di resistenza è invece conferita dal portinnesto MM106, che tollera contenuti di calcare attivo fino al 12-15%. Al di sopra del valore soglia del 10% spesso si determinano processi di fissazione del fosforo e di riduzione della disponibilità di alcuni elementi minori (specialmente del ferro, causa della clorosi).

31.6.10. Schema di valutazione

Si riporta di seguito (tabella 31.7) lo schema di valutazione delle limitazioni pedologiche alla coltivazione del melo, frutto del lavoro svolto da I.TER nell'ambito del progetto "Catalogo dei suoli della pianura emiliano romagnola", finanziato dal Servizio Sviluppo Sistema Agro-alimentare ai fini della L.R.52/92 e revisionato da Ugo Palara (CISA M.Neri) e Carla Scotti (I.TER) nel dicembre 2005.

Tabella 31.7. Schema di valutazione delle limitazioni pedologiche alla crescita del melo su diversi portinnesti.

Caratteristiche pedologiche	Gruppi di portinnesti	Intensità delle limitazioni		
		assenti o lievi	moderate	severe
Profondità utile alle radici (cm)	M9 e cloni derivati	> 100	50 - 100	< 50
Tessitura	M9 e cloni derivati	media, moder fine, moder. grossolana	grossolana, fine	
Fessurazione	M9 e cloni derivati	bassa	media	forte
Salinità (EC 1:5 dS m ⁻¹)	M9 e cloni derivati	< 0,4	0,4 - 0,8	> 0,8
Sodicità (ESP)	M9 e cloni derivati	< 8	8 - 10	> 10
Rischio di inondazione: inondabilità	M9 e cloni derivati	assente o lieve	moderato	alto
Rischio di inondazione: durata	M9 e cloni derivati	estremamente breve, molto breve	breve	lunga, molto lunga
Disponibilità di ossigeno	M9 e cloni derivati	buona	moderata	imperfetta, scarsa, molto scarsa
Reazione (pH)	M9 e cloni derivati	6,5 - 8,5	5,4-6,4;	< 5,4; > 8,5
Calcare attivo (%)	M9 e cloni derivati	< 8	8 - 10	> 10

Bibliografia di riferimento

- AA., VV., 1991. *Frutticoltura speciale*. Reda, Roma.
- AA., VV., 1996. *Linee tecniche di produzione integrata. Melo*. Suppl. Terra e Vita. 34.
- ANCORELLI, S., ZINONI, F., 2004. *La tecnica/prevenzione nei campi, come difendersi dalle gelate fuori stagione*. Rivista Ermes Agricoltura, 23.
- ASIRELLI, A., SANSVINI, S., BALBASSARI, M.P., PIAZZA, R., 1997. *Un'indagine al mercato ortofrutticolo di Bologna: la qualità percepibile dalle mele di pianura e di montagna*. In: Melicoltura di pianura: quale futuro, Atti del convegno di Verona, 12 Aprile, 65-87.
- BACCI, L., CONESE, C., ROMANI, M., 2005. *Individuazione di indici bioclimatici e morfologici per la realizzazione di mappe di land suitability per le principali colture frutticole italiane*. Telespazio spa, Roma.

- DALPIAZ, A., 2004. *Le mele nella UE: ottimismo per il futuro, nonostante la Cina*. Rivista di frutticoltura e di ortofloricoltura, LXVI, 11, 15-18.
- DELLA CASA,, R., 1997. *Strategie di qualificazione e valorizzazione delle mele di pianura*. In: Melicoltura di pianura: quale futuro, Atti del convegno di Verona, 12 Aprile, 57-63.
- DI MARCO, L., FARINA,, V., DONATI,, F., INSERO, O., MAGNANO, P., SANSAVINI, S., 2005. *Speciale Liste varietali in frutticoltura 2005. Melo*. Suppl. Terra e Vita, 24, 41-52.
- DONATI, F., PALARA, U., BERRA, L., GUERRA, W., SANSAVINI, S., 2004. *Liste varietali dei fruttiferi 2004. Melo*. Suppl. L'Informatore Agrario, 24, 35-44.
- ERSO, 1993. *Disciplinare di produzione integrata. Melo*. Regione Emilia Romagna, Assessorato Agricoltura e Alimentazione.
- FAO, 2004. www.fao.org
- ISTAT, 2004. www.istat.it
- MATTA, A., 2000. *Fondamenti di patologia vegetale*. Patron Editore, Bologna.
- MISSERE, D., 1997. *Le operazioni preliminari all'impianto*. Suppl. Terra e Vita, 38.
- NASI, F., LAZZAROTO, R., GHISI, R., 1994. *Coltivazioni arboree*. Liviana Editrice, Padova.
- PROBSTING, E.L., TUKEY, R.B., MILLS, H., 1971. *Critical temperatures from blossom buds*. Wash. State Agr. Axt. Circ.,369-374.
- REGIONE EMILIA ROMAGNA, 2004. *Le buone pratiche agricole per risparmiare acqua*. Suppl. Agricoltura, 5, 56-63.
- REGIONE EMILIA ROMAGNA, 2006. *Disciplinari di produzione integrata 2006. Norme tecniche di coltura - Tecnica agronomica - Colture frutticole. MELO e PERO*. www.ermesagricoltura.it/wcm/ermesagricoltura/consigli_tecnici/disciplinari/sezione_disciplinari/s_norme_coltura/s_frutticole/s_pero/T_pero.pdf.
- REGIONE EMILIA ROMAGNA E I.TER, 1998. *Catalogo dei suoli della pianura emiliano romagnola*. www.gias.regione.emilia-romagna.it/suoli/guidaindice.asp.
- REGIONE PIEMONTE, 1999. *Il melo*. www.regione.piemonte.it/agri/piemontedoc/frutta/mela/melo.htm.
- SOMIERI, L., 2004. *Il baricentro produttivo si sposta a Est*. Suppl. Rivista di frutticoltura e di ortofloricoltura, LXVI,11, 26-32.
- TRENTIN, L., 1946. *Frutticoltura*. Editrice Fratelli Ottavi, Casale Monferrato.
- VRHOVSEK, U., VANZANI, P., ROSSETTO, M., MARINA, S., RIGO, A., TONON, D., MATTIVI, F., 2004. *Gli antiossidanti polifenolici nella mela: quantità ed attività*. Rivista di frutticoltura e di ortofloricoltura, LXVI, 11, 58-64.

Ministero delle Politiche Agricole, Alimentari e Forestali
Osservatorio Nazionale Pedologico e per la Qualità del Suolo Agricolo e Forestale

In collaborazione con:
International Union of Soil Sciences
Società Italiana della Scienza del Suolo
Commissione VI - Uso e Conservazione del Suolo

BELLINI, E., GIORDANI, E., MORELLI, D., 2006. *L'actinidia*. In: Costantini, E.A.C. (Ed.), *Metodi di valutazione dei suoli e delle terre*, Cantagalli, Siena, pp. 922.

Collana dei metodi analitici per l'agricoltura diretta da Paolo Sequi, vol. 7

CRA - Consiglio per la Ricerca e la Sperimentazione in Agricoltura
Istituto Sperimentale per lo Studio e la Difesa del Suolo, Firenze

32. L'actinidia

Elvio Bellini¹, Edgardo Giordani¹, Daniele Morelli¹

32.1. Specie, prodotti, usi	3
32.2. Varietà ed impollinatori	4
32.2.1. Varietà	4
32.2.2. Impollinatori	5
32.3. Portinnesti	5
32.4. Esigenze della pianta e tecniche colturali.....	5
32.4.1. Clima.....	5
32.4.2. Fertilizzazione	7
32.4.3. Fabbisogno idrico e irrigazione.....	8
32.4.4. Gestione del suolo.....	9
32.4.5. Impianto e allevamento	9
32.4.6. Potatura.....	10
32.4.7. Problemi sanitari e rimedi.....	11
32.4.8. I danni da avversità atmosferiche.....	12
32.5. Caratteri ambientali per la coltivazione dell'actinidia	12
32.6. Caratteri funzionali del suolo.....	13
32.6.1. Profondità del suolo	13
32.6.2. Tessitura e fessurazione	14
32.6.3. Salinità e sodicità	14
32.6.4. Rischio d'inondazione.....	15
32.6.5. Disponibilità di ossigeno.....	15
32.6.6. Reazione (pH).....	15
32.6.7. Calcare attivo	16
32.6.8. Schema di valutazione	16
Bibliografia di riferimento.....	17

¹ Università degli Studi di Firenze - Facoltà di Agraria, Dipartimento di Ortoflorofrutticoltura

32.1. Specie, prodotti, usi

L'actinidia (*Actinidia deliciosa* e altre specie) è originaria della Cina; in particolare, si ritiene provenga dalla vallata dello Yang-Tze, dove vive allo stato spontaneo. Le citazioni più antiche risalgono alla dinastia Ming (1200 a.C.); verso la metà del XIX secolo è stata introdotta in Europa. Il frutto è una bacca

Ordine: *PARIETALES*

Famiglia : *ACTIDIACEAE*

Genere: *ACTINIDIA*

Specie:

Actinidia deliciosa (Chev.) Liang & Ferguson, la migliore

Altre specie interessanti:

A. chinensis Pl. (molto simile ad *A. deliciosa*)

A. arguta Sieb. E Zucc. (frutti piccoli, glabri e molto dolci)

di forma variabile, ricoperta di una fitta peluria di colore bruno (glabra nell'*A. arguta*); la polpa è granulare di colore verde o verde chiaro (giallo in alcune cultivar di recente costituzione) e presenta al centro la columella, di colore bianco; viene destinato al consumo fresco previa conservazione da 1 a 6 mesi,

altrimenti è indirizzato all'industria dolciaria e alla trasformazione per sciroppati, surgelati, essiccati, succhi. È un frutto succoso (acqua per circa l'80%), zuccherino ed è un'eccellente fonte di vitamina C (140 mg 100g⁻¹ di parte edibile); generalmente nei primi stadi della conservazione si registra un leggero calo (circa 10%) della concentrazione di vitamina C, ma tale concentrazione si mantiene poi stabile nel tempo; anche il contenuto totale di clorofilla decresce gradualmente durante la maturazione post-raccolta. Il contenuto elevato in fibra e le caratteristiche speciali della mucillagine rendono questo frutto un ottimo lassativo. Più di 90 essenze volatili sono state identificate nei frutti di actinidia; i frutti più dolci contengono livelli maggiori di esteri volatili.

A fronte di una produzione mondiale di 1.008.945 t, i principali produttori sono (FAO, 2004): Italia (365.000 t), Nuova Zelanda (320.000 t), Cile (135.000 t), Francia (76.000 t), Grecia (40.000 t), Giappone (38.000 t) e USA (24.000 t). Le regioni italiane maggiormente interessate (ISTAT, 2004) alla coltura sono: Lazio (143.600 t), Piemonte (85.700 t), Veneto (69.600 t), Emilia Romagna (55.750 t) e Campania (24.000 t). Nel Lazio la coltivazione trova le migliori condizioni pedoclimatiche nelle Province di Latina (92.000 t circa prodotte) e Roma (40.050 t circa); mentre in Piemonte il cuneese è la zona di maggior interesse per la produzione di kiwi (64.000 t circa).

32.2. Varietà ed impollinatori

32.2.1. Varietà

Il panorama varietale risulta poco ampio; questa specie è dioica, abbiamo quindi cultivar pistillifere (femminili, per sterilità degli stami) e cultivar staminifere (maschili, per aborto dell'ovario). La cultivar femminile più utilizzata e di sicuro affidamento è la Hayward, selezione Chico, proveniente dalla Nuova Zelanda; è mediamente vigorosa e produttiva e lenta ad entrare in fruttificazione, con fabbisogno in freddo di 400-600 ore. La fioritura è tardiva (fine maggio al Centro-Sud, primi di giugno al Nord), e ciò consente di evitare i danni dovuti ai ritorni di freddo primaverili. I fiori sono generalmente singoli; i frutti sono grossi (90-100 g) e l'epoca di raccolta oscilla da fine ottobre a metà novembre. Altre varietà e selezioni ottenute da diversi ricercatori di centri privati o pubblici non hanno per ora dimostrato di possedere requisiti agronomici e commerciali paragonabili all'Hayward, anche se possono avere un certo interesse per alcuni mercati locali o per la maggiore precocità di maturazione. Anche alcune selezioni e varietà che presentano assenza di tomentosità non hanno ancora dimostrato la loro piena validità.

Tra le altre cultivar femminili troviamo: Abbott, Allison, Bruno, Constricted, Elmwood, Gracie e Monty, tutte caratterizzate da frutti di minore pezzatura e conservabilità rispetto a Hayward. Tra le cultivar di più recente diffusione assumono un certo interesse: Top Star® (italiana), a frutto glabro, ottenuta da mutazione di Hayward; Zespri Gold® a polpa gialla e dal gusto gradevole, recentemente diffusa dai neozelandesi; nonché le cultivar di origine italiana Tenna, Maeba, Katuscia, Cittadella, Fatma, Lory, Zimaglia e Tere, tutte con frutti a medio-elevata conservabilità e pistillifere.

Per le piante impollinatrici a fiore maschile, la preferenza va alle selezioni M51, M52, M54 e M56, ottenute in Nuova Zelanda, diffuse per la superiore germinabilità del polline (94-99%) e la contemporaneità di fioritura con la Hayward, mentre Matua standard è di vigore debole ed in Italia ha mostrato una attività impollinatrice scarsa, poiché la fioritura inizia normalmente 5-6 giorni prima di Hayward; migliore pianta impollinatrice si è mostrata Tamua*. Tomuri, di maggior vigore, è caratterizzata da un più elevato numero di cime fiorali per ogni infiorescenza e quindi da scalarità della fioritura, così da coincidere maggiormente con il periodo di fioritura di Hayward.

®Questo simbolo indica "marchio registrato".

* Questo simbolo indica che la cultivar è protetta.

32.2.2. Impollinatori

L'impollinazione è prevalentemente entomofila e in minor misura anemofila, il fiore non è molto attraente per cui deve essere aumentato il numero di arnie ad ettaro e ridotto l'ombreggiamento; in alternativa, per aumentare l'impollinazione, possono essere usati atomizzatori per il rimescolamento dell'aria. Generalmente si utilizza un maschio ogni 6-8 piante femmine, ma possono essere utilizzati schemi diversi di disposizione delle piante in campo. In condizioni sfavorevoli si può ricorrere all'impollinazione artificiale impiegando attrezzature che raccolgono il polline e lo distribuiscono, a secco o in veicolo liquido, sulle piante femminili; è disponibile sul mercato anche il polline di actinidia conservato, proveniente dall'emisfero australe.

32.3. Portinnesti

La propagazione dell'actinidia può avvenire sia con materiale autoradicato (da talea o micropropagato) che innestato. Viene consigliato materiale autoradicato negli ambienti soggetti ai danni da freddo; nel caso si utilizzino piante ottenute per talea è consigliabile porre a dimora il materiale conservato in vivaio per almeno due anni.

Per ambienti poco sottoposti ai danni da freddo è possibile ricorrere al portinnesto; attualmente i portinnesti utilizzati possono essere: semenzali di Bruno, semenzali di Hayward e il D1. I primi, molto diffusi in Nuova Zelanda e Italia, sono resistenti alla clorosi; i secondi sono meno diffusi perché ritenuti meno resistenti alla clorosi. Il D1 è un portinnesto clonale selezionato dalla Vitro Plant di Cesena; presenta pregevoli doti agronomiche che consentono un'elevata omogeneità produttiva e vegetativa, associata a un'elevata tolleranza al calcare attivo (fino all'8%).

32.4. Esigenze della pianta e tecniche colturali

32.4.1. Clima

L'actinidia si adatta meglio ai climi miti perché è una specie molto suscettibile al freddo, sia invernale, sia ai ritorni nel periodo primaverile della fioritura e, in seguito, del germogliamento. Se da una parte le minime termiche inferiori a -16°C possono creare seri problemi, anche l'assenza di freddo invernale determina gravi problemi ai meccanismi della differenziazione fiorale e alla ripresa vegetativa.

L'actinidia in fase di riposo e in condizioni d'aridità resiste a temperature molto basse, anche -20°C; nel nostro ambiente la presenza di abbondante acqua nel terreno riduce notevolmente tale resistenza. Pericolosa è anche l'elevata

ventosità che può provocare danni ai germogli ed incrementare notevolmente l'evapotraspirazione, per cui in zone ventose è indispensabile allestire barriere frangivento. Le temperature eccessive dei mesi estivi innalzano il tasso traspiratorio; se non corrispondono adeguati afflussi idrici alle foglie, come conseguenza diretta si verificano i brusoni fogliari e i colpi di sole sui frutti. La coltivazione dell'actinidia trova la giusta collocazione in Italia nelle zone costiere; qui è ritenuta ottimale un'altitudine inferiore ai 100 m s.l.m., ma ben si adatta anche fino ad altitudini di 800 m s.l.m. Difatti, oltre all'importante produzione quali-quantitativa assicurata dalle fertili zone di Latina (Kiwi di Latina Igp) e Roma, con terreni situati ad altitudini non superiori ai 300 m s.l.m., si affianca la produzione del cuneese. Questa zona, protetta dal punto di vista climatico dalla catena delle Alpi, grazie all'ottima esposizione delle colline ha favorito lo sviluppo della coltura nella fascia di territorio compreso fra i 300 e gli 800 m s.l.m.. Ovviamente sono da preferire gli ambienti a scarso rischio di gelate primaverili e autunnali.

Per ogni fase fenologica, a partire dal rigonfiamento della gemma fino all'allegagione, sono state individuate le temperature minime sotto alle quali si verificano danni tali da compromettere la produzione; sono considerate ottimali le temperature che comportano danni inferiori al 10% della PLV, accettabili quelle che causano cali di produzione tra il 10 e il 20% e non idonee le temperature alle quali le perdite di prodotto sarebbero superiori al 25% (tabella 32.1).

Tabella 32.1. Indice di gelata (Probsting et al., 1971).

FASE FENOLOGICA	Durata (giorni)	T (°C) ottimale - accettabile (10-20%)	Non idoneo (> 25%)
Rigonfiamento gemma (metà marzo)	8-12	-3 / -6	-8
Rottura gemma (fine marzo)	8-12	-3 / -6	-8
Germogliamento (1 ^a settimana di aprile)	5-10	0 / -3	-3
Bottoni fiorali visibili (fine aprile)	15-25	0 / 0	-0,5
Inizio apertura fiori (metà maggio)	5-7	0 / 0	0
Piena fioritura (fine maggio)	5-7	0 / 0	0
Sfioritura (1 ^a settimana di giugno)	8-12	0 / 0	0
Maturazione dei frutti (inizio novembre - metà dicembre)		-1,7 / -3	-4

32.4.2. Fertilizzazione

Riguardo ai diversi elementi nutritivi, è stato rilevato che la produttività è correlata positivamente al livello d'azoto della pianta, mentre poco si conosce circa il ruolo dei vari elementi sulla qualità e conservabilità dei frutti.

L'analisi del terreno risulta fondamentale per impostare un corretto piano di fertilizzazione riguardo all'actinidia (tabella 32.2), mentre i controlli tramite la diagnostica fogliare possono fornire importanti indicazioni sullo stato nutrizionale della pianta (tabella 32.3).

Tabella 32.2. Valori di riferimento per alcuni caratteri del suolo.

PARAMETRI	DIMENSIONE
pH (H ₂ O)	6,0-7,0
Calcare attivo	< 2-3%
C.S.C.	10-20 meq 100g ⁻¹
S.O.	>2-3%
N _{totale}	1,5-2°/°°
P ₂ O ₅ totale	1,5-2°/°°
K ₂ O _{totale}	5-9°/°°
Scheletro	da 0 a 15%
Sabbia	da 40 a 70%
Argilla	da 10 a 20%
Limo	da 20 a 30%

Tabella 32.3 Valori di riferimento per la diagnostica fogliare.

Elementi minerali	Livello nutrizionale		
	carente	ottimale	elevato
N (% s.s.)	< 2,20	2,20-2,60	> 2,60
P (% s.s.)	< 0,18	0,18-0,25	> 0,25
K (% s.s.)	< 1,60	1,60-2,00	> 2,00
Ca (% s.s.)	< 2,20	2,20-2,80	> 2,80
Mg (% s.s.)	< 0,35	0,35-0,70	> 0,70

La concimazione di fondo deve apportare concimi organici in abbondanza, mentre i concimi fosfatici e potassici saranno distribuiti in relazione alle analisi. In linea di massima, si consiglia di apportare 300-500 ha⁻¹ di letame maturo, 200 kg ha⁻¹ di fosforo e 200 kg ha⁻¹ di potassio da interrare con l'aratura prima dell'impianto.

Nella concimazione di produzione è importante l'azoto; esso costituisce il primo regolatore dello sviluppo vegetativo e della produttività, tanto che la sua deficienza induce scarso sviluppo e vegetazione stentata. L'azoto viene

distribuito annualmente in modo frazionato dal pre-germogliamento ogni 20 giorni, arrestando la distribuzione a metà giugno, perché il suo eccesso determina un dannoso lussureggiamento vegetativo che favorisce gli attacchi di Botrytis, il rammollimento precoce, scarso sapore, ecc.

Il fosforo è particolarmente importante perché favorisce la differenziazione fiorale ed è contenuto in grande quantità nei frutti; il potassio contribuisce a migliorare le proprietà organolettiche dei frutti e la loro pezzatura. Considerando che le asportazioni di actinidieto in piena produzione sono 50-70 kg ha⁻¹ di N, 20-25 unità di fosforo e 60-80 unità di potassio, si ritiene che per impianti equilibrati le restituzioni non debbano superare i seguenti quantitativi annuali: 100-150 kg ha⁻¹ di azoto, 30-50 kg ha⁻¹ di fosforo (P₂O₅), 130-180 kg ha⁻¹ di potassio (K₂O) (tabella 32.4), più 20-50 kg ha⁻¹ di magnesio. Un elemento spesso poco considerato, ma molto importante, è il calcio; questo concorre in modo determinante a migliorare la consistenza dei frutti e quindi la loro conservabilità, aumenta la resistenza ai marciumi, incrementa la pezzatura e i valori organolettici.

Tabella 32.4. Quantitativi di fertilizzante, espressi in grammi per ogni pianta.

Anni	N	P ₂ O ₅	K ₂ O
1°	40-50	20-30	30-40
2°	50-100	50-70	70-90
3°	100-150	70-90	90-110
3°	150-200	90-110	110-130
5°	200-250	110-130	130-150
6°	250-300	130-150	150-180
7° e oltre	300-400	150-200	180-250

Con la fertirrigazione è possibile ridurre i quantitativi di elementi da apportare del 20-30%, esaltando anche l'attività dei chelati di ferro, necessari in presenza di clorosi. La somministrazione per via fogliare va adottata in casi d'estrema necessità.

32.4.3. Fabbisogno idrico e irrigazione

L'actinidia è una specie ad elevato fabbisogno idrico (fino a 10.000 m³ ha⁻¹ anno⁻¹); ciò dipende sostanzialmente dalla grande superficie fogliare traspirante. I metodi d'irrigazione localizzata risultano i più idonei in quanto consentono interventi basati su turni brevi e volumi di adacquamento limitati; in particolare, si consigliano i microspruzzatori (*microjet*), ancora più vantaggiosi rispetto al metodo a goccia; nel periodo di giugno-agosto si verifica il massimo

accrescimento della vegetazione e dei frutti, ed eventuali *stress* idrici in tale periodo pregiudicano l'accrescimento.

L'inizio della stagione irrigua, i turni ed i volumi di adacquamento sono funzione dell'intensità dell'evapotraspirazione, dell'ambiente, dell'incremento della superficie traspirante e della riserva idrica contenuta nel terreno (tabella 32.5); bisognerà iniziare dopo che l'apporto idrico delle piogge non risulti sufficiente a soddisfare le esigenze delle piante. Le caratteristiche genetiche della pianta e la natura del terreno interagiscono nel determinare lo sviluppo, la dimensione e la densità radicale. In generale, le radici d'actinidia adulta arrivano ad oltre un metro di profondità, ma dal punto di vista dell'irrigazione sembra opportuno considerare una profondità di 0,5 m; nei terreni superficiali, o con strati compatti lungo il profilo, la profondità utile può essere molto minore e di ciò si dovrà tenere conto nella definizione dei turni e dei volumi di adacquamento.

Tabella 32.5. Tipo di terreno e caratteristiche ideologiche.

Terreno	Capacità idrica di campo (% in peso)	Punto di appassimento (% in peso)	Acqua disponibile (% in peso)	Riserva utile in volume (mm m ⁻¹)
Sabbioso	6-12	2-6	4-6	70-100
Sabbioso limoso	10-18	4-8	6-10	90-150
Limoso	18-26	8-12	10-14	140-190
Limoso argilloso	25-31	11-15	12-16	170-220
Argilloso limoso	27-35	13-17	14-18	180-230
Argilloso	31-39	15-19	16-20	200-250

32.4.4. Gestione del suolo

Come per altre specie arboree da frutto, è buona norma utilizzare tutti gli accorgimenti che permettono di evitare i fenomeni di compattamento del terreno. È preferibile ricorrere all'inerbimento nell'interfilare.

32.4.5. Impianto e allevamento

Le forme d'allevamento più diffuse in Italia sono il tendone e la pergoleta. La scelta della forma d'allevamento risulta fortemente influenzata dalla tradizione locale.

Tendone

Il tendone, con sesti di 5,5 x 5 m (per investimenti di 300-400 piante per ettaro), si riscontra prevalentemente al Centro-Sud; è costituito da un ceppo spuntato a 1,60 m circa da terra. Il sistema d'allevamento a due cordoni permanenti viene preferito a quello con quattro cordoni, consentendo una migliore illuminazione e lignificazione dei tralci.

Pergoletta e pergoletta doppia

La pergoletta, con sesti di 4,5 x 4,5-5,5 m (per investimenti di 450 piante per ettaro circa), è preferita al Nord; è costituita da un ceppo monocaudale, possibilmente dritto, e da uno o due cordoni permanenti sistemati lungo il filo portante.

Nuove forme d'allevamento

Tra le nuove forme d'allevamento ancora in sperimentazione in Italia, finalizzate al raggiungimento di una maggiore densità d'impianto (800-1.200 piante per ettaro) ed una più precoce entrata in produzione, è da ricordare il fusetto, con sesti di 5 x 1,5-2 m, mentre i sistemi Tatura trellis e similari sono impiegati in Nuova Zelanda. Sono stati fatti tentativi per intensificare gli impianti senza troppo successo né consensi. Il disciplinare nazionale di produzione sconsiglia tutte le forme d'allevamento idonee all'intensificazione colturale, suggerendo superfici utili per pianta non inferiori ai 12 m² al Nord ed ai 15 m² al Sud. Da alcuni anni, vengono proposte le forme di allevamento T-bar modificato (specie al Nord) e a doppia cortina (al Sud).

32.4.6. Potatura

Con la potatura di produzione si stabilisce, nell'intervento invernale, la carica di gemme alla quale corrisponde una determinata produzione (diverse prove sperimentali hanno dimostrato che il miglior rapporto quantità-qualità è ottenuto con un carico di gemme compreso fra 150.000 e 250.000 per ettaro). La potatura di produzione consiste nell'eliminazione delle branchette che hanno fruttificato l'anno precedente e nella selezione di nuovi tralci con 12-16 gemme che vengono legati e distanziati di 20-30 cm in modo da favorire la migliore esposizione alla luce. La piegatura del tralcio riduce lo sviluppo dei nuovi germogli, specialmente nella parte mediana, favorendo un maggior accrescimento dei frutti per effetto della minor competizione della vegetazione. La potatura verde prevede diversi interventi: pre-fiorale, per eliminare i succhioni assurgenti; post-fiorale, per correggere il numero di gemme; estiva, per selezionare i rami da rinnovo e favorire l'illuminazione, evitando però la cimatura dei germogli laterali di uno o più anni, al fine di avere un sufficiente numero di gemme apicali per l'anno successivo. Da alcuni anni si sta diffondendo, specie nel Nord-Est italiano, un diverso sistema di potatura di

produzione denominato "Sistema Peyracchia", dal nome degli ideatori, che non prevede il completo rinnovo dei tralci che hanno fruttificato l'anno precedente, bensì un parziale mantenimento di tali formazioni fruttifere per due o più anni in modo da meglio contenere lo sviluppo vegetativo, spesso eccessivo nei terreni fertili e profondi; inoltre questa tecnica prevede l'eliminazione dei tralci vigorosi.

Per l'actinidia, la relazione tra luce e caratteristiche produttive è dimostrata da numerosi lavori. La luce ha un'influenza positiva sulle caratteristiche produttive, sia in termini di germogliamento e di fertilità delle gemme che in termini di quantità di produzione. Altrettanto nota è l'influenza della luce sulle caratteristiche qualitative dei frutti (maggior tenore in gradi Brix e durezza, maggiore colorazione della polpa). Per favorire una buona intercettazione della luce sarà importante, al momento della realizzazione dell'impianto, assicurare una disposizione dei filari in direzione nord-sud. Successivamente, con la potatura si deve mantenere una carica di gemme sulle piante non superiore alle 150-250.000 ha⁻¹ e deve essere realizzata un'adeguata spaziatura dei tralci sul cordone. È inoltre importante la formazione della chioma; questa si deve formare nel più breve tempo possibile e raggiungere valori di LAI attorno a 3. Oltre questo valore la pianta presenta larghe parti della chioma ombreggiate, con conseguente scadimento quali-quantitativo della produzione.

32.4.7. Problemi sanitari e rimedi

Le più gravi avversità per l'actinidia sono rappresentate dalle crittogame: il marciume radicale fibroso (*Armillaria mellea*) e la muffa grigia (*Botrytis cinerea*) su rami e frutti. Specialmente quest'ultima è particolarmente dannosa per il kiwi. Il patogeno penetra attraverso la ferita provocata dal distacco del picciolo e l'infezione si evidenzia dopo 3-4 mesi di conservazione. Se il decorso stagionale è particolarmente piovoso, si rende pertanto necessaria la difesa preventiva in campo con prodotti specifici alla "caduta petali" e in pre-raccolta, valutando bene la necessità dell'intervento in quanto la difficoltà di bagnare bene i frutti attaccati ai tralci, ed in particolare la zona peduncolare, possono rendere l'intervento scarsamente efficace. Rimangono sempre valide le misure preventive a livello agronomico, riguardanti concimazioni azotate equilibrate, potature in verde, nonché la sosta dei frutti, dopo la raccolta, per 36-48 ore in magazzino prima di essere messi in cella. Inoltre non si deve eccedere nell'irrigazione per evitare eccessi di vegetazione che creano condizioni favorevoli all'insediamento della *Botrytis*. Tra le batteriosi si ricordano i tumori radicali di *Pseudomonas viridi-flava*. I fitofagi degni di menzione sono la cocciniglia bianca (*Metcalfa pruinosa*) che, se presente, va combattuta in pre-fioritura; la mosca della frutta, gli acari e i nematodi.

32.4.8. I danni da avversità atmosferiche

L'actinidia è molto sensibile agli abbassamenti di temperatura e alle gelate, sia quelle primaverili, sia quelle autunnali precoci, che determinano gravi perdite di produzione. Le gelate autunnali precoci colpiscono quasi esclusivamente i frutti; la raccolta avviene, infatti, piuttosto tardi (2^a-3^a decade di ottobre) e temperature intorno ai -2°C possono compromettere la produzione. I frutti vanno incontro a rammollimento, alterazione del colore della polpa e scarsa serbevolezza. Le gelate tardive invernali e primaverili arrecano danni alle gemme e successivamente ai germogli; infatti il precoce germogliamento dell'actinidia (marzo-aprile) la rende particolarmente suscettibile ai ritorni di freddo. I danni più evidenti sono allessature, causticazioni e necrosi dei tessuti. I venti che si manifestano con una certa intensità nel periodo primaverile sono in grado di rompere, alla base del tralcio, i giovani germogli ancora di consistenza erbacea. Anche la grandine provoca lesioni sui germogli e deformazioni sui frutti in accrescimento. I frutti di actinidia hanno buone capacità riparatrici e, in riferimento a grandinate precoci, generalmente i processi riparativi sono completati in tempo breve.

32.5. Caratteri ambientali per la coltivazione dell'actinidia

La patria adottiva dell'Actinidia è la Nuova Zelanda, dove ha incontrato le condizioni più favorevoli nel nord del Paese (la temperatura media del mese più freddo è -4/-5°C, quella del mese più caldo è 14°C; l'umidità relativa media annua è 75-85%). La coltivazione si è poi estesa ad altri Paesi: la distribuzione dell'*Actinidia deliciosa* è compresa tra i 34° e i 46° di latitudine nord ed i 30° e 42° di latitudine sud. Per le zone temperate, il principale fattore limitante è rappresentato dalle temperature minime delle stagioni intermedie ed invernali, nonché dai venti, mentre per le aree calde il più importante fattore limitante è la bassa umidità relativa dell'atmosfera (U.R.), la possibile carenza di acqua irrigua, i venti e l'assenza di freddo invernale, indispensabile per completare il ciclo biologico. In Italia, sia i climi temperati ad inverno freddo della valle padana sia quelli temperato-caldi con inverno più o meno mite dell'Italia peninsulare e insulare, si sono mostrati abbastanza favorevoli alla coltura, benché nella parte più caldo-arida del Mezzogiorno possano insorgere problemi derivanti dalla ridotta disponibilità idrica e dai fattori climatici sopra citati. L'esperienza di questi anni ha permesso di individuare gli ambienti italiani climaticamente più vocati, rappresentati dall'ambiente costiero del Centro-Sud, che assicura 160-180 giorni di condizioni climatiche favorevoli tra la fioritura e la raccolta. In zone ventose è indispensabile mettere in opera frangivento: nel caso di frangivento vivi generalmente si utilizzano specie come *Cupressus arizonica* e *Cupressus macrocarpa*; per i frangivento morti si

impiegano canne o reti di plastica. Le barriere generalmente vengono poste a 40-50 metri l'una dall'altra. Si deve inoltre tenere conto del fatto che i venti ostacolano il volo dei pronubi; anche le reti antigrandine possono limitare l'azione impollinatrice degli insetti, pertanto questa forma di difesa dalla grandine deve essere utilizzata soltanto se strettamente necessaria. La scelta della giacitura e dell'esposizione del terreno hanno una notevole importanza per l'influenza della temperatura, dell'intensità luminosa, delle gelate e dei venti. La scelta dell'esposizione dipenderà dalla località e dal tipo di clima nel quale si opera: ad esempio, nell'Italia meridionale si darà la preferenza all'esposizione a nord, che sia il più possibile riparata dai venti caldi provenienti dal sud. Negli ambienti dell'Italia centro-settentrionale si darà la preferenza alle esposizioni meno colpite dai venti estivi e dalle brinate primaverili. Molto importante è scegliere zone dove la pianta ritarda l'entrata in vegetazione, perché in tal modo ha maggiori possibilità di sfuggire ai danni da geli tardivi. In generale l'actinidia presenta un soddisfacimento in freddo medio; tra le 850 (ottimo) e le 600 (accettabile) ore sono soddisfatte le richieste della maggior parte delle varietà. È comunque necessario sottolineare come in alcune zone vocate del nostro Paese (ad esempio, la provincia di Latina) si registrano, di norma, soltanto 400-600 ore con temperature inferiori a 7,2°C, senza che ciò risulti un fattore limitante per la cultivar Hayward. La pendenza del suolo ottimale per la coltivazione del melo è quella compresa tra 0 e 10%, poiché facilita l'esecuzione delle operazioni meccaniche

32.6. Caratteri funzionali del suolo

32.6.1. Profondità del suolo

La profondità del suolo ottimale per la crescita dell'actinidia deve essere superiore ai 100 cm; terreni sottili o con strati impedenti a profondità inferiore a 50 cm non sono ritenuti idonei alla coltivazione di questo fruttifero.

L'estensione e la profondità degli apparati radicali sono fortemente condizionate dalla natura del terreno; in generale si può affermare che, in assenza di particolari limitazioni, la maggior parte delle radici si trovi fino ad un metro di profondità per un raggio di 2-3 metri dal tronco (tabella 32.6).

Tabella 32.6. Profondità ed estensione laterale dell'apparato radicale di piante femminili adulte di *Actinidia deliciosa* in diversi tipi di suolo; tra parentesi è indicata la profondità massima raggiungibile dalle radici.

Tipi di terreno	Profondità (m)	Estensione laterale (m)
Argilloso, drenaggio carente	0,7	2,2
Sabbioso, profondo	0,5 (2,4)	2,0
Franco sabbioso, superficiale, a scheletro prevalente	0,5 (0,75)	2,5
Franco argilloso, superficiale, a scheletro prevalente	0,5 (1,0)	3
Franco sabbioso, profondo, senza scheletro	0,75 (1,0)	1,5-3,0*
Argilloso limoso, profondo	1,5 (2,0)	1,8-2,8*

* Distribuzione non omogenea (primo valore in direzione dell'interfilare, secondo valore lungo il filare).

32.6.2. Tessitura e fessurazione

I terreni ideali presentano tessitura media, moderatamente fine o moderatamente grossolana, permeabili, con elevata capacità di ritenzione idrica e ricchi di materiale organico. L'*actinidia* si adatta anche ai terreni leggeri e ghiaiosi, purché irrigati e lautamente concimati con sostanza organica, e a quelli con tessitura fine purché ben drenati. Fino ad una percentuale del 10-15% in volume, la presenza di scheletro è da considerarsi vantaggiosa, perché favorisce l'infiltrazione e il drenaggio dell'acqua.

L'*actinidia* è una pianta piuttosto sensibile ai fenomeni di fessurazione e crepacciamento del suolo; soltanto i terreni con bassi quantitativi di argille a reticolo espandibile, e quindi con bassa tendenza a fessurare, non pregiudicano la risposta vegeto-produttiva della coltura.

32.6.3. Salinità e sodicità

Le condizioni ottimali di salinità del suolo sono quelle che vedono valori di conducibilità elettrica inferiore a 0,4 dS m⁻¹ e percentuali di sodio scambiabile (ESP) inferiori all'8%. All'aumentare di questi valori aumenta l'intensità delle limitazioni alla crescita, fino alla non idoneità in presenza di valori di conducibilità maggiori di 0,8 dS m⁻¹ e valori di ESP superiori a 10.

Considerato l'elevato fabbisogno idrico dell'*actinidia*, risulta di fondamentale importanza il controllo della qualità delle acque d'irrigazione

(tabella 32.7). Sotto il profilo chimico, un'alta quantità di sali disciolti determina la non idoneità delle acque per l'irrigazione di questa specie arborea. L'elevata salinità interferisce, infatti, sui meccanismi osmotici di assorbimento dell'acqua, accentuando i fenomeni di stress idrico. Inoltre, gli ioni Ca^{2+} , Fe^{2+} , $\text{P}_2\text{O}_4^{3-}$ e S^{2-} possono dare origine a precipitati che occludono i condotti, i microspruzzatori e i gocciolatori degli impianti irrigui.

Tabella 32.7. Classificazione delle acque ad uso irriguo in base ai valori di salinità totale.

Qualità delle acque	Conducibilità elettrica (dS m^{-1})	Contenuto di sali (mg L^{-1})	Salinità
Molto buona	< 0,25	< 160	bassa
Buona	0,25 – 0,75	160 - 480	media
Mediocre	0,76 – 2,25	481 - 1.470	elevata
Inadatta	> 2,25	> 1.470	elevatissima

32.6.4. Rischio d'inondazione

L'actinidia, indipendentemente dal portinnesto utilizzato, è particolarmente sensibile ai fenomeni di ristagno idrico; di conseguenza, nella fase di valutazione attitudinale di un'area, è fondamentale effettuare verifiche circa la probabilità che si verifichino eventi alluvionali. Non si avranno limitazioni alla crescita delle piante solo laddove il rischio d'inondazione sia assente o lieve e la durata della sommersione sia inferiore a 4 ore.

32.6.5. Disponibilità di ossigeno

Le radici dell'actinidia sono molto esigenti quanto a disponibilità di ossigeno, indispensabile per la respirazione cellulare. Suoli con elevata conducibilità idraulica, nei quali l'acqua è rimossa velocemente e in cui non si verificano fenomeni di ristagno durante la stagione vegetativa, sono da considerarsi ottimali per la coltivazione dell'actinidia. La capacità d'aria (in volume) del terreno non dovrebbe mai essere inferiore al 10%.

32.6.6. Reazione (pH)

L'actinidia predilige suoli con reazione debolmente acida ($6,0 < \text{pH} < 6,5$), mentre la potenzialità vegeto-produttiva va incontro a limitazioni moderate in presenza di terreni con valori di pH compresi tra 5,4 e 6,0 e tra 6,5 e 8,0. Quando il pH del terreno supera valori di 7,5-7,6, le piante iniziano a manifestare sintomi di clorosi ferrica, sintomi che si accentuano all'aumentare dell'alcalinità, tanto da far classificare come non adatti alla coltivazione dell'actinidia i suoli che presentano valori di pH superiori a 8,0.

32.6.7. Calcare attivo

A seconda del portinnesto, l'actinidia può tollerare contenuti in calcare attivo del 6% se autoradicato, e fino all'8% se innestata su D1; sono comunque ritenuti ottimali per la coltivazione i suoli con contenuti di calcare attivo inferiore al 4%.

32.6.8. Schema di valutazione

Si riporta di seguito (tabella 32.8) lo schema di valutazione delle limitazioni pedologiche alla coltivazione dell'actinidia, frutto del lavoro svolto da I.TER nel progetto "Catalogo dei suoli della pianura emiliano romagnola", finanziato dal Servizio Sviluppo Sistema Agro-alimentare ai fini della L.R. 52/92.

Tabella 32.8. Schema di valutazione delle limitazioni pedologiche alla crescita dell'actinidia su diversi portinnesti

CARATTERISTICHE PEDOLOGICHE	GRUPPI DI PORTINNESTI	INTENSITÀ DELLE LIMITAZIONI		
		assenti o lievi	moderate	severe
Profondità utile alle radici (cm)	Autoradicato, D1	> 100	50 - 100	< 50
Tessitura	Autoradicato, D1	media, moder. fine, moder. grossolana	grossolana, fine	
Fessurazione	Autoradicato, D1	bassa	media	forte
Salinità (EC 1:5 dS m ⁻¹)	Autoradicato, D1	< 0,4	0,4 - 0,8	> 0,8
Sodicità (ESP)	Autoradicato, D1	< 8	8 - 10	> 10
Rischio di inondazione: Inondabilità - Durata	Autoradicato, D1	assente o lieve; estremamente breve	moderato; molto breve	alto; da breve a molto lunga
Disponibilità d'ossigeno	Autoradicato, D1	buona	moderata	imperfetta, scarsa, molto scarsa
Reazione (pH)	Autoradicato, D1	6,0 - 6,5	5,4 - 5,9; 6,6 - 8,0	< 5,4; > 8,0
Calcare attivo (%)	Autoradicato	< 4	4 - 6	> 6
	D1	< 6	6 - 8	> 8

Bibliografia di riferimento

- AA., VV., 1986. *La coltura dell'actinidia*. Atti del convegno, Verona 29 aprile.
- AA., VV., 1986. *L'Actinidia in Italia*. Ministero dell'Agricoltura e delle Foreste, Istituto di Tecnica e Propaganda Agraria, Agricoltura Ricerca.
- AA., VV., 1991. *Frutticoltura speciale*. Reda, Roma.
- AA., VV., 2003. *Actinidia. La novità frutticola del XX secolo*. Atti del convegno, Verona, 21 novembre.
- BACCI, L., CONESE, C., ROMANI, M., 2005. *Individuazione di indici bioclimatici e morfologici per la realizzazione di mappe di land suitability per le principali colture frutticole italiane*. Telespazio spa, Roma.
- BALDINI, E., 1986. *Arboricoltura Generale*. CLUEB, Bologna.
- REGIONE EMILIA ROMAGNA, I.TER, 1998. *Catalogo dei suoli della pianura emiliano romagnola*. www.gias.regione.emilia-romagna.it/suoli/guidaindice.asp.
- COSTA, G., 1997. *Le tecniche di potatura rivolte a migliorare la qualità dei frutti in actinidia*. Frutticoltura, 12, 17, 24.
- DAL PANE, M., 2002. *Doppia cortina: una forma di allevamento adatta all'actinidia*. Frutticoltura, 9, 36, 38.
- FAO, 2004. www.fao.org.
- ISTAT, 2004. www.istat.it.
- LANDI, R., 1999. *Agronomia e ambiente*. Edagricole, Edizioni Agricole, Bologna.
- MATTA, A., 2000. *Fondamenti di patologia vegetale*. Patron Editore, Bologna.
- MISEROCCHI, O., 2002. *I danni da avversità atmosferiche sull'actinidia*. Frutticoltura 9, 41, 48.
- NASI, F., LAZZAROTO, R., GHISI, R., 1994. *Coltivazioni arboree*. Liviana Editrice, Padova.
- PROBSTING, E.L., TUKEY, R.B., MILLS, H., 1971. *Critical temperatures from blossom buds*. Wash., State Agr. Axt. Circ., 369-374.
- REGIONE EMILIA-ROMAGNA, 2005. *Disciplinare di produzione integrata dell'actinidia*. www.ermesagricoltura.it/wcm/ermesagricoltura/consigli_tecnici/disciplinari/sezione_disciplinari/s_nome_coltura/s_frutticole/s_actinidia.htm.
- TRENTIN, L., 1946. *Frutticoltura*. Editrice Fratelli Ottavi S.p.A., Casale Monferrato.
- VIZZOTTO, G., LAIN, O., COSTA, G., 1999. *Azoto e qualità dei frutti in actinidia*. Frutticoltura, 12, 67-70.
- ZUCCHERELLI, G., 1987. *L'actinidia pianta da frutto e da giardino*. Frutticoltura moderna, manuali tecnici Edagricole.
- ZUCCHERELLI, G., 1994. *L'actinidia e i nuovi kiwi*. Frutticoltura moderna, manuali tecnici Edagricole.

Ministero delle Politiche Agricole, Alimentari e Forestali
Osservatorio Nazionale Pedologico e per la Qualità del Suolo Agricolo e Forestale

In collaborazione con:
International Union of Soil Sciences
Società Italiana della Scienza del Suolo
Commissione VI - Uso e Conservazione del Suolo

BELLINI, E., GIORDANI, E., MORELLI, D., 2006. *Il pero*. In: Costantini, E.A.C. (Ed.),
Metodi di valutazione dei suoli e delle terre, Cantagalli, Siena, pp. 922.

Collana dei metodi analitici per l'agricoltura diretta da Paolo Sequi, vol. 7

CRA - Consiglio per la Ricerca e la Sperimentazione in Agricoltura
Istituto Sperimentale per lo Studio e la Difesa del Suolo, Firenze

33. Il pero

Elvio Bellini¹, Edgardo Giordani¹, Daniele Morelli¹

33.1. Specie, prodotti, usi	3
33.2. Varietà ed impollinatori	4
33.2.1. Varietà	4
33.2.2. Impollinatori	6
33.3. Portinnesti	6
33.4. Esigenze della pianta e tecniche colturali.....	8
33.4.1. Clima.....	8
33.4.2. Fertilizzazione	9
33.4.3. Fabbisogno idrico e irrigazione.....	12
33.4.4. Gestione del suolo.....	13
33.4.5. Impianto e allevamento	15
33.4.6. Potatura.....	16
33.4.7. Problemi sanitari e rimedi.....	17
33.5. Caratteri ambientali per la coltivazione del pero	19
33.6. Caratteri funzionali del suolo	20
33.6.1. Profondità del suolo	20
33.6.2. Tessitura e fessurazione	20
33.6.3. Salinità e sodicità	21
33.6.4. Rischio d'inondazione.....	21
33.6.5. Disponibilità d'ossigeno.....	21
33.6.6. Reazione (pH).....	22
33.6.7. Calcare attivo	22
33.6.8. Clorosi ferrica.....	22
33.6.9. Schema di valutazione	22
Bibliografia di riferimento.....	24

¹ Università degli Studi di Firenze - Facoltà di Agraria, Dipartimento di Ortoflorofrutticoltura

33.1. Specie, prodotti, usi

Le piante del genere *Pyrus* sono note fin dall'antichità; già 3000 anni fa venivano coltivate in Cina ed erano diffuse lungo le coste africane del Mediterraneo. Il *Pyrus communis*, dal quale traggono origine la maggior parte

Ordine: ROSALES

Famiglia: ROSACEAE Juss

Sottofamiglia: POMOIDEAE

Specie euro-asiatiche:

Pyrus communis L. (pero europeo, vi afferiscono quasi tutte le cv attuali ed i più comuni portinnesti)

P. cordata Desv. (per cultivar di pere da sidro e portinnesti poco vigorosi)

P. nivalis Jacq. (per cultivar di pere da sidro e portinnesti rustici)

P. salicifolia Pall. (per portinnesti)

P. amygdaliformis Vill. (per portinnesti resistenti a climi caldo-aridi)

Specie cino-giapponesi:

P. ussuriensis Maxim. (nashi cinese e portinnesti)

P. bretschneideri Rehd. (pera bianca cinese)

P. pyrifolia (Burm.) Nakai (nashi giapponese e portinnesti)

P. betulaeifolia Bunge (per portinnesti resistenti al freddo)

P. pashia D. Don. (nashi cinese e portinnesti per terreni acidi)

P. calleryana Dcne. (per portinnesti resistenti a colpo di fuoco e afide laniero)

delle varietà coltivate nel nostro Paese, è una specie originaria dell'Europa; i suoi semi, parti di frutto e reperti lignei sono stati ritrovati in villaggi palafitticoli del Centro Europa e sono molte le notizie che ci pervengono dai testi classici greci e latini. In Europa il vero e proprio sviluppo della

pericoltura risale al 1700, in seguito all'imponente lavoro dei "seminatori", soprattutto belgi, francesi ed inglesi.

Il frutto è un classico pomo (o falso frutto) che si origina dall'ingrossamento del ricettacolo florale. La polpa è succosa e croccante, in alcune cultivar ricca di sclereidi; al suo interno si trovano i semi (5-10), piccoli, di colore nero o bruno e di consistenza cuoiosa. Secondo la cultivar, i frutti possono assumere forma, dimensione e colorazione della buccia alquanto diverse; grande variabilità si riscontra anche nelle caratteristiche della polpa, quali consistenza, tessitura, succosità, sapore, resistenza al disfacimento e ammezzimento.

Il contenuto in acqua delle pere è superiore all'80-90%; la dolcezza è uno dei suoi caratteri gustativi più importanti (gli zuccheri totali ammontano generalmente all'8-11%): il fruttosio rappresenta il maggiore costituente (oltre 80%) degli zuccheri riducenti; il frutto contiene inoltre saccarosio, maltosio, galattosio, xilosio e arabinosio. Le pere hanno un buon contenuto di fibra. Tra gli acidi, il malico è l'acido primario, seguito dal citrico; in minore quantità sono presenti acido tartarico, ossalico, clorogenico, galatturonico, glicerico, glicolico, lattico e succinico. Il pH della polpa può variare da 2,6 a 5,4.

Tra le sostanze presenti in minore quantità ci sono gli amminoacidi, tra i quali sono predominanti lisina, fenilalanina e leucina. Per quanto riguarda la componente minerale, è buono l'apporto di potassio. Tra le vitamine, il contenuto d'acido ascorbico ($4 \mu\text{g } 100 \text{ g}^{-1}$ di parte edibile) e biotina è molto maggiore nella buccia rispetto alla polpa. I frutti maturi contengono apprezzabili quantità di acetaldeide, ritenuta l'agente responsabile

dell'insorgenza del riscaldamento e dell'ammezzimento. L'astringenza e il sapore amaro, caratteri non desiderati, sono attribuiti alla presenza di sostanze tanniche (polifenoliche e fenoliche).

La quasi totalità (85-90%) della produzione piricola italiana è destinata al consumo fresco; il restante 10-15%, costituito sostanzialmente dai frutti della "William", è trasformato in diversi prodotti industriali, tra cui: pere allo sciroppo in valve, pere al naturale, polpe e puree, nettari, succhi e gelatine, marmellate e confetture, distillati e frutti in bottiglia.

Attualmente, la produzione mondiale supera di poco i 17 milioni di tonnellate annue. I principali paesi produttori (FAO, 2004) sono: Cina (10.120.000 t), USA (823.760 t), Italia (820.000 t), Spagna (656.500 t), Argentina, Corea del Sud, Germania, Giappone e Turchia. Analizzando i dati forniti dalla FAO, appare evidente la vocazione del continente asiatico, con la Cina che continua da sola a fornire più della metà della produzione mondiale. Da non sottovalutare anche la Repubblica Coreana, che in pochi anni ha quasi triplicato la sua produzione. Un'altra importante area di produzione è rappresentata dagli Stati Uniti, al secondo posto.

La produzione italiana (ISTAT, 2004) risulta concentrata soprattutto in due regioni: l'Emilia Romagna (59.550 t) ed il Veneto (10.262 t), cui fanno seguito la Sicilia (5.670 t), la Lombardia, il Piemonte e la Campania. In Italia, la pericoltura ha sempre rivestito un ruolo di primo piano. Dopo la crisi degli anni '70, associata ad un drastico calo della cultivar Passa Crassana e quindi della superficie investita, l'Italia ha attraversato una fase di riorganizzazione e di successiva espansione della coltura, indirizzata prevalentemente verso la costituzione di impianti intensivi realizzati con piante ad *habitus* contenuto, facilmente gestibili in modo da consentire una riduzione dei costi di produzione. Siamo giunti così agli anni '90, caratterizzati da un incremento di nuovi impianti, soprattutto nelle aree più vocate, e da un elevato grado di specializzazione varietale, tra cui primeggiano in particolar modo le cultivar tradizionali autunnali (Abate Fétel 29,7%, Conference 15,7%, Decana del Comizio 8,8%, Kaiser 5,4%⁴), ed alcune estive (William 20,4%, Coscia 5,7%, Max Red Bartlett 3,7%).

33.2. Varietà ed impollinatori

33.2.1. Varietà

La coltura del pero, a fronte di un elevato numero di cultivar conosciute, si caratterizza per una gamma varietale piuttosto ristretta. Le sei varietà più diffuse (Abate Fétel, William, Conference, Decana del Comizio, Kaiser e Coscia) costituiscono quasi il 90% della produzione nazionale, e sono state introdotte da almeno un secolo, in qualche caso due (William e Kaiser). La

settima varietà in ordine d'importanza è Max Red Bartlett, conosciuta da oltre mezzo secolo.

Nell'ambito del progetto "Liste di orientamento varietale", finanziato dal MiPAF, sono riportate le valutazioni delle varietà segnalate ripartite per tre grandi aree: Nord, Centro-Sud e Isole; l'epoca di raccolta è espressa per il Nord e il Centro-Sud come differenza in giorni rispetto alla cultivar di riferimento William (che matura intorno all'11 di agosto nelle province di Bologna e Forlì), mentre per le Isole ci si avvale, come riferimento, della cultivar Coscia (che matura il 15 luglio in Sicilia e il 4 agosto nella Provincia di Cagliari).

Varietà estive-precoci

Circa tre quarti delle cultivar segnalate in Lista sono localizzate al Sud e anche i dati indicano che alcune di esse mal si adattano al settentrione, quali: Precoce di Fiorano (-45), con frutti di buon sapore; Etrusca* (-43), con frutti di bell'aspetto; Coscia (-31), ideale per il Sud per caratteristiche agronomiche e pomologiche; Spadona estiva (-3) e Delbardèlice, dai frutti succosi e di buon sapore; altre (Turandot*, Norma*, Tosca*, Carmen*, Santa Maria) mostrano maggiore adattabilità, assicurando buona produttività al Nord.

Varietà estive

Concorrono a fornire, grazie principalmente alla cultivar William, dotata di frutti d'ottima qualità adatti anche alla trasformazione industriale, un quarto della produzione di pere del Nord. Le cultivar valutate piuttosto negativamente al Nord sono Ercole d'Este (+28), Sensation (+15) e Highland (+11), pregevoli per l'aspetto; mentre Max Red Bartlett, mutante di William, produce scarsamente al Centro-Sud e nelle Isole.

Varietà autunno-invernali

Queste varietà sono coltivate quasi esclusivamente al Centro-Nord (circa il 94%). Le preferite restano Abate Fétel, dalla medio-elevata produzione e con frutti dalle ottime caratteristiche organolettiche; Conference, dai frutti a polpa fine, fondente, succosa e aromatica; Decana del Comizio, dai frutti di grande pezzatura e ottimo sapore e Kaiser, dall'attraente frutto rugginoso. Per l'industria rimane interessante la Passa Crassana. Giudicate negativamente al Nord sono Rosadac® Cascade® Concorde* e Fertilia Delbard®(queste ultime due scartate anche al Centro-Sud). Nel Cagliaritano sono state giudicate negativamente le cultivar Conference e Harrow Street*, quest'ultima diffusa recentemente e interessante per la tolleranza al colpo di fuoco batterico.

* Questo simbolo indica che la cultivar è protetta.

® Questo simbolo indica "marchio registrato".

33.2.2. Impollinatori

Nel pero è estremamente frequente l'autoincompatibilità dovuta a sterilità di tipo fattoriale, che interessa praticamente tutto l'assortimento varietale disponibile nel nostro Paese. Non mancano, inoltre, casi di sterilità di tipo morfologico e citologico, riscontrabili in alcune cultivar di scarso interesse economico. L'esistenza dei fenomeni di sterilità impone di ricorrere all'impollinazione incrociata, di cui si avvantaggiano anche le cultivar che producono per via partenocarpica; per favorire una buona impollinazione occorre garantire la presenza di un elevato numero di arnie di api in ragione di 10 per ettaro (in considerazione del fatto che il fiore del pero è poco attrattivo); per non distrarre le api dai fiori del pero e favorire l'impollinazione è necessario sfalciare il cotico erboso ed evitare l'impiego di antiparassitari in fioritura.

La scelta degli impollinatori deve tenere conto non solo dei rapporti d'intercompatibilità esistenti tra le cultivar, ma anche dell'epoca di fioritura, che negli impollinatori deve essere contemporanea o anticipata di 2-3 giorni e di più lunga durata, nonché delle caratteristiche ed entità del polline prodotto. Un buon impollinatore deve inoltre possedere un'ampia adattabilità all'ambiente di coltivazione, una buona produttività ed un soddisfacente valore commerciale dei frutti. La pratica più diffusa per raggiungere al meglio il risultato atteso prevede la disposizione di filari d'impollinatori ogni 3-5 filari di cultivar da impollinare.

Considerata l'affinità cultivar-varietà impollinatrice, tra i migliori impollinatori di William si ricordano Conference, Kaiser, Decana del Comizio e Passa Crassana; per Abate Fétel sono idonee Kaiser, Passa Crassana e Coscia; per Conference si consigliano William, Decana del Comizio, Kaiser e Passa Crassana.

33.3. Portinnesti

Com'è noto, il tipo di portinnesto prescelto assume grande importanza nella programmazione di un nuovo impianto, in quanto offre la possibilità di adattare una cultivar alle condizioni pedoclimatiche aziendali, ai sesti d'impianto ed alle forme di allevamento desiderate. In pratica, i portinnesti attualmente impiegati in Italia sono riconducibili al gruppo dei franchi (selezioni di *Pyrus communis*) ed al gruppo dei cotogni (selezioni di *Cydonia oblonga*).

Franco e sue selezioni

L'orientamento attuale verso impianti a densità sempre più elevate ha indirizzato i frutticoltori alla ricerca di portinnesti che riescano a contenere lo sviluppo delle piante; di conseguenza si va verso una progressiva riduzione del franco, che induce sulle piante innestate grande vigoria, oltre che una lenta

entrata in produzione ed una minore pezzatura e colorazione del frutto. Per quanto riguarda l'aspetto fitosanitario, il franco da seme risulta suscettibile all'afide lanigero, al colpo di fuoco e all'*Agrobacterium tumefaciens*. Le piante presentano inoltre un elevato grado di difformità, soprattutto per quanto riguarda il vigore ed il portamento. Un altro problema presentato dal franco è legato alle difficoltà di propagazione mediante le metodologie vivaistiche classiche, tanto che spesso si ricorre alla micropropagazione. D'altro canto, non pochi sono i vantaggi offerti dal franco da seme, primo fra tutti l'ottima affinità con tutte le cultivar, ma anche l'elevata e costante produttività e, soprattutto, l'elevata rusticità, ossia una maggiore adattabilità ai climi freddi e torridi e ai vari tipi di terreno (può resistere fino a valori di calcare attivo intorno al 10-12 %). Tra i franchi clonali ricordiamo: la serie americana OHF (40 e 69), derivante dall'incrocio di Old Home x Farmingdale, noti per la resistenza ad alcune temibili malattie (soprattutto al colpo di fuoco batterico); la serie francese Brossiér, nonché quella denominata Retuzière; le serie BP e B, di origine sudafricana; infine, quella italiana, identificata con il nome Fox (11 e 16), ottenuta dalla libera impollinazione di due vecchie cultivar locali molto rustiche, poco vigorose e facilmente propagabili, quali Pera Volpina e Mora di Faenza. Interessanti appaiono le nuove selezioni tedesche, tra le quali spicca il portinnesto Pyrodwarf, che è stato introdotto anche nel nostro paese.

Selezioni di cotogno

I frutticoltori, sia italiani che europei, si sono orientati ormai da diversi decenni verso l'uso del cotogno (*Cydonia oblonga*), tanto che attualmente la quasi totalità dei nuovi pereti specializzati ha come soggetto selezioni di cotogno moderatamente vigorosi (il BA 29, il più vigoroso ed il più rustico), a sviluppo intermedio (l'EM A e il Sydo, che è in espansione anche grazie alla sua capacità di tollerare livelli di calcare attivo leggermente superiori a EM A) o deboli (l'EM C è da considerarsi l'unico portinnesto veramente nanizzante, indicato per impianti a densità medio-elevata e l'Adams), mentre ancora poco diffusi sono i franchi nanizzanti od alcuni ibridi poco sperimentati.

Rispetto ai franchi, i portinnesti derivati da selezioni di cotogno inducono una minore vigoria e presentano un apparato radicale più superficiale, che non sempre garantisce un adeguato ancoraggio e conferisce loro una maggiore sensibilità agli stress idrici e termici. Non mancano altri inconvenienti, anche molto gravi, tra i quali una più o meno marcata disaffinità d'innesto, a volte accentuata dalla presenza di virosi e micoplasmosi, con le cultivar più diffuse (ad esempio, William, Abate Fétel e Kaiser). Altro problema del cotogno è la scarsa adattabilità ai terreni alcalini, con contenuti di calcare attivo superiore al 4-5%, che si manifesta con evidenti fenomeni di clorosi fogliare. I cotogni impiegati in terreni non adatti e con cultivar poco affini danno origine a fenomeni degenerativi che possono compromettere l'intero impianto nel giro di pochi anni.

Pero autoradicato

Un'alternativa all'impiego del portinnesto è il pero autoradicato ottenuto mediante micropropagazione. Sono attualmente in commercio piante autoradicate di William, Abate Fétel, Kaiser, Max Red Bartlett, ecc. Tale materiale, tuttavia, dopo un primo momento di entusiasmo, non ha trovato sufficienti riscontri. Pare, infatti, che le migliori cultivar di pero autoradicate manifestino inizialmente problemi di ancoraggio, elevata vigoria ed un certo ritardo nell'entrata in fruttificazione, riuscendo solo in particolari condizioni ambientali a raggiungere il loro standard produttivo. La gestione dei pereti autoradicati, specie in terreni dotati di buona fertilità, può risultare spesso difficoltosa. Per contro, il pero autoradicato presenta una serie di vantaggi, quale l'assenza di disaffinità d'innesto, notevole rusticità, buona tolleranza al calcare attivo ed elevata produttività nel tempo.

33.4. Esigenze della pianta e tecniche colturali

33.4.1. Clima

Riguardo alle esigenze climatiche, il pero predilige ambienti temperato-freschi: gelate invernali con temperature inferiori a -15°C possono danneggiare le gemme miste. Tra le varietà più resistenti al freddo invernale ricordiamo Passa Crassana e Decana del Comizio; tra le più suscettibili Kaiser. Con l'approssimarsi della ripresa vegetativa, la resistenza al freddo della pianta diminuisce, tanto che temperature intorno ai -5°C possono causare notevoli danni soprattutto alle gemme miste. Le gelate primaverili possono portare in definitiva alla perdita totale del prodotto, grazie alla fioritura relativamente precoce del pero. La sensibilità alle gelate varia notevolmente a seconda della cultivar e dello stadio fenologico. Sono ritenute ottimali altimetrie da 200 a 600 m s.l.m.; sub ottimali quelle tra 600 e 800 m s.l.m.; la coltivazione risulta accettabile anche per altimetrie fino ai 200 m s.l.m. o quelle comprese fra 800 e 1.200 m s.l.m. Oltre i 1.200 m s.l.m. la coltivazione del pero risulta non essere più idonea.

Limitante all'espansione della coltura del pero nelle zone ad inverni miti è il suo fabbisogno in freddo piuttosto elevato, che oscilla tra le 800 e le 1.600 UF (unità o ore di freddo con temperatura compresa tra $1,5$ e $12,5^{\circ}\text{C}$). Tra le cultivar più esigenti si annoverano: Butirra Giffard, Butirra Hardy, Dr. J. Guyot e William; mentre tra quelle meno esigenti si collocano Coscia, Coscia Precoce, Duchessa d'Angoulême e Gentile Bianca. In generale, la maggior parte delle cultivar presenta un fabbisogno in freddo tra 1.300 ore (ottimale) fino alle 800 ore (accettabile). Sotto le 800 ore il fabbisogno non è soddisfatto. Come già detto precedentemente, il pero è coltura tipica dei climi temperato-freddi e soffre particolarmente i ritorni di freddo primaverili; difatti, ad ogni fase

fenologica, a partire dall'ingrossamento della gemma fino all'allegagione, sono state individuate le temperature minime al di sotto delle quali si verificano danni tali da compromettere la produzione; sono considerate ottimali le temperature che comportano danni inferiori al 10% della PLV e non idonee le temperature alle quali le perdite di prodotto sarebbero superiori al 25% (tabella 33.1).

Tabella 33.1. Indice di gelata (Probsting et al., 1971).

FASE FENOLOGICA	Durata (gg)	T (°C) ottimale / accettabile (10-25%)	Non idoneo (> 25%)
Inizio ingrossamento gemma (inizio marzo)	8-12	-9 / -12,5	-17
Apertura gemma (metà marzo)	8-12	-6,7 / -8,5	-14
Comparsa mazzetti fiorali (fine marzo)	5-7	-5 / -6,5	-9
Mazzetti divaricabili (fine marzo)	5-7	-3,3 / -4,5	-5,6
Inizio fioritura (1ª settimana di aprile)	5-7	-2,2 / -3,3	-5
Fioritura (1ª e 2ª decade di aprile)	3-7	-2,2 / -3,3	-5
Sfioritura (metà aprile)	3-7	-2,2 / -3,3	-4,4
Allegagione (fine aprile)	5-7	-2,2 / -3,3	-4,4

33.4.2. Fertilizzazione

Nonostante il pero non sia ritenuto particolarmente esigente dal punto di vista nutrizionale, indubbiamente esso trae giovamento da una fertilizzazione ben dosata e distribuita nel corso del ciclo biologico annuale, tenendo in giusta considerazione i molteplici aspetti che possono influenzare i suoi fabbisogni, ossia: le caratteristiche fisico-chimiche del terreno (tabella 33.2); le esigenze nutrizionali dell'albero; la tipologia dell'impianto (ad esempio, densità e forma di allevamento); le tecniche colturali adottate (ad esempio, inerbimento e irrigazione); le interazioni tra pianta e ambiente.

La concimazione pre-impianto deve prevedere apporti di sostanza organica (letame od altro) e di K, P e Ca per aumentare la disponibilità di questi elementi, prendendo in esame la loro disponibilità nel terreno; degli altri (Mg, Mn, B, Fe, Zn), qualora se ne manifesti la carenza, la prassi più corretta prevede come prima cosa la determinazione della dotazione del terreno, che consente di correggere le eventuali deficienze.

Tabella 33.2. Valori indicativi di riferimento per l'interpretazione delle analisi del terreno

Elementi minerali	Livello di fertilità		
	Basso	Medio	Elevato
Sostanza organica (%)	< 2	2 - 3	> 3
Azoto totale (‰)	< 1	1 - 2	> 2
Fosforo assimilabile	< 10	10 - 20	> 20
Potassio scambiabile (ppm) con C.S.C.* di:			
< 10	< 70	70 - 120	> 120
10 - 20	< 100	100 - 200	> 200
> 20	< 150	150 - 300	> 300
Magnesio scambiabile (ppm) con C.S.C.* di:			
< 10	< 70	70 - 120	> 120
10 - 20	< 100	100 - 180	> 200
> 20	< 150	150 - 300	> 300
Calcio scambiabile (ppm) con C.S.C.* di:			
< 10	< 800	800 - 1.800	> 1.800
10 - 20	< 1.500	1.500 - 3.500	> 3.500
> 20	< 3.000	3.000 - 6.000	> 6.000

*Capacità di Scambio Cationico (C.S.C.) espressa in meq 100 g⁻¹ $P_2O_5 = P \times 2,29$; $K_2O = K \times 1,2$; $MgO = Mg \times 1,65$.

Durante la fase d'allevamento delle piante assume grande importanza l'apporto d'azoto, che consente una rapida formazione della struttura scheletrica dell'albero. A volte si commette l'errore di sottovalutare la fertilità del suolo, correndo il rischio di stimolare eccessivamente l'attività vegetativa. Nei primi anni d'impianto può essere vantaggiosa anche un'integrazione di fosforo, che favorisce l'attività radicale, limitando in qualche modo la crisi di trapianto. Gli effetti positivi di una buona letamazione si esplicano nei confronti della struttura, nella dotazione dei nutrienti, nell'effetto chelante ed, inoltre, da esperimenti effettuati dal Dipartimento di Colture Arboree dell'Università di Bologna, risulta chiara l'induzione di un precoce sviluppo di un maggior numero di radici, rispetto ad una fertilizzazione minerale o con compost. Vista la facilità di movimento dell'azoto, non devono essere apportati fertilizzanti minerali azotati prima della messa a dimora delle piante. La concimazione post impianto va eseguita sulla base dei risultati della diagnostica fogliare e delle asportazioni del pereto nel corso dell'anno (tabella 33.3).

Nel caso dell'azoto, si ritengono adeguati apporti annui compresi tra 60 kg ha⁻¹, nel caso d'impianti più vigorosi, e 90 kg ha⁻¹ quando si è in presenza di scarsa attività vegetativa e la carica produttiva degli alberi è elevata.

Tabella 33.3. Quantità medie di elementi asportati (kg ha^{-1}) da alberi di pero Dr. J. Guyot nella zona di Avignone (Francia)

Fasi e organi	N kg ha^{-1}	P kg ha^{-1}	K kg ha^{-1}	Ca kg ha^{-1}	Mg kg ha^{-1}	B g ha^{-1}
Fioritura	8,5	1,7	7,2	2,0	0,7	8,0
Maturazione dei frutti	27,0	4,0	56,0	15,0	4,0	104,0
Foglie	87,0	5,0	81,0	65,0	11,0	173,0
Totale	122,5	10,7	144,2	82,0	15,7	285,0

L'albero è in grado di utilizzare diverse fonti d'approvvigionamento, tanto che in particolari condizioni è possibile condurre il pereto con apporti d'azoto anche molto bassi. Generalmente, fino alla fase di fioritura le piante di pero si avvalgono essenzialmente (per circa il 95%) delle sostanze di riserva accumulate negli organi legnosi durante la stagione precedente; l'assorbimento aumenta progressivamente fino a raggiungere, due mesi dopo la ripresa vegetativa, circa il 50% ed il 40% del totale presente, rispettivamente, nelle foglie e nei frutti. Se gli apporti unitari risultassero superiori alle 60 unità fertilizzanti è necessario operare il loro frazionamento, così come non è consentito apportare azoto al terreno oltre il mese di settembre nei pereti dell'Emilia Romagna (Disciplinare di produzione integrata, Regione Emilia Romagna, 2006). Nel pero bisogna anche tenere conto del fatto che le competizioni nutrizionali tra frutti e germogli possono sussistere anche fino in epoca tardiva, causando un certo ritardo nell'accumulo delle sostanze azotate di riserva, indispensabili per la futura ripresa vegetativa. Per tale motivo può essere importante una somministrazione azotata a fine estate negli anni d'elevata carica produttiva. Nel caso sia necessario intervenire dopo la fine di settembre, è preferibile ricorrere a concimi a lento effetto oppure alla concimazione fogliare al fine di ridurre le perdite per lisciviazione. In ogni caso, la distribuzione frazionata dell'azoto, soprattutto nei terreni sciolti, rappresenta un metodo efficace per ridurre le perdite ed aumentare l'efficienza fertilizzante (tabella 33.4).

Per il potassio, in presenza di terreni con dotazione normale, non si ritiene conveniente superare le 100 unità ha^{-1} ; mentre il fosforo è utilizzato in minor misura, circa 15-20 kg ha^{-1} di P_2O_5 (secondo il Disciplinare di produzione integrata, Regione Emilia Romagna, 2006, non è ammesso il superamento di 50 kg ha^{-1} di P_2O_5 e 150 kg ha^{-1} di K_2O). Il fosforo e il potassio sono elementi poco mobili e pertanto possono essere apportati periodicamente nei terreni di medio impasto e a tessitura fine, mentre devono essere somministrati più frequentemente in quelli sabbiosi o ricchi di scheletro. Per quanto riguarda il fosforo, generalmente è sufficiente intervenire a fine inverno per stimolare l'attività radicale. Il potassio è molto importante per la sua influenza sulla qualità, pezzatura e colorazione dei frutti; tuttavia bisogna stare attenti a non eccedere nelle dosi impiegate, tenendo conto anche del livello di K scambiabile

nel terreno, poiché esso favorisce l'assorbimento dello ione nitrico, ma ha effetti antagonisti nei confronti del calcio e del magnesio. Non vanno dimenticati gli apporti di calcio (come CaO in misura di 200-210 kg ha⁻¹), la cui somministrazione deve essere eseguita in post-raccolta per via fogliare, efficace nel ridurre le fitopatie, e d'ossido di magnesio (20-25 kg ha⁻¹).

Tabella 33.4 Apporti annuali indicativi di azoto (kg/ha) per la concimazione di un pereto

Vigoria del portinnesto	Terreno inerbito			Terreno lavorato		
	sabbia >60%	medio impasto	argilla >35%	sabbia >60%	medio impasto	argilla >35%
Debole e media	100 - 80	60	50	100	80	60
Elevata	70	60 - 50	50	80	60 - 70	60

Tra i microelementi assume una certa importanza il boro, che può essere distribuito per via fogliare subito dopo la raccolta, insieme all'urea che ne facilita la penetrazione, sebbene secondo prove sperimentali condotte recentemente sulla cultivar Abate Fétel, tale trattamento sarebbe privo di efficacia in terreni ben dotati.

Nel dosaggio bisogna considerare con attenzione il fatto che le soglie di carenza e tossicità di questo elemento sono molto ravvicinate. La fertirrigazione permette di soddisfare in modo puntuale la reale domanda di nutrienti; la suddetta tecnica, rispetto alla concimazione convenzionale, permette una più elevata efficienza d'utilizzo, con riduzione dei costi e dell'entità dei fertilizzanti applicati (-30%).

33.4.3. Fabbisogno idrico e irrigazione

Il pero viene considerato poco resistente alla siccità, soprattutto quando innestato su cotogno. Gli alberi su franco hanno un apparato radicale espanso e profondo e richiedono pertanto minori interventi irrigui rispetto ai peri innestati su cotogno, le cui radici sono più superficiali. L'irrigazione, del resto, è una pratica abbastanza comune nelle colture di pero (anche se a volte è limitata ad interventi di soccorso) ed in continua espansione, grazie anche alla larga diffusione degli impianti localizzati per la fertirrigazione. Gli impianti realizzati nel Centro-Sud sono necessariamente irrigui, pari a quelli eseguiti nei terreni più sciolti e ghiaiosi delle zone settentrionali. Anche in Emilia Romagna, dove erano inizialmente diffusi pereti in coltura asciutta, si fa ricorso in misura sempre maggiore all'irrigazione, specie negli impianti a densità più elevate eseguiti con portinnesti nanizzanti.

Per il pero è molto importante considerare l'epoca di maturazione della cultivar: per le precoci è necessario assicurare un'adeguata dotazione idrica nel corso dell'accrescimento dei frutti, soprattutto nella fase finale di crescita; per

queste cultivar, che comunque completano il loro ciclo di fruttificazione entro luglio, è consigliabile intervenire con l'irrigazione anche nel periodo post-raccolta; in caso di cultivar molto tardive, invece, l'epoca di ingrossamento del frutto coincide con il periodo di fine estate, caratterizzato in genere da piovosità più elevata e minori consumi idrici (tabella 33.5).

L'applicazione della tecnica dello stress idrico controllato consente di ridurre mediamente i consumi idrici del 20%. In questo caso può essere utile orientarsi su cultivar precoci, nelle quali si possono ottenere risparmi più forti, poiché il periodo d'irrigazione durante la fase di produzione è più corto di quello delle cultivar a maturazione tardiva, anche se per queste ultime il post-raccolta è generalmente non irriguo.

Tabella 33.5. Parametri irrigui riferiti a varietà di pero a maturazione tardiva per la Regione Emilia Romagna.

Parametri		Fase fenologica					
		aprile	maggio	giugno	luglio	agosto	settembre
Evaporazione giornaliera (mm gg ⁻¹)		3,2	4,5	5,5	5,7	4,9	3,3
<i>Consumi medi giornalieri (mm)</i>							
	Inerbito	1,6	3,1	5,0	5,7	4,9	3,3
	Lavorato	1,3	2,7	4,4	5,1	4,4	3,0
Piovosità media (mm)		58	60	49	44	55	55
<i>Esigenza irrigua (mm)</i>							
Irrigazione tradizionale	Inerbito	-	36,9	100,0	132,7	97,6	44,8
	Lavorato	-	23,0	83,5	115,0	82,3	34,8
Stress idrico	Inerbito	-	-	50,4	132,7	97,6	44,8
	Lavorato	-	-	39,3	115,0	82,3	34,8

33.4.4. Gestione del suolo

La prima operazione al momento della costituzione di un nuovo pereto consiste nella sistemazione idraulico-agraria del terreno. Di seguito si eseguirà il livellamento e lo scasso con concimazione di fondo. Come per le altre specie da frutto, la gestione del terreno può prevedere diverse tecniche, quali le lavorazioni, l'inerbimento a strisce abbinato a lavorazioni superficiali, il diserbo chimico o la pacciamatura sulla fila e l'inerbimento totale.

Le lavorazioni prevedono generalmente un'aratura praticata a fine estate alla profondità di 20-25 cm, al fine di ripristinare la struttura del terreno, favorire l'immagazzinamento delle acque piovane ed interrare i concimi chimici ed organici, e un'erpatura che interessa lo strato più superficiale del terreno (10-15 cm). Le lavorazioni superficiali hanno lo scopo di impedire la formazione della crosta superficiale e di evitare lo sviluppo delle erbe infestanti, consentendo un risparmio idrico e un buon arieggiamento del terreno. Tale pratica è diffusa soprattutto negli impianti medio-densi, durante la fase giovanile delle piante, nel primo e secondo anno di vita, ossia quando l'apparato radicale è ancora circoscritto alla zona del filare e vi è una minore esigenza di entrare in campo con mezzi meccanici, giacché le piante non sono ancora in fase produttiva. Nei terreni irrigui o in quelli più fertili e freschi del Centro-Nord si ricorre poi all'inerbimento totale che può essere spontaneo o, più raramente, artificiale, realizzato con idonee essenze provviste d'apparato radicale superficiale. Nel caso del pero innestato su cotogno è da preferire un cotico erboso costituito da graminacee, i cui secreti radicali (soprattutto acidi organici) svolgono un'azione chelante sul ferro. La tendenza attuale è sicuramente indirizzata verso l'inerbimento dell'interfilare con diserbo e lavorazioni sulla fila. In particolare, l'abbinamento diserbo-lavorazioni sulla fila consente di ridurre l'uso di diserbanti e di operare una minore costipazione del terreno.

Il controllo chimico delle malerbe è da eseguire con prodotti non residuali, biodegradabili, preferibilmente nel periodo primaverile, e non si dovrebbero superare i 70 cm di striscia diserbata. Negli impianti ad alta densità si ricorre più frequentemente all'inerbimento dell'interfilare con pacciamatura sulla fila, spesso abbinata alla fertirrigazione. Allo scopo può essere utilizzato un film plastico impermeabile o permeabile; in alternativa possono essere impiegate anche erbe infestanti secche non trinciate.

Una pratica in continua diffusione è la copertura antigrandine, specie al Centro-Nord e negli impianti ad alta ed altissima densità, a causa sia dell'aumento dei costi imposti dalle compagnie assicurative che dei seri problemi derivanti dal colpo di fuoco batterico. Infatti, le ferite provocate dalla grandine rappresentano dei facili punti di penetrazione per *Erwinia amylovora* e, nei casi più gravi, il frutteto stesso può venire compromesso. Ai tradizionali impianti con copertura a capannina si affiancano nuove tipologie di protezione a rete piana o semi-piana, che, rispetto ai sistemi tradizionali, richiedono costi superiori di materiali, imputabili alla maggiore palificazione, e, di contro, una minore spesa di manodopera per il montaggio. Oltre alla rete nera in polimeri di PE è possibile impiegare una rete mista (rete bianca con cuciture e zona di colmo nera) che consente una maggiore penetrazione dei raggi solari.

33.4.5. Impianto e allevamento

In generale, il pero è caratterizzato da una notevole plasticità che lo rende adattabile alle più svariate forme di allevamento, comprese quelle costrittive e geometriche adottate in passato.

Nella scelta dei sesti d'impianto da adottare per la costituzione di pareti specializzati, si deve tenere conto della vigoria della combinazione cultivar/portinnesto prescelta, della fertilità e disponibilità idrica del terreno, della forma di allevamento che si vuole adottare, in funzione della migliore utilizzazione della radiazione solare. Con la diffusione del cotogno ha avuto inizio un processo d'intensificazione colturale, che dopo l'avvento della palmetta nel dopoguerra è giunto ai nostri giorni con lo sviluppo del concetto d'impianto superintensivo. Tra le forme d'allevamento diffuse in Italia per la coltura specializzata del pero, domina la palmetta, nelle sue varie versioni, seguita dal fusetto e derivati, dal cordone verticale e dalle forme ad ipsilon ed a V.

Forme in volume

Nei moderni impianti più intensivi si dà spesso la preferenza a forme d'allevamento in volume, quali il fusetto e derivati, che meglio assecondano il naturale comportamento della pianta e consentono di utilizzare meglio la luce solare. In particolare, il fusetto è adatto per impianti intensivi eseguiti su portinnesti clonali di cotogno, quali EM C e Adams, consentendo di raggiungere densità intorno alle 2.800 piante per ettaro (distanze 3,5 x 1 m). Molte sono le alternative proposte, fra le quali le forme a S o a serpentine. Simile ad un fusetto schiacciato, possiamo ricordare inoltre il palspindel, una forma ibrida tra palmetta e fusetto.

Forme in parete

La palmetta ha subito nel tempo diverse sostanziali modificazioni fino a giungere alle forme ampiamente utilizzate dei giorni nostri, ossia quella anticipata ed irregolare o libera. La palmetta anticipata è una variante meno rigida della forma regolare, che consente di snellire le operazioni d'allevamento e che si presta soprattutto per quelle cultivar con spiccata attitudine ad emettere rami anticipati. La palmetta libera, invece, è la forma che consente alla pianta maggiore libertà di vegetare e di raggiungere anticipatamente la piena fruttificazione con un minore ricorso ad interventi di potatura. Con le forme "palmettizzate" si arriva a distanze medie di 3,5 x 2 m con densità di 800 - 1.000 piante per ettaro.

Forme a parete inclinate

Per gli impianti intensivi di pero possono essere impiegate anche altre forme quali l'ipsilon ed il Tatura trellis. In particolare, l'ipsilon, presente anche in Italia, è adatto per impianti intensivi 3,5 x 0,75 m, dove può raggiungere densità

di oltre 3.000 piante per ettaro, riuscendo generalmente a compensare bene i maggiori costi d'impianto per le strutture di sostegno e per la potatura, con rese più elevate anche del 30%. Più rigido nella struttura rispetto all'ipsilon tradizionale, il Tatura trellis consente di raggiungere densità di oltre 5.000 piante per ettaro, fornendo dei buoni risultati sia in termini di qualità dei frutti che di rendimento della raccolta meccanica.

Il cordone verticale è indubbiamente la forma che più si avvicina al concetto d'alta intensità colturale e può consentire di raggiungere nel pero densità di oltre 6.000 piante per ettaro. Tale forma, tuttavia, per le esigenze di potatura che essa richiede, non può essere adottata per tutte le cultivar, ma va destinata a quelle più vigorose, in grado di sopportare energici interventi cesori, molto fertili e con produttività prevalente su lamburde inserite su legno vecchio.

33.4.6. Potatura

Dopo aver curato la formazione della forma d'allevamento, con piegature, legature, accorciamenti e formazione dei palchi principali, a partire dal terzo anno si passerà alla potatura in funzione della piena produttività della pianta. Con la potatura di produzione s'intende una serie d'interventi volti ad assicurare il mantenimento di una produzione elevata e di qualità. Uno degli obiettivi principali della potatura di produzione è proprio quello di ottimizzare la penetrazione della luce nella chioma, che consente di frenare l'espansione della pianta, favorendo allo stesso tempo la messa a frutto, soprattutto negli impianti intensivi, dove le piante sono più piccole e la superficie fogliare è minore. L'energia radiante, inoltre, risulta fondamentale per raggiungere tali obiettivi: l'esposizione al sole migliora la pezzatura e la colorazione, incrementa la quantità di zuccheri e la conservabilità dei frutti.

In funzione della forma d'allevamento, nella palmetta più o meno libera si dovrà contrastare l'attitudine della pianta a crescere verso l'alto, o sviluppare le branche nello spazio dell'interfilare. La parete produttiva dovrà essere raccorciata anche per consentire una sufficiente penetrazione e diffusione della luce, mentre nel fusetto si dovrà contenere l'altezza ed evitare squilibri vegeto-produttivi. In seconda istanza, deve essere considerato l'*habitus* di fruttificazione delle varie cultivar: in linea generale vale il principio di un maggior rinnovamento delle formazioni fruttifere per quelle cultivar che producono su brindilli o rami misti (William, Coscia, ecc.) o su lamburde portate su legno giovane (Decana del Comizio, Abate Fétel, Concorde e Packham's Triumph, ecc.), mentre un più ampio *turn-over* andrà attuato per quelle varietà che producono su lamburde portate su legno vecchio (Kaiser, ecc.).

Il pero è una tra le specie da frutto che meglio si adatta alla potatura meccanica. Le forme che si prestano maggiormente alla potatura meccanica

sono quelle in parete (palmetta, Tatura trellis), sulle quali le potatrici meccaniche svolgono molto velocemente un lavoro massale non selettivo. In pratica, tale lavoro è limitato a tagli orizzontali alla sommità della pianta (*topping*) e tagli verticali sulle pareti laterali (*hedging*), nonché tagli sulla chioma a diversa profondità ed inclinazione (*slotting saw*) che consentono la creazione di finestrazioni a differenti altezze.

Per talune cultivar, ed in annate d'elevata produttività, il diradamento dei frutti risulta pratica essenziale per migliorare la pezzatura dei frutti e regolare la costanza produttiva. Diverse cultivar di pero, tra cui Butirra Hardy, Conference, Coscia, Dr. J. Guyot e William, traggono giovamento da questa pratica.

Nel pero può risultare utile l'impiego di fitoregolatori; questi, sebbene poco inclini ai principi della produzione integrata, rappresentano un mezzo alternativo agli interventi agronomici per contenere l'equilibrio vegeto-produttivo e contrastare l'alternanza. Tra i prodotti più utilizzati ci sono i brachizzanti e le gibberelline, GA₃ (tipo Berelex) e GA₄₊₇ (tipo Promalin). Per tutte le categorie ci sono formulati, impieghi autorizzati e limiti massimi di residui ammessi.

33.4.7. Problemi sanitari e rimedi

Tra le più importanti crittogame che colpiscono il pero annoveriamo il Cancro da Valsa o Valsa canker (*Valsa ceratosperma*). I primi casi sono stati registrati nel 2001 in Emilia Romagna; si manifesta con essiccamenti estesi della chioma in primavera. I cancri presenti su rami, branche e tronco, hanno margini fessurati che si scortecciano, più tardi sono visibili punteggiature nere. Per la difesa, va posta attenzione nel rimuovere ed eliminare i rami infetti all'inizio dell'autunno o a fine inverno, prima della liberazione delle spore dai picnidi; per quel che riguarda i trattamenti, essi vanno eseguiti nel tardo autunno dopo la raccolta ed all'inizio della primavera dopo la potatura. Tra le altre crittogame ritroviamo il Cancro delle pomacee (*Nectria galligena* - *Cylindrocarpon mali*), il Cancro rameale (*Botryosphaeria obtusa* - *Sphaeropsis malorum*), la Maculatura bruna (*Stemphylium vesicarium*), e la Ticchiolatura del pero (*Venturia pyrina* - *Fusicladium pyrorum*).

Per le batteriosi ricordiamo che il pero è suscettibile all'Avvizzimento o necrosi (*Pseudomonas syringae* pv. *syringae*), al Tumore radicale causato da *Agrobacterium tumefaciens* (tra i portinnesti, quello franco è senza dubbio il più suscettibile) e soprattutto al Colpo di fuoco batterico, causato da *Erwinia amylovora*; quest'ultima colpisce fiori, germogli, frutti, rami, branche e tronco. Si rilevano cancri corticali su tronco e branche da cui fuoriescono colature di materiale denso e fluido. Per la difesa vanno evitate le concimazioni azotate, l'uso di NAA, gli eccessi irrigui e l'irrigazione sovrachioma; in più, si deve ricorrere all'uso di cultivar e portinnesti resistenti. Buone norme sono quelle di

asportare e bruciare le parti infette e sterilizzare gli strumenti per la potatura utilizzati. I trattamenti preventivi devono essere eseguiti in prefioritura e durante la stagione vegetativa, con continue ispezioni nel frutteto. Tra i principali insetti fitofagi del pero sono degni di menzione Afide grigio (*Dysaphis pyri*), Carpocapsa (*Cydia pomonella*), Cocciniglia di S. Josè e Cocciniglia grigia (*Quadraspidiotus perniciosus* e *Epidiaspis leperii*); particolarmente importante è la Psilla del pero (*Cacopsylla pyri*), che si manifesta con punture su germogli, infiorescenze, foglie e frutti con conseguenti deformazioni, cascola dei frutticini, produzione di melata su cui si insedia la fusaggine; inoltre, gli insetti adulti possono fungere da vettori del micoplasma della moria del pero. Dopo avere monitorato la situazione possono essere impiegati antagonisti naturali, quali gli Antocoridi, se l'infestazione è di lieve entità, evitando gli insetticidi dannosi verso quest'antagonista; superata la soglia del 15% dei getti infestati a maggio e il 25% dei getti a giugno, si può ricorrere ai trattamenti. Il frutticoltore non è in grado di effettuare una lotta diretta contro le malattie da virus, pertanto la sola garanzia è quella di acquistare materiale certificato virus-esente. Tra le numerose malattie virali, il Cancro ulceroso (*Pear blister canker*) è particolarmente dannoso; tra le cultivar sensibili si citano Decana del Comizio, Passa Crassana e William; da non sottovalutare anche la Moria del pero (*Pear decline*).

Oltre ai danni causati da agenti meteorologici e strettamente ambientali (inquinamento, danni da gelo, elevate temperatura, squilibri idrici, ecc.), vanno annoverate le malattie da carenza (soprattutto di ferro e boro) e le fisiopatie pre e post conservazione.

I patogeni e il suolo

Il prodursi delle infezioni dipende, oltre che dal contatto patogeno-ospite, dalla presenza di un idoneo ambiente ed ogni singolo fattore (temperatura, umidità, reazione, composizione fisica e chimica del suolo, ecc.) influisce sul patogeno.

La temperatura identifica la fascia termica entro la quale il patogeno può svilupparsi; questa, da organismo a organismo, può essere più o meno ampia. Vi sono, inoltre, specie patogene che hanno preferenze termiche ben definite: così, ad esempio, le specie di *Phytium*, che causano i più comuni marciumi alle specie arboree da frutto, richiedono temperature superiori a 26°C. Il livello d'umidità influisce sullo sviluppo delle epidemie; gli eccessi idrici nel terreno favoriscono il trasporto, lo sviluppo e l'attività di funghi idrofili come *Phytium* e *Phytophthora*.

Il pH influisce sulla virulenza dei patogeni del terreno; i *Fusarium* vascolari prediligono terreni da acidi a moderatamente acidi, i *Verticillium* quelli da moderatamente acidi ad alcalini. L'influenza delle concimazioni sull'andamento delle malattie non è sempre facilmente prevedibile; l'azoto, in quanto elemento stimolatore della crescita, favorisce indubbiamente tutte

quelle malattie (muffe, marciumi, ecc.) che infieriscono in condizioni di lussureggiamento.

33.5. Caratteri ambientali per la coltivazione del pero

Nel nostro Paese le aree di coltivazione del pero sono ormai ben delineate: nel Nord interessano soprattutto la pianura padano-veneta; nel Centro sono dislocate prevalentemente sui due litorali, tirrenico e adriatico; nel Sud sono concentrate principalmente in Campania ed in Sicilia.

Le principali incognite per lo sviluppo della pericoltura nel Sud sono rappresentate dal tenore di calcare nel suolo e dalle temperature del suolo e dell'atmosfera che se raggiungono valori molto elevati possono bloccare l'attività dell'apparato radicale del cotogno e influire negativamente sull'affinità d'innesto. È indubbio che un altro fattore limitante per la valorizzazione di molte aree meridionali è rappresentato dalla scarsa disponibilità idrica. Tuttavia, una bassa umidità relativa, la quasi totale assenza di piogge durante l'accrescimento del frutto e l'elevata attività radiativa sono fattori che in definitiva contribuiscono sia ad aumentare l'efficienza fotosintetica delle foglie, sia a ridurre l'insorgenza di fenomeni fitopatologici e ad incrementare la qualità dei frutti. Queste condizioni climatiche esercitano anche un effetto positivo sull'accumulo delle riserve, poiché spesso nel Meridione la durata della funzionalità fogliare è di circa 40 giorni più lunga rispetto al Settentrione; ne consegue che le piante fioriscono e germogliano anticipatamente e le foglie cadono più tardivamente. Tale ritardo permette alla pianta di svolgere normalmente le sue funzioni e perciò di ripristinare le riserve nei tessuti anche dopo la raccolta dei frutti che, nel caso del pero, si concentra per lo più nel periodo autunnale. Pertanto, è evidente che il Meridione non deve essere considerato soltanto un'area adatta alla produzione di primizie, ma ha tutte le carte in regola, almeno dal punto di vista pedoclimatico, per estendere l'offerta ad un prodotto quale la pera estivo-autunnale, ad eccezione di quelle varietà con elevato fabbisogno in freddo, senza incorrere in gravi problemi fitosanitari e di conservazione. Altro fattore da considerare è l'esposizione del terreno: per le aree del Centro e del Nord Italia sono ritenuti non idonei i terreni esposti verso nord ed est, date le minori temperature e la minore disponibilità d'irraggiamento che si riscontrano in tali ambienti rispetto ai terreni esposti a sud e sud-est. Negli ambienti meridionali del nostro Paese sono ritenuti ottimali terreni esposti verso nord-ovest. L'esposizione a nord è stata considerata la meno favorevole alla coltivazione in tutti gli ambienti.

Il pero fiorisce in un periodo piuttosto precoce e le brinate primaverili possono danneggiare gli organi riproduttivi o impedire il naturale evolversi dei processi fecondativi, dato che con l'approssimarsi della ripresa vegetativa, la resistenza al freddo della pianta diminuisce e temperature intorno ai -5°C possono causare notevoli danni soprattutto alle gemme miste. Le gelate

primaverili possono portare, in definitiva, alla perdita totale del prodotto; la sensibilità alle gelate varia notevolmente a seconda della cultivar e dello stadio fenologico. Altri fattori climatici possono influire sulla produttività del pereto e sulla qualità dei frutti; tra questi il vento eccessivo, la grandine, la pioggia persistente durante la fioritura e la raccolta, le elevate temperature estive. Il soddisfacimento delle ore di freddo è medio-elevato; un numero pari alle 1.300 ore risulta ottimale per la maggior parte delle varietà coltivate nel nostro paese, mentre risulta insufficiente un numero di ore inferiore a 800. Altrettanto importante è il fabbisogno in caldo per garantire la fioritura: questo risulta ottimale sulle 400 ore, non idoneo inferiore alle 320 ore.

33.6. Caratteri funzionali del suolo

33.6.1. Profondità del suolo

Generalmente il pero predilige terreni profondi, con franco di coltivazione maggiore di 100 cm. Il volume di suolo interessato dall'apparato radicale, comunque, è funzione di molteplici fattori, di cui il più importante è il portinnesto: quelli franchi, essendo dotati di apparato radicale profondo e fittonante, prediligono i terreni più profondi; i portinnesti di cotogno presentano invece un apparato radicale fascicolato e più superficiale e si adattano meglio ai terreni poco profondi (tabella 33.6). Di contro, questi ultimi, estraendo in maggior misura l'acqua dagli strati più superficiali del terreno, tollerano meno gli stress idrici.

Tabella 33.6. Profondità ed espansione laterale radicale di peri di 8 anni innestati su franco e cotogno.

Espansione radicale	Dr. J. Guyot		Conference
	Franco	Cotogno A	Cotogno A
Quantità di radici presenti nello strato			
-0 -30 cm	32,4%	69,2%	71,3%
-30 -100 cm	47,3%	22,4%	18,3%
oltre -100 cm	20,3%	8,4%	10,4%
Profondità massima delle radici (cm)	314	240	247
Sviluppo laterale medio delle radici (cm)	335	315	290

33.6.2. Tessitura e fessurazione

Riguardo alla tessitura del suolo e alla sua tendenza a fessurare, il pero è meno esigente rispetto ad altre colture arboree da frutto. Le esperienze condotte in

Emilia Romagna indicano come i portinnesti di pero, indipendentemente dalla loro natura, subiscono severe limitazioni della crescita solo in presenza di terreni a tessitura sabbiosa, sabbiosa franca e franco sabbiosa grossolana. I cotogni sembrano più sensibili, rispetto ai franchi e alle piante autoradicate, nei confronti di suoli a tessitura fine, poiché il loro apparato radicale è maggiormente soggetto ai danni causati dalla più marcata tendenza a fessurare di questi terreni.

33.6.3. Salinità e sodicità

Il pero, indipendentemente dal tipo di portinnesto, trova condizioni ottimali alla sua coltivazione in presenza di valori di conducibilità elettrica inferiori a $0,4 \text{ dS m}^{-1}$ e di percentuali di sodio scambiabile (ESP) del terreno minori dell'8%. All'aumentare di questi valori le condizioni peggiorano progressivamente, fino alla non idoneità alla coltivazione in presenza di valori di conducibilità elettrica maggiori di $0,8 \text{ dS m}^{-1}$ e ESP superiore a 10.

33.6.4. Rischio d'inondazione

La coltivazione del pero può essere praticata senza limitazioni in quei territori in cui il rischio d'inondazione del territorio è assente o lieve (cioè la presenza di acqua stagnante in superficie si verifica non più di una volta ogni 10 anni per tempi inferiori alle 48 ore). Le zone in cui il rischio è frequente e la durata della sommersione è superiore a 7 giorni sono da considerarsi non idonee alla pericoltura.

33.6.5. Disponibilità d'ossigeno

Le radici del pero, come quelle di altre arboree da frutto, sono mediamente esigenti per quanto riguarda il ricambio gassoso. In generale, è da ricordare che una capacità d'aria inferiore al 2% in volume causa l'interruzione dello sviluppo della pianta. La capacità d'aria del terreno non dovrebbe essere mai inferiore al 10%. La presenza di una falda acquifera entro il metro di profondità riduce la disponibilità d'ossigeno per le radici ed è causa di crescita stentata. È comunque opportuno sottolineare come una falda oscillante sia più dannosa di una falda permanente presente subito al di sotto del franco di coltivazione; in presenza di falda oscillante, le condizioni asfittiche possono causare seri danni al sistema radicale, fino a compromettere la sopravvivenza stessa delle piante.

33.6.6. Reazione (pH)

Per quel che riguarda la reazione del terreno, il pero predilige suoli con valori di pH intorno alla neutralità; se innestato sui cotogni BA 29, Sydo e MC si ritiene che i valori ottimali siano compresi tra 6,5 e 7,5; piante autoradicate o innestate su franco e sue selezioni non subiscono limitazioni della crescita fino a pH 8. Allontanandosi da quest'intervallo ottimale, il pero va incontro a limitazioni sempre maggiori.

33.6.7. Calcare attivo

Per il pero, la soglia di tolleranza del calcare attivo, uno dei fattori responsabili della clorosi fogliare, è diversificata in funzione della tipologia di portinnesto. Il franco ed il cotogno CTS 212 risultano senza dubbio i più resistenti, facendo fronte a valori di calcare attivo intorno al 12%; tra gli altri cotogni, BA 29 ha suscettibilità intermedia (è inadatto con percentuali superiori all'8%), mentre MA, MC e Sydo hanno una elevata suscettibilità, per cui valori superiori al 6% causano severe limitazioni della crescita.

33.6.8. Clorosi ferrica

Merita, infine, una certa attenzione il problema della clorosi ferrica, particolarmente sentito in alcune zone tradizionalmente interessate dalla pericoltura, caratterizzate spesso da terreni con una considerevole presenza di carbonati. La causa principale della clorosi è da imputarsi al mancato assorbimento e circolazione all'interno della pianta di ferro assimilabile, con conseguente diminuzione o annullamento del processo di fotosintesi clorofilliana; ciò si manifesta con ingiallimenti fogliari ed un peggioramento quali-quantitativo della produzione. L'eccesso di calcare causa un innalzamento del valore di pH, per cui il ferro è in forma ossidata e risulta non assimilabile dalla pianta. L'insorgenza della clorosi può essere prevenuta, od in parte limitata, mediante l'utilizzo di portinnesti resistenti (Franco, OHF 40, OHF 69), nonché con alcune pratiche colturali, quali ad esempio l'inerbimento o l'utilizzo di ammendanti, che aumentando il contenuto di sostanza organica, consentono la chelazione del ferro. Molto utilizzate sono pure le irrorazioni fogliari di ferro chelato ad agenti sintetici o acidi organici.

33.6.9. Schema di valutazione

Si riporta (tabella 33.7) lo schema di valutazione delle limitazioni pedologiche alla crescita del pero su portinnesti diversi, elaborato da I.TER nell'ambito del Progetto "Coordinamento settore suolo" finanziato dal Servizio Sviluppo Sistema Agro-alimentare ai fini della L.R.28/98.

Tabella 33.7. Schema di valutazione delle limitazioni pedologiche alla crescita del pero su diversi portinnesti.

Caratteristiche pedologiche	Gruppi di portinnesti	Intensità delle limitazioni		
		assenti o lievi	moderate	severe
Profondità utile alle radici (cm)	Franco e sue selezioni (OHF 40, OHF 69) e autoradicato, Cotogno BA 29, Sydo, Cotogno MC	> 100	50 - 100	< 50
Tessitura	Franco e sue selezioni (OHF 40, OHF 69) e autoradicato	fine, media, moder. fine, moder. grossolana		grossolana
	Cotogno BA 29, Sydo, Cotogno MC	moder. fine, moder. grossolana	fine	grossolana
Fessurazione	Franco e sue selezioni (OHF 40, OHF 69) e autoradicato	bassa, media, forte		
	Cotogno BA 29, Sydo, Cotogno MC	bassa	media, forte	
Salinità (EC 1:5 dS m ⁻¹)	Franco e sue selezioni (OHF 40, OHF 69) e autoradicato, Cotogno BA 29, Sydo, Cotogno MC	< 0,4	0,4 – 0,8	> 0,8
Sodicità (ESP)	Franco e sue selezioni (OHF 40, OHF 69) e autoradicato, Cotogno BA 29, Sydo, Cotogno MC	< 8	8 - 10	> 10
Rischio di inondazione: inondabilità	Franco e sue selezioni (OHF 40, OHF 69) e autoradicato, Cotogno BA 29, Sydo, Cotogno MC	assente o lieve	moderato	alto
Rischio di inondazione: durata	Franco e sue selezioni (OHF 40, OHF 69) e autoradicato, Cotogno BA 29, Sydo, Cotogno MC	estremamente breve, molto breve	breve	lunga, molto lunga
Disponibilità di ossigeno	Franco e sue selezioni (OHF 40, OHF 69) e autoradicato, Cotogno BA 29, Sydo, Cotogno MC	buona, moderata		imperfetta, scarsa, molto scarsa
Reazione (pH)	Franco e sue selezioni (OHF 40, OHF 69) e autoradicato	6,5 - 8	5,4 - 6,5; 8 - 8,8	< 5,4; > 8,8
	Cotogno BA 29, Sydo, Cotogno MC	6,5 - 7,5	5,4 - 6,5; 7,5 - 8,8	< 5,4; > 8,8
Calcare attivo (%)	Franco e sue selezioni (OHF 40, OHF 69) e autoradicato	< 10	10 - 12	> 12
	Cotogno BA 29, Sydo	< 5	5 - 8	> 8
	Cotogno MC	< 4	4 - 6	> 6

Lo schema è stato validato tramite la produzione di carte applicative condivise dai tecnici esperti nella coltivazione del pero (www.suolo.it).

Bibliografia di riferimento

- AA., VV., 1991. *Frutticoltura speciale*. Reda, Roma.
- AA., VV., 1997. *Linee tecniche di produzione integrata. Pero*. Suppl. Terra e Vita, 38.
- AA., VV., 2003. *Pero. La tecnica che fa il gusto*. Il Divulgatore, 4.
- ANCORELLI, S., LINONI, F., 2004. *La tecnica/prevenzione nei campi, come difendersi dalle gelate fuori stagione*. Ermes Agricoltura, 23.
- BACCI, L., CONESE, C., ROMANI, M., 2005. *Individuazione di indici bioclimatici e morfologici per la realizzazione di mappe di land suitability per le principali colture frutticole italiane*. Telespazio spa, Roma.
- BALDINI, E., 1986. *Arboricoltura Generale*. CLUEB, Bologna.
- BARGIONI, G., 2003. *Pero: le caratteristiche dell'albero e le sue esigenze di clima e terreno*. Vita in Campagna, 11.
- BELLINI, E., 1993. *La coltivazione del pero*. Edizioni L'Informatore Agrario, Verona.
- BELLINI, E., NIN, S., 1999. *La coltivazione del pero in Italia. Scelta del portinnesto e delle cultivar*. L'Informatore Agrario, 41.
- BELLINI, E., NIN, S., 2000. *La coltivazione del pero in Italia. Scelta delle forme di allevamento, potatura, fertilizzazione e irrigazione*. L'Informatore Agrario, 40.
- BERGAMASCHI, M., ANCARANI, V., RIVALTA, L., E SANSAVINI, S., 2004. *Liste varietali dei fruttiferi 2004 - pero*. Suppl., L'Informatore Agrario, 24, 47-51.
- BERGAMINI, A., COBIANCHI, D., 1986. *Il pero*. Edagricole, Bologna.
- CANALE EMILIANO ROMAGNOLO, 2004. *Applicazioni pratiche sulle specie agrarie. Pero*. Il Divulgatore, 7/8.
- CATALOGO DEI SUOLI DELLA PIANURA EMILIANO ROMAGNOLA. Regione Emilia Romagna, I.TER, 1998. www.gias.regione.emilia-romagna.it/suoli/guidaindice.asp.
- COBIANCHI, D., MARANGONI, B., 1993. *La nutrizione e le gestione del suolo nel pereto*. Atti del Convegno Nazionale: "La coltura del pero per una produzione integrata", Verona, 3 dicembre.
- COSTA, G., 2000. *L'impiego dei bioregolatori nella coltivazione del pero*.ERMES, agricoltura, 2005. Disciplinary di produzione integrata del pesco. http://www.ermesagricoltura.it/wcm/ermesagricoltura/consigli_tecnici/disciplinari/sezione_disciplinari/s_nome_coltura/s_frutticole/s_pero.htm.
- FAO, 2004. www.fao.org.
- GUALTIERI, L., TONDINI, S., 1993. *L'utilizzazione industriale delle pere e le prospettive commerciale del prodotto trasformato*. Atti del Convegno nazionale "La coltura del pero per una produzione integrata", Verona, 3.
- ISTAT, 2004. www.istat.it.
- LANDI, R., 1999. *Agronomia e ambiente*. Edizioni Agricole, Bologna.
- LOVICU, G., ANCARANI, V., BIDONA, G., MUSACCHI, S., SANSAVINI, S., 2005. *Speciale Liste varietali in frutticoltura. Pero*. Suppl., Terra e Vita 24, 53, 58.
- MARANGONI, B., 1998. *Nuove prospettive della fertilizzazione del frutteto*. Frutticoltura, n.4.
- MATTAL, A., 2000. *Fondamenti di patologia vegetale*. Patron Editore, Bologna.
- MONTUSCHI, C., COLLINA, M., 2003. *Prima segnalazione in Italia di Valsa ceratosperma su pero*. L'Informatore Agrario, 50.

- NASI, F., LAZZAROTO, R., GHISI, R., 1994. *Coltivazioni arboree*. Liviana Editrice, Padova.
- PROBSTING, E.L., TUKEY, R.B., MILLS, H., 1971. *Critical temperatures from blossom buds*. Wash. State Agr., Axt., Circ., 369, 374.
- QUARTIERI, M., TAGLIAVINI, M., SCUDELLARI, D., MARANGONI, B., MILLARD, P., 1996. *Assorbimento radicale di azoto e rimobilizzazione delle riserve azotate nel pero durante la ripresa vegetativa*. Frutticoltura, 10.
- REGIONE EMILIA ROMAGNA, 2004. *Le buone pratiche agricole per risparmiare acqua*. Suppl., Agricoltura 5, 56, 63.
- REGIONE EMILIA ROMAGNA, 2006. *Disciplinari di produzione integrata 2006. Norme tecniche di coltura - Tecnica agronomica - Colture frutticole. MELO e PERO*. www.ermesagricoltura.it/wcm/ermesagricoltura/consigli_tecnici/disciplinari/sezione_disciplinari/s_norme_coltura/s_frutticole/s_pero/T_pero.pdf.
- SANSAVINI, S., MUSACCHI, S., 2000. *Nuovi impianti di pero: densità, portinnesti e forme di allevamento*. Frutticoltura, 9.
- TRENTIN, L., 1946. *Frutticoltura*. Editrice, Soc., p. Az. Fratelli Ottavi, Casale Monferrato.
- ZINONI, F., ANTOLINI, G., 2004. *Gelate tardive genesi e previsione*. Il Divulgatore, 4.

Ministero delle Politiche Agricole, Alimentari e Forestali
Osservatorio Nazionale Pedologico e per la Qualità del Suolo Agricolo e Forestale

In collaborazione con:
International Union of Soil Sciences
Società Italiana della Scienza del Suolo
Commissione VI - Uso e Conservazione del Suolo

BELLINI, E., GIORDANI, E., MORELLI, D., 2006. *Il susino*. In: Costantini, E.A.C. (Ed.), *Metodi di valutazione dei suoli e delle terre*, Cantagalli, Siena, pp. 922.

Collana dei metodi analitici per l'agricoltura diretta da Paolo Sequi, vol. 7

CRA - Consiglio per la Ricerca e la Sperimentazione in Agricoltura
Istituto Sperimentale per lo Studio e la Difesa del Suolo, Firenze

34. Il susino

Elvio Bellini¹, Edgardo Giordani¹, Daniele Morelli¹

34.1. Specie, prodotti, usi	3
34.2. Varietà ed impollinatori	4
34.2.1. Varietà	4
34.2.2. Impollinatori	7
34.3. Portinnesti	7
34.4. Esigenze della pianta e tecniche colturali.....	9
34.4.1. Clima.....	9
34.4.2. Fertilizzazione	9
34.4.3. Fabbisogno idrico e irrigazione.....	11
34.4.4. Gestione del suolo.....	12
34.4.5. Impianto e allevamento	13
34.4.6. Potatura.....	13
34.4.7. Problemi sanitari e rimedi.....	14
34.5. Caratteri ambientali per la coltivazione del susino	16
34.6. Caratteri funzionali del suolo	17
34.6.1. Profondità del suolo	17
34.6.2. Tessitura e fessurazione	17
34.6.3. Salinità e sodicità	18
34.6.4. Rischio di inondazione.....	18
34.6.5. Disponibilità di ossigeno.....	18
34.6.6. Reazione (pH).....	19
34.6.7. Calcare attivo	19
34.6.8. Schema di valutazione	19
Bibliografia di riferimento.....	21

¹ Università di Firenze - Facoltà di Agraria, Dipartimento di Ortoflorofrutticoltura

34.1. Specie, prodotti, usi

Di fatto le specie di susino di interesse agronomico (che contribuiscono alla costituzione di cultivar e portinnesti) sono circa una decina; esse sono molto diverse tra loro per caratteri botanici, comportamento e adattamento all'ambiente. Di queste, quelle di maggior importanza colturale sono

Ordine: ROSALES
Sottofamiglia: PRUNOIDEAE
Genere: PRUNUS
Sottogenere: PRUNOPHORA
Specie:
Prunus domestica L. (susino europeo)
Prunus salicina Lindl. = *P. triflora* Roxb. (susino cino-giapponese)
Altre specie interessanti:
P. insititia Jusl. (susino siriano, per portinnesti)
P. cerasifera Ehrh. (Mirabolano, per cultivar e portinnesti)
P. americana Bailey (per l'ottenimento di portinnesti resistenti al freddo e alle malattie)
P. besseyi Bailey (per cultivar, fonte di resistenza)
P. nigra Ait. (da frutto, fonte di resistenza all'oidio)
P. hortulana Bailey (per cultivar, resistente alle malattie)
P. maritima Marsh. (per l'epoca di fioritura tardiva)
P. angustifolia Marsh. (per cultivar)
P. ussuriensis Kov. Kost. (per cultivar)

essenzialmente quattro: *Prunus domestica* L. (susino europeo), *Prunus triflora* Roxbgh. o *Prunus salicina* Lindl. (susino cino-giapponese), *Prunus insititia* Jusl. (susino siriano) e *Prunus cerasifera* Ehrh. (mirabolano). Watkins (1976) ed altri ricercatori sostengono che il genere *Prunus* abbia origine centro-asiatica; attualmente si riconoscono quattro aree

geografiche: l'Asia centro-occidentale, l'Europa, la Cina e il Nord America, ognuna delle quali caratterizzata dalla presenza di una o più specie del genere *Prunus* riconducibili al susino. Il *P. salicina* è riconosciuta come la specie più rappresentativa tra quelle che afferiscono al gruppo dei susini cino-giapponesi; questa si è originata molto anticamente in Cina dove oggi è largamente diffusa, sebbene l'inizio della sua coltivazione non sembri oltrepassare i 2000 anni. La conoscenza di questa coltura in Europa è testimoniata da Plinio il Vecchio (I secolo D.C.), che nella sua *Naturalis Historia*, opera che abbraccia tutti gli aspetti del regno della natura, riporta notizie di numerose varietà di susino caratterizzate da forme e colori diversi. Molti anni dopo, è Bartolomeo Bimbi ad immortalare nei suoi dipinti il susino ed i suoi variopinti frutti nella Firenze medicea. Il frutto è una drupa, che nel susino cino-giapponese solitamente è di pezzatura maggiore rispetto a quella del susino europeo; la colorazione della buccia varia dal giallo al rosso lucente, ma non mancano cultivar con buccia completamente nera; la polpa è di colore giallo, talvolta venata di rosso o totalmente rossa (sanguigna), la cui consistenza varia da tenera a soda, da aderente a spicca. La principale destinazione del frutto è il consumo fresco (oltre il 70% del prodotto), poi l'essiccazione e la trasformazione industriale (produzione di confetture e succhi, inscatolamento, distillazione). La produzione nazionale diretta all'essiccazione o altri usi industriali è assai esigua per cui il nostro paese è fortemente importatore, soprattutto di prugne secche.

Dal punto di vista nutrizionale è una ricca fonte di zuccheri (7 - 20% e oltre), ma contiene pochissimo amido. Molte sono le sostanze pectiche che contribuiscono alla tessitura del frutto. Gli acidi organici primari sono il malico ed il quinic, mentre il contenuto proteico è basso (0,4 - 0,8%). Il frutto è una buona fonte di sostanze minerali (K, Na, Ca, Mg, Fe e Zn) e di vitamina C. Alcuni composti fenolici contribuiscono all'astringenza del frutto. Il colore del frutto è essenzialmente dovuto alle antocianine, che aumentano con la maturazione del frutto; l'aroma del frutto è dovuto alla presenza di benzaldeide. La susina contiene un discreto livello di fibra, ferro, β -carotene e potassio ed inoltre è un lassativo naturale. Il succo di prugna potrebbe essere usato come umettante. Il suo consumo riduce la densità plasmatica del colesterolo.

Attualmente la produzione mondiale delle susine si aggira mediamente sui 10 milioni di tonnellate annue, inserendosi fra le specie di maggior rilevanza economica. Per quanto riguarda i principali paesi interessati alla coltura del susino (FAO, 2004), la produzione è dominata dalla Cina (4.384.000 t), che coltivando prevalentemente il susino cino-giapponese, copre da sola quasi la metà di quella mondiale, con andamento fortemente positivo. Gli Stati Uniti, molto distanziati (690.000 t), sono al secondo posto, con una produzione suddivisa fra le cino-giapponesi per il consumo fresco (*plum*) e le europee per l'essiccazione (*prunes*). Casi opposti sono rappresentati da Germania (450.000 t) e Francia (250.000 t) dove, dopo un lungo periodo di crisi, la susinicoltura basata su cultivar di tipo europeo è in buona ripresa. In difficoltà Romania (550.000 t) e Ungheria (45.000 t) per la gravità del virus della Sharka che compromette la qualità della produzione. L'Italia (173.000 t) vede la sua produzione in calo negli ultimi anni, con prevalente coltivazione di susino europeo, ma con forte *trend* positivo per le cultivar cino-giapponesi. In generale quella italiana è una produzione destinata per la maggior parte al consumo fresco, sia nazionale che estero, mentre è deficitaria la disponibilità di prodotto essiccato, anche se è in aumento l'interesse per la trasformazione industriale dei frutti. Nella nostra nazione le regioni maggiormente interessate alla coltura sono (ISTAT, 2004): Emilia Romagna (62.564 t), sia come superfici interessate che come produzioni totali, seguita da Campania (47.389 t), Lazio (11.331 t), Piemonte (10.294 t), Marche (9.057 t), Basilicata e Abruzzo (6.200 t circa ciascuna), Toscana (5.962 t), Sicilia (5.683 t) e Veneto (4.554 t).

34.2. Varietà ed impollinatori

34.2.1. Varietà

La susinicoltura italiana sta attraversando, già da diversi anni, un periodo di staticità (salvo alcuni nuovi impianti specialmente al Sud) non tanto per disinteresse da parte del consumatore o saturazione del mercato, quanto per

problemi di ordine bioagronomico e patologico verificatisi nel gruppo delle cultivar cino-giapponesi, con le quali è stata realizzata la maggior parte dei nuovi impianti negli ultimi 15 anni. Oltre alle note difficoltà di adattamento di tali cultivar ai nostri ambienti climatici, particolarmente al Nord, sono divenute endemiche alcune patologie come quella provocata da *Sharka* e da *Xanthomonas* spp., che compromettono la produttività e la qualità della produzione, nonché la leptonecrosi che causa deperimento e morte delle piante dopo alcuni anni dalla loro messa in dimora. A queste problematiche sfugge in parte il susino europeo, ultimamente rivalutato proprio per la rusticità e la facilità di adattamento anche negli ambienti più difficili.

Purtroppo le novità veramente valide per questo gruppo pomologico sono ancora poche, così che la produttività italiana è ancora legata a poche cultivar a maturazione tardiva. Tra le proposte più importanti incontrate nella lista varietale del susino per il 2005 troviamo quelle riportate in seguito.

Cultivar cino-giapponesi

Questo gruppo si è sviluppato molto negli ultimi 15 anni ed ha visto aumentare notevolmente le cultivar licenziate presso i centri di miglioramento genetico mondiali. La maggior parte di esse provengono dalla California e sono caratterizzate da: grossa pezzatura, forma rotonda, tendenzialmente oblata; colori brillanti della buccia che vanno dal verde al rosso, al violaceo e soprattutto al nero; elevata consistenza e tenuta della polpa che le rende idonee a manipolazioni e trasporti e talune anche alla frigoconservazione per medi periodi.

Nel nostro Paese, però, la produttività di molte di queste cultivar non si è dimostrata elevata e costante in tutti gli ambienti, ed alcune caratteristiche organolettiche risultavano insoddisfacenti. Questi aspetti negativi si sono riscontrati soprattutto al Nord, dove è maggiore la suscettibilità ad alcuni patogeni quali *Xanthomonas* spp. e moniliosi; la situazione migliora, così come le caratteristiche organolettiche, andando dal Nord al Centro e al Sud, ed è proprio in quest'ultima zona di coltivazione che anche le cultivar ritenute di scarso sapore diventano accettabili. Tra le varietà a maturazione precoce troviamo ancora in lista Sorriso di Primavera (-12 gg dalla cv. di riferimento Shiro, che matura dal 10 al 15 luglio al Nord, dal 5 al 10 luglio al Centro, dal 1 al 5 luglio al Sud), Obilnaja, ancora consigliata per la rusticità dell'albero e l'elevata produttività, e Shiro, affidabile sotto il profilo agronomico e pomologico (buona produttività, aspetto e sapore del frutto), mantenuta ancora come cultivar di riferimento per l'epoca di maturazione e utilizzabile anche come impollinatore. In generale si evidenzia un incremento del contenuto zuccherino e una riduzione dell'acidità nel Sud rispetto al Nord; non vi sono invece differenze sostanziali nella produzione, calibro, aspetto e consistenza della polpa.

Accanto a queste 3 cultivar tradizionali, ritenute idonee in tutte le grandi aree, troviamo: Black Star, valida solo al Sud anche per l'elevata sensibilità a

batteriosi e fitoplasmosi e Carmen Blu*, non convincente al Nord. Per il periodo intermedio si segnalano Anne Gold*, a buccia gialla, ancora in corso di valutazione al Sud; dai rilievi effettuati in anni di produzione si evidenziano caratteri pomologici molto interessanti che la renderebbero superiore a Shiro per pezzatura, aspetto, consistenza e sapore; quest'ultimo carattere è confermato da un maggior contenuto zuccherino. Le cultivar a buccia nera del periodo vengono giudicate positivamente per i caratteri pomologici e sono Black Gold® e Black Diamond®, che si confermano le migliori per pezzatura, consistenza e caratteristiche organolettiche dei frutti, ma la produttività è incostante e scarsa al Centro-Nord.

Tra le altre cultivar del periodo troviamo Fortune, affidabile per produttività, pezzatura, aspetto, consistenza e tenuta del frutto; Golden Plumza*, Laroda e Frial sono ancora valide per caratteri agronomici e pomologici. Tra le varietà che maturano nel periodo tardivo troviamo delle cultivar scartate sia al Centro che al Nord, quali Tracy Sun* e October Sun*, da segnalare per i buoni caratteri pomologici. Fra le cultivar a buccia nera, tutte interessanti per il calibro e la consistenza del frutto, un po' meno per il sapore, si riconfermano: Friar, Royal Diamond® e Angeleno®. Mentre le migliori per le caratteristiche organolettiche vengono unanimemente ritenute: Green Sun e T.C. Sun*. Infine, pomologicamente interessanti risultano Larry Ann e Autumn Giant*.

Cultivar europee

Nonostante siano molte le varietà che afferiscono a questo gruppo pomologico, poche di esse si adattano alle esigenze di mercato e di coltivazione del nostro Paese.

Quasi tutte le cultivar a maturazione precoce e intermedia, di vecchia o recente costituzione, hanno caratteri pomologici insufficienti come pezzatura o sapore. Sono due le cultivar che interessano il periodo precoce: Firenze '90 (-30 gg dalla cv. di riferimento Stanley, che matura dal 5 al 10 settembre al Nord, dal 1 al 5 settembre al Centro, dal 25 al 31 agosto al Sud), viene ritenuta idonea in tutte le aree di coltivazione; di essa si evidenziano i peculiari caratteri agronomici, quali rusticità e produttività; Sugar ha una discreta produttività ma rimane in lista solo al Sud. È nel periodo tardivo che maturano le cultivar che concorrono a formare la maggior parte della produzione italiana di susine europee. Le varietà adatte al consumo fresco che rivestono particolare interesse sono: Stanley, affidabile sotto il profilo produttivo (elevato e costante) e pomologico; Empress (+2) e President (+9).

Tra le cultivar adatte all'essiccazione annotiamo: D'Ente 707 (-3), che si conferma la migliore sotto il punto di vista pomologico, registrando elevati tenori zuccherini e soprattutto bassa acidità, e Sugar Top®*.

* Questo simbolo indica che la cultivar è protetta.

® Questo simbolo indica "marchio registrato".

34.2.2. Impollinatori

Nel susino l'incompatibilità è un fenomeno ricorrente, che ostacola il processo di fecondazione e limita la fertilità. L'autoincompatibilità, che non interessa le varietà di susino europeo da noi coltivate, pur essendo presente all'interno del gruppo, è un problema maggiormente sentito nel gruppo cino-giapponese, ove le poche cultivar ritenute autofertili, spesso, nel nostro ambiente, non si comportano come tali. L'uso di idonei impollinatori, tuttavia, è necessario per entrambi i gruppi e pur risultando pratica indispensabile, non è sufficiente ad assicurare la produttività degli impianti di susino. Gli impollinatori devono garantire contemporaneità di fioritura, elevata produzione di polline ad alta germinabilità ed essere intercompatibili con le cultivar più diffuse. Si consiglia un 10-15% di piante impollinatrici se intercalate lungo la fila, mentre in caso di filari monovarietalì si può arrivare al 20-25%. Essendo l'impollinazione prettamente entomofila, ove possibile è bene introdurre arnie in ragione di 7-8 per ettaro; tra gli insetti più attivi ricordiamo le api ed i bombi.

34.3. Portinnesti

Per il susino vi sono ampie possibilità di scelta in tema di portinnesti, ognuno dei quali presenta dei vantaggi, ma anche degli inconvenienti, per cui la scelta risulta particolarmente complessa.

Franco

È resistente all'*Agrobacterium tumefaciens*. A causa della disomogeneità delle sementi si preferiscono i portinnesti clonali, fra cui Brompton e GF 43.

Mirabolano

Malgrado la difformità delle piante, essendo derivate da seme, il Mirabolano da seme (*Prunus cerasifera*) occupa un posto importante tra i portinnesti del susino.

Questo è dotato di un buon apparato radicale espanso e profondo, con ottimo ancoraggio. Induce una lenta messa a frutto, ma una buona produttività e l'affinità è in genere buona con tutte le varietà. È abbastanza sensibile alla Sharka e al marciume da Armillaria, mentre è notevole la sensibilità al tumore radicale da *A. tumefaciens*. Inoltre, la resistenza alla clorosi ferrica è insufficiente e quella all'asfissia radicale è inferiore al Marianna. Questo portinnesto si presta ad essere moltiplicato per via agamica e sono disponibili numerose selezioni; tra le più diffuse il Mirabolano B e il 29C.

Il Mirabolano B è il più vigoroso dei portinnesti del susino, pertanto è indicato solo per varietà deboli, per terreni poveri e per ristoppio. Mantiene tutte le migliori caratteristiche dei Mirabolani per adattabilità, affinità, produttività e resistenza alle fitopatie. Il Mirabolano 29C presenta un apparato

radicale meno espanso, un minor ancoraggio e induce un vigore inferiore al Mirabolano B di circa il 30%; ha manifestato buona affinità di innesto, precoce entrata in produzione ed una efficienza produttiva superiore. È particolarmente indicato per varietà vigorose coltivate in terreni fertili. Tra gli ibridi di Mirabolano ricordiamo l'MrS 2/5 (*P. cerasifera* x *P. spinosa*), un portinnesto che può essere utilizzato anche per albicocco e pesco.

Marianna

Il Marianna è un ibrido *P. cerasifera* x *P. munsoniana*; in questo gruppo troviamo il Marianna GF 8/1. Induce una vigoria intermedia fra il Mirabolano B e il 29C (somigliando a quest'ultimo per produttività e qualità dei frutti); il suo apparato radicale è superficiale, ma di sufficiente ancoraggio. È un portinnesto particolarmente indicato per la resistenza ai freddi invernali ed ai nematodi.

Damaschi

Con questo termine sono indicati dei franchi generalmente ascrivibili al *P. insititia*, anche se spesso mescolati con *P. domestica*; da questi sono stati selezionati numerosi portinnesti clonali, tra cui i più interessanti sono il San Giuliano A, vigoroso e poco resistente alle basse temperature, e Damasco 1869. Da una selezione clonale all'interno della popolazione di San Giuliano è emerso Pixy®; ha un apparato radicale superficiale e mediamente espanso, con ancoraggio non sufficiente e poca resistenza alla siccità. Possiede il vantaggio di indurre una vigoria ridotta, inferiore del 30-50% rispetto a quella del Mirabolano B. L'affinità è risultata buona con tutte le varietà saggiate, così come è buona la produttività, l'efficienza produttiva e la qualità dei frutti quando utilizzato in terreni irrigui. È indicato per impianti intensivi, con varietà vigorose ed in terreni fertili, mentre non è consigliabile nei terreni siccitosi o senza irrigazione; Pixy® ha mostrato buona resistenza all'asfissia radicale, ma mal si adatta a terreni stanchi. Ad oggi, comunque, questi portinnesti non sono mai stati utilizzati in impianti produttivi.

Altri portinnesti

In letteratura sono citati molti altri soggetti, alcuni come gli ibridi pesco-mandorlo possono risultare interessanti: Hansen 536 e Hansen 2168, finora non utilizzati in Italia, ma soprattutto il GF 677, per il quale in Emilia Romagna sono in corso sperimentazioni volte a valutare se l'elevata vigoria indotta consente di limitare le morie da fitoplasmi. Altri sono poco affini (franchi di albicocco) o sporadicamente utilizzati (franchi di pesco).

34.4. Esigenze della pianta e tecniche colturali

34.4.1. *Clima*

Il susino è normalmente ritenuta una pianta rustica; questo è vero solo in parte, in quanto il suo adattamento ambientale risente del gruppo varietale a cui appartiene la cultivar considerata. In generale, si adatta alle zone con inverni ben definiti, anche se abbastanza rigidi, mentre mal sopporta le primavere con gelate tardive. Queste ultime sono più dannose per il susino cino-giapponese, in quanto fiorisce più precocemente ed è quindi più esposto al rischio di danni sui fiori e frutticini. Un altro fattore da considerare è l'umidità dell'aria e le piogge nei periodi di fioritura e della raccolta. In particolare, in prossimità della raccolta un'elevata umidità provoca spaccatura dei frutti, che in seguito vengono attaccati da moniliosi. L'ultimo fattore ambientale sgradito è il vento, per i possibili danni che questo provoca. Il susino predilige ambienti poco ventosi, soleggiati, caldi in prefioritura.

34.4.2. *Fertilizzazione*

La concimazione è pratica essenziale per ottenere una produzione regolare negli anni e frutti di elevata qualità; tuttavia una corretta impostazione di un programma di fertilizzazione è tutt'altro che facile, poiché i fattori da tenere in considerazione sono molteplici: le caratteristiche fisico-chimiche del terreno, le esigenze nutrizionali dell'albero, la tipologia d'impianto, le tecniche colturali, ecc.

Al momento della costituzione del nuovo impianto, come prima cosa sarà opportuno correggere eventuali deficienze attraverso la concimazione d'impianto; nei primi anni di vegetazione delle piante sarà necessario favorire la veloce formazione della struttura scheletrica, ma nello stesso tempo evitare di stimolare eccessivamente lo sviluppo.

Dall'analisi sui dati relativi alle asportazioni medie di macroelementi di susini in piena produzione (tabella 34.1) appare evidente che i principali elementi assorbiti dall'albero sono azoto, potassio e calcio. In generale è sufficiente restituire le quote di nutrienti asportate annualmente dai frutti, tenendo conto che per gli elementi assorbiti in quantità ridotta è preferibile intervenire ad anni alterni e che circa il 70% del calcio assorbito viene rilasciato nuovamente al terreno con la caduta delle foglie.

Normalmente vengono somministrati concimi ternari di N, P e K in quantità e rapporti diversi a seconda della produttività del frutteto e della modalità ed epoca di somministrazione (tabella 34.2). Va tenuto conto che una corretta modalità di somministrazione prevede, nel caso che il frutteto sia condotto con irrigazione localizzata, una distribuzione dei fertilizzanti solo sul filare con una riduzione delle unità del 20-30%. La diagnostica fogliare e

l'analisi chimica del terreno possono fornire valide indicazioni per la concimazione.

Tabella 34.1. Quantità di elementi nutritivi assorbiti da alberi di susino in piena produzione (571 alberi, 20 t di frutti per ettari).

Organi	N kg ha ⁻¹	P kg ha ⁻¹	K kg ha ⁻¹	Ca kg ha ⁻¹	Mg kg ha ⁻¹	Fe kg ha ⁻¹	Mn kg ha ⁻¹	Zn kg ha ⁻¹	B kg ha ⁻¹
Rami di 1 anno	3,0	0,4	0,9	3,8	0,3	20,5	6,1	6,1	6,8
Branche di 2 anni	4,0	0,8	1,8	6,9	0,5	70,9	9,4	6,6	13,9
Branche di 3 anni + tronco	3,0	0,3	1,0	6,0	0,3	41,1	3,5	4,4	10,0
Radici	2,6	0,4	0,6	4,6	0,3	122,8	3,8	2,7	5,3
Foglie	73,0	5,8	66,4	69,9	10,0	0,0	338,3	107,3	152,5
Frutti (polpa)	27,6	4,4	45,2	1,6	1,4	26,0	14,0	14,0	104,0
Totale	113,2	12,1	115,9	92,8	12,8	281,3	375,1	141,1	292,5

Tabella 34.2. Schema di distribuzione di N, P e K (kg ha⁻¹) per impianti di susino cino-giapponese in funzione della produzione per ettaro.

Produzione (t ha⁻¹)	Epoche di distribuzione						
	Pre-germogliamento			42 giorni dopo germogliamento	Autunno (post-raccolta)		
	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	N	N	P ₂ O ₅	K ₂ O
8,2	20	10	60	20	20	10	60
15,3	32	15	90	32	32	15	90
20,0	40	20	120	40	40	20	120
23,5	64	25	150	64	64	25	150

Molto utili, infatti, risultano essere i periodici accertamenti della composizione chimica del terreno, che possono indicare l'insorgenza di eventuali squilibri nutritivi e consentire l'intervento tempestivo: per i valori di riferimento delle analisi del terreno si rimanda al contributo sul pesco nel presente manuale. In tabella 34.3 vengono riportati ulteriori approfondimenti. Relativamente alla composizione chimica delle foglie di susino corrispondenti allo stato nutritivo ottimale degli alberi, i dati sono riportati in tabella 34.4.

Tabella 34.3. Contenuto in potassio, magnesio e fosforo in terreni di diverso tipo e relative esigenze di somministrazione (contenuto in mg/100 g di terreno).

Livello fertilità	Tipo di terreno			Quantità da apportare (kg ha ⁻¹)
	sabbia > 60%	medio impasto	argilla > 35%	
K ₂ O				
Scarsa	10	12	15	200
Media	10-15	12-20	15-30	150
Elevata	15-20	20-30	30-40	10
MgO				
Scarsa	6	8	10	60
Media	6-10	8-15	10-18	35
Elevata	10	15	18	-
P ₂ O ₅				
Scarsa	10	10	10	100
Media	10-20	10-20	10-20	60
Elevata	20-30	20-30	20-30	30

Tabella 34.4. Composizione chimica fogliare corrispondente allo stato nutrizionale ottimale.

N (%)	P ₂ O ₅ (%)	K ₂ O (%)	CaO (%)	MgO (%)	Mn (ppm)	Zn (ppm)	Bo (ppm)	Cu (ppm)	Fe (ppm)
2,35	0,19	2,25		0,3					
2,35	0,20	2,25		0,3					
2,3/2,8	0,1-0,3	1,0	1,0	0,25	20,0	15	30-60	4	
3,0	0,25	3,0	2,0	0,45					
1,8/2,1	0,14-0,25	1,5-2,5	2,0-4,0	0,18	53-93	25-50	33-50	7-10	50-100
2,2/3,0	0,25-0,46	2,4-3,9	1,7-3,6	0,5-1,0	2,5-1,4		25-140	3-20	

34.4.3. Fabbisogno idrico e irrigazione

La pratica irrigua può comportare un aumento della produzione e della qualità del prodotto. Per conseguire questo duplice obiettivo sarà necessario mantenere il terreno alla capacità di campo nei periodi della fioritura, dell'allegagione e durante l'accrescimento dei frutti in modo da aumentare la pezzatura, considerando che il susino è più esigente di altre piante in fatto di acqua (anche oltre 9.000 m³, come è stato rilevato in California). A titolo di riferimento si riportano alcune indicazioni in tabella 34.5. Bisogna tenere conto dell'epoca di maturazione della cultivar considerata: per quelle precoci l'irrigazione troverà una sua giustificazione solo se l'andamento climatico primaverile sarà stato particolarmente siccitoso; per quelle tardive, invece, è

utile intervenire con un calendario appropriato di irrigazioni che terminerà alla raccolta.

Per quanto riguarda i sistemi d'impianto da adottare sono indubbiamente da preferire quelli microirrigui, sebbene richiedano maggior cura nella progettazione e manutenzione. L'irrigazione per aspersione soprachoma trova impiego in impianti di susino cino-giapponese, che data la sua maggiore precocità di fioritura rispetto al susino europeo, può servire come difesa antibrina.

Tabella 34.5. Volumi di adacquamento e turni per impianto microirriguo.

Mese	Restituzione idrica (mm g ⁻¹) ¹	Intervallo consigliato (giorni)	Pioggia (mm) ²
Aprile	Inerbato 0,8 Lavorato 0,7	1-4	1,0
Maggio	Inerbato 2,0 Lavorato 1,4	1-4	2,0
Giugno	Inerbato 3,5 Lavorato 2,5	1-4	3,0
Luglio	Inerbato 4,0 Lavorato 3,5	1-3	4,0
Agosto	Inerbato 3,7 Lavorato 3,0	1-3	3,5
Settembre	Inerbato 3,0 Lavorato 2,0	1-4	2,5

¹ Si intende il quantitativo di acqua da restituire alla coltura in base al suo fabbisogno idrico, distinta in base alla conduzione del suolo.

² mm di pioggia misurati con il pluviometro che fanno ritardare di un giorno l'intervento irriguo. Devono essere considerate nulle le piogge inferiori ai valori che ritardano l'irrigazione; allo stesso modo sono nulli i mm di pioggia eccedenti il volume di adacquamento prescelto.

34.4.4. Gestione del suolo

La prima operazione al momento della costituzione del nuovo impianto consiste nella sistemazione idraulico-agraria e nella la preparazione del terreno, che di norma prevede il livellamento, a cui fa seguito una lavorazione profonda seguita da una lavorazione più superficiale. Le lavorazioni profonde sono finalizzate all'accumulo di riserve idriche ed all'interramento e alla distribuzione della concimazione di fondo, mentre quelle superficiali prevedono il contenimento delle perdite idriche e delle infestanti. L'inerbimento è possibile dove non ci sono problemi di carenze idriche.

34.4.5. Impianto e allevamento

Differentemente dalle altre specie, lo studio delle forme di allevamento per questa specie è sempre stato molto vivace; va ricordato che l'orientamento attuale tende ad abbandonare rigidi schemi geometrici a favore di forme più libere che assecondano il modo naturale di vegetare e di fruttificare delle varie cultivar. Come per altre specie, le forme di allevamento del susino includono sia forme in volume che in parete.

Forme a Vaso

Tra le forme in volume si sta diffondendo da qualche anno, soprattutto nel Meridione, il vaso basso; questo, che ben si adatta a varietà a portamento intermedio, consente di sviluppare forme più libere della palmetta, senza fili o sostegni, e offre il vantaggio della raccolta da terra. Presenta distanze fra gli alberi variabile da 6,5 x 3,5 m a 5,5 x 2,5 m in funzione della fertilità del terreno, della vigoria del portinnesto, della varietà, dell'espansione della chioma; distanze superiori si adottano in coltura promiscua, inferiori in coltura specializzata. In impianti tradizionali si trova ancora il vaso a tre o più branche (distanze ampie, da 7 x 7 m a 5 x 5 m) e il vaso ritardato.

Forme a Palmetta

Sono, indubbiamente, le forme in parete più diffuse sia al Centro-Nord che al Sud. In presenza di terreni non troppo fertili, con varietà provviste di un limitato numero di rami anticipati e tendenzialmente basitone, si predilige la palmetta irregolare; questa presenta un sesto d'impianto variabile di 5-4,5 x 4,5-4 m. La palmetta libera, al contrario, è particolarmente diffusa nei terreni più fertili per cultivar ben dotate di rami anticipati (distanze d'allevamento 5 x 3-3,5 m). Entrambe consentono un'agevole raccolta dei frutti mediante i carri raccolta.

Forme a Fuso e Ipsilon (Y)

Per colture intensive vengono utilizzati il fuso e, nel meridione, l'ipson trasversale che consentono il raggiungimento delle 1.000 piante ad ettaro.

34.4.6. Potatura

La potatura di produzione del susino non presenta particolari difficoltà, sempre che si tenga presente il diverso modo di fruttificare delle due cultivar afferenti ai due gruppi pomologici (europeo e cino-giapponese).

Il susino europeo è caratterizzato da un periodo iniziale improduttivo, da una vigoria piuttosto elevata con portamento tendenzialmente assurgente; la fertilità è minore rispetto al susino cino-giapponese e la produzione è portata sui dardi fioriferi, in minor misura su brindilli e rami misti. Ciò comporta la necessità di eseguire interventi tali da garantire la formazione ed il

mantenimento di un adeguato numero di mazzetti di maggio: in generale, il rinnovo della vegetazione deve essere lento e graduale per garantire un elevato numero di gemme e preservare quei rami vigorosi atti a portare i dardi fioriferi. All'interno delle varietà, interventi cesori più energici potranno essere effettuati per quelle cultivar che producono su rami corti per evitare sovrapproduzione, più leggeri per cultivar che invece fruttificano su rami misti e brindilli.

Il susino cino-giapponese è caratterizzato da maggiore variabilità genetica rispetto all'*habitus* (da molto assurgente a molto espanso) e alla vigoria; la fertilità è maggiore e la differenziazione a fiore avviene sui dardi, brindilli, rami misti e rami anticipati. In questo caso è necessario effettuare ogni anno una regolare e costante potatura, in modo da avere un continuo rinnovo della vegetazione. Potature più energiche sono ammesse per le cultivar che fruttificano prevalentemente su rami misti e brindilli, mentre meno energiche per quelle varietà che producono molto sui mazzetti di maggio inseriti su branche di 2 o più anni.

La potatura verde consiste nella cimatura dei germogli vigorosi al fine di provocare l'emissione di brindilli deboli; l'eliminazione dei germogli apicali assurgenti o mal posizionati; la torsione e piegatura di germogli vigorosi, ai quali si vuole affidare un certo rinnovo produttivo. In condizioni favorevoli saranno più numerosi gli interventi nel Meridione rispetto al Nord Italia, dove il periodo vegetativo è più breve. Per aumentare la pezzatura e favorire la differenziazione a fiore, se necessario è possibile effettuare il diradamento dei frutticini, da effettuarsi manualmente subito dopo la cascola post-allegagione.

34.4.7. Problemi sanitari e rimedi

Fra le crittogame del susino diffuse nel nostro Paese si segnalano: Monilia (*Monilia laxa* e *Monilia fructigena*), Corineo (*Clasterosporium carpophilum*), Ruggine (*Tranzschelia prunispinosae*), Mal del piombo (*Stereum purpureum*), Marciumi radicali (*Verticillium*, *Armillaria* e *Rosellinia*). I principali accorgimenti agronomici per evitare l'insorgere di malattie fungine ed altri attacchi parassitari sono rappresentati da equilibrate concimazioni e corrette irrigazioni; inoltre vanno eliminate le fonti di inoculo, tramite potature e asportazione delle parti malate, e favorita l'aerazione della chioma.

Il cancro batterico (*Pseudomonas mors-prunorum*) è una delle malattie infettive più dannose: colpisce tutte le parti aeree; inizialmente si formano delle maculature nerastre nella pagina inferiore delle foglie che poi disseccano e cadono anticipatamente, mentre sui rami colpiti compaiono dei cancri corticali di forma allungata. Lo *Xanthomonas pruni* è l'agente della maculatura batterica che sta assumendo sempre più rilevanza a causa delle numerose varietà sensibili. Tra le virosi, la Sharka (*Plum pox virus*) è la malattia più dannosa per il susino e la sua presenza nella zona di coltivazione costituisce un grave pericolo. L'unica possibilità è la lotta preventiva attraverso l'uso di materiale

vivaistico virus-esente e certificato come da tempo avviene a seguito delle pressioni Ministeriali che impongono ai vivaisti controlli periodici dei vivai e delle piante madri, nonché la denuncia delle fonti di approvvigionamento del materiale di propagazione.

Gli insetti che provocano danni di interesse economico al susino sono pochi; tra essi è da annoverare la tignola (*Laspeyresia funebrana*) che colpisce i frutticini facendoli cadere, con la prima generazione, e successivamente i frutti ingrossati, con la seconda o la terza generazione nelle varietà tardive. L'accavallarsi delle generazioni rende difficile determinare bene la soglia di intervento con l'utilizzo delle trappole innescate con attrattivo sessuale di sintesi; il metodo della confusione sessuale mediante l'uso di erogatori di feromoni può essere applicato solo nei frutteti di una certa dimensione. Altri parassiti sono rappresentati dagli afidi (afide verde e afide farinoso del susino), tentredini e tripidi.

Anche i nematodi che attaccano il susino sono numerosi, specie quelli del genere *Meloidogyne* che si insediano nell'apparato radicale: per l'eliminazione è opportuno porre particolare attenzione all'estirpazione del vecchio impianto e, se ritenuto indispensabile, effettuare appropriati trattamenti pre-impianto; si consiglia inoltre l'uso di portinnesti resistenti. In caso di reimpianto sarà opportuno considerare la possibilità che il terreno sia affetto da stanchezza, fenomeno che, sebbene non frequentissimo nel susino, non è tuttavia da escludere. Nel caso del susino questo fenomeno può essere dovuto alla presenza nel suolo di un fungo, la *Thielaviopsis basicola*, che può attaccare le radici degli alberi giovani durante i primi anni di vita del frutteto.

Patologie da carenze nutritive

Carenza di azoto

La vegetazione resta stentata, l'accrescimento dei germogli è scarso; le foglie sono più piccole e, a completo sviluppo, di colore uniformemente verde-pallido, spesso si riscontrano necrosi marginali, arrossamenti e precoce filloptosi.

Carenza di potassio

Nelle foglie più vecchie compaiono necrosi marginali e apicali e sollevamento del margine; i rametti si seccano. Il susino europeo è più sensibile di quello cino-giapponese; inoltre, la carenza ha conseguenze più gravi in piante con elevata carica di frutti ed è più frequente in terreni sabbiosi. Il potassio interagisce con il metabolismo azotato causando una ridotta traspirazione.

Carenza di boro

Compare più frequentemente in terreni sabbiosi, o acidi, o in suoli con contenuto organico, oppure in terreni alcalini, con elevate quantità di calcare attivo. Nei frutti si formano depressioni e imbrunimenti, e cadono

precocemente; anche i germogli spesso muoiono e se ne sviluppano di anticipati (*bush branched* per gli anglosassoni). La carenza di boro riduce l'allegagione e l'entità della produzione, ma anche l'eccesso è pericoloso perché provoca scarsa produzione di frutti, necrosi dei germogli e danneggiamenti alle foglie.

Carenza di ferro

Può essere determinata da eccesso di calcare attivo nel terreno (il Damasco tollera fino al 10%), da pH elevato e da alte quantità di azoto e fosforo o da altri squilibri nutrizionali. Si manifesta con le classiche clorosi su foglie e germogli che arrestano subito l'accrescimento. Somministrazioni ripetute di chelati di ferro risultano molto efficaci, ma alquanto costose.

Carenza di rame

Compare più facilmente in terreni ad elevato contenuto organico e in quelli calcarei e alcalini, con sintomi simili a quelli da eccesso di boro. Risultano efficaci i trattamenti con solfato di rame.

Carenza di zinco

Più frequente in terreni sabbiosi con elevato pH, è caratterizzata dalla presenza di foglie piccole, deformate, clorotiche nel tratto terminale dei germogli; in genere sono efficaci soltanto i trattamenti epigei con solfato di zinco durante la stagione vegetativa.

34.5. Caratteri ambientali per la coltivazione del susino

Il susino è una pianta tipica delle zone temperate, risultando coltivato dall'Europa meridionale fino alle zone più settentrionali del nostro continente. In Italia, le condizioni climatico-ambientali consiglierebbero di adottare il susino europeo nelle zone del Centro-Nord, più fredde e umide, ed il susino cino-giapponese in quelle meridionali ed insulari, più temperate ad asciutte. Inizialmente, quest'ultimo gruppo ha preso piede proprio nelle aree settentrionali del nostro Paese, dove ha registrato notevoli insuccessi dovuti alla difficoltà di ambientamento delle cultivar di recente costituzione, provenienti per lo più dalla California. Conseguentemente questo ha generato una certa disaffezione del susinicoltore del Nord per le cultivar cino-giapponesi, inaffidabili dal punto di vista produttivo e fitosanitario, sebbene più interessanti sotto l'aspetto pomologico rispetto al susino europeo. Da alcuni anni il susino cino-giapponese è stato introdotto anche nelle aree meridionali, dove ha trovato un ambiente climatico più congeniale alle proprie caratteristiche. Queste premesse costituiscono il presupposto per una favorevole espansione dalla coltura del susino cino-giapponese al Sud, dove però non si dispone ancora di appropriate conoscenze sulle tecniche colturali da adottare. Da ciò il bisogno non di trasferire al Sud le tecniche colturali in

uso nel Centro-Nord, ma di metterne a punto di nuove, specifiche per quelle condizioni pedoclimatiche in funzione delle diversità esistenti tra le numerose cultivar disponibili.

Il susino europeo ha un'epoca di fioritura più tardiva che gli consente di sfuggire ai freddi di fine inverno e primaverili, ma ha anche un maggior fabbisogno in freddo (700-1.700 CU), tanto che, come sopra riportato, la maggior parte delle cultivar si adattano male al Sud, mentre il susino cino-giapponese ha un fabbisogno in freddo di 600-1.300 CU, una maggiore sensibilità ai ritorni di freddo primaverili, ma in compenso possiede una maggiore capacità di adattamento agli ambienti del Sud. Per migliorare l'adattabilità ambientale è necessario l'uso di portinnesti che inducano una maggiore resistenza al freddo.

In definitiva, il susino predilige comunque ambienti poco umidi e ventosi, soleggiati e molto caldi in prefioritura, essendo una specie esigente in fatto di GDH (*Growing Degree Hours*).

34.6. Caratteri funzionali del suolo

34.6.1. Profondità del suolo

In condizioni normali, la maggior parte delle radici si sviluppa nei primi 60-80 cm di profondità; ciò non toglie che suoli profondi più di 100 cm assicurano condizioni ideali per lo sviluppo delle radici di piante innestate su portinnesti quali quelli indicati in tabella 34.7, che garantiscono tutti (con la parziale eccezione del Mirabolano 29C) la formazione di un apparato radicale espanso e profondo.

34.6.2. Tessitura e fessurazione

In generale, il susino innestato su Mirabolani predilige terreni di tessitura media, moderatamente fine o moderatamente grossolana, mentre incontra limitazioni moderate della crescita in presenza di terreni con tessitura fine o grossolana. Nel caso di piante innestate su Ishtara, anche suoli con tessitura moderatamente fine inducono moderate limitazioni della crescita, mentre risultano non idonei i terreni a tessitura grossolana o fine. Il susino è pianta che incontra severe limitazioni in terreni ben dotati di argille espandibili; solo in presenza di bassi livelli di fessurazione non si riscontrano problemi a carico dell'accrescimento e della funzionalità delle radici.

34.6.3. Salinità e sodicità

I valori di salinità tollerati sono inferiori a $0,4 \text{ dS m}^{-1}$; la percentuale massima tollerata di sodio scambiabile (ESP) è intorno all'8-10%. È sempre necessario controllare la qualità dell'acqua d'irrigazione, poiché l'uso prolungato di acque salmastre può provocare seri problemi (tabella 34.6), soprattutto in ambienti con precipitazioni atmosferiche insufficienti a dilavare i sali che si accumulano nel terreno.

Tabella 34.6. Limiti di resistenza alla salsedine (kg ha^{-1} in 1,2 m di profondità) del susino.

ELEMENTI	VALORI
Solfato (solfato sodico)	10.200
Carbonato (carbonato sodico)	1.530
Cloruri (cloruro sodico)	1.360
Salsedine totale	13.300

34.6.4. Rischio di inondazione

I fenomeni di ristagno idrico rappresentano un grave ostacolo alla crescita del susino. Soltanto le superfici in cui il rischio di inondazione è nullo o raro sono da ritenersi esenti da limitazioni della crescita.

Riguardo alla durata della sommersione, i portinnesti di Mirabolano resistono in misura superiore, rispetto a quelli di altre specie (ad esempio, pesco e albicocco), a condizioni asfittiche del terreno; la maggiore resistenza sarebbe correlata ad una minore produzione di acido cianidrico nelle radici in condizioni di anaerobiosi. Diversamente, i susini su ibrido Ishtara, su pesco-mandorlo (GF 677) e pesco, sono più sensibili all'asfissia radicale; occorre quindi evitare che si instaurino, soprattutto in fase vegetativa, condizioni di saturazione per periodi superiori alle 48 ore in quanto, oltre alla compromissione dell'attività radicale, tali situazioni possono favorire l'insorgenza di patologie fungine quali il marciume del colletto (*Phytophthora cactorum*).

36.6.5. Disponibilità di ossigeno

La disponibilità di ossigeno è inversamente correlata al contenuto idrico e alla densità del suolo. Riguardo a questo carattere funzionale vale quindi per il susino quanto riportato circa la suscettibilità alla durata della sommersione. Le piante innestate sull'ibrido interspecifico Ishtara sono più esigenti rispetto a quelle sui portinnesti di Mirabolano e non subiranno limitazioni della crescita solo se messe a dimora in suoli con elevata conducibilità idraulica e privi di segni di idromorfia (screziature) nella zona interessata dall'apparato radicale.

34.6.6. Reazione (pH)

Nei confronti del pH, il susino preferisce terreni a reazione tendenzialmente neutra (6,5-7,5); sono assolutamente da evitare suoli con pH < 5,5 e > 8,5.

34.6.7. Calcare attivo

Il susino è mediamente resistente al calcare attivo; se innestato su Mirabolano non va incontro a limitazioni fino a contenuti di calcare attivo del 7%; più sensibili si dimostrano le piante innestate sull'ibrido interspecifico Ishtara, per le quali è consigliabile l'utilizzo su terreni con livelli di calcare attivo inferiore al 5%.

34.6.8. Schema di valutazione

Si riporta (tabella 34.7) lo schema di valutazione delle limitazioni pedologiche alla crescita del susino su portinnesti diversi, elaborato da I.TER nell'ambito del progetto "Catalogo dei suoli della pianura emiliano romagnola" finanziato dal Servizio Sviluppo Sistema Agro-alimentare ai fini della L.R.52/92 e revisionato da Paola Pirazzini (CISA M. Neri) e Carla Scotti (I.TER) nel dicembre 2005.

Tabella 34.7. Schema di valutazione delle limitazioni pedologiche alla crescita del susino su diversi portinnesti.

Caratteristiche pedologiche	Gruppi di portinnesti	Intensità delle limitazioni		
		Assenti o lievi	Moderate	Severe
Profondità utile alle radici (cm)	Mirabolano da seme, Mirab. 29C, Mr.S. 2/5, Ibrido interspecifico Ishtara	> 100	50 - 100	< 50
Tessitura	Mirabolano da seme, Mirab. 29C, Mr.S. 2/5	media, moder. fine, moder. grossolana	grossolana, fine	
	Ibrido interspecifico Ishtara	media, moder. grossolana	moderatamente fine	grossolana, fine
Fessurazione	Mirabolano da seme, Mirab. 29C, Mr.S. 2/5, Ibrido interspecifico Ishtara	bassa		media, forte
Salinità (EC 1:5 dS m ⁻¹)	Mirabolano da seme, Mirab. 29C, Mr.S. 2/5, Ibrido interspecifico Ishtara	< 0,2	0,2 – 0,4	> 0,4
Sodicità (ESP)	Mirabolano da seme, Mirab. 29C, Mr.S. 2/5, Ibrido interspecifico Ishtara	< 5	5 - 10	> 10
Rischio di inondazione: inondabilità	Mirabolano da seme, Mirab. 29C, Mr.S. 2/5, Ibrido interspecifico Ishtara	assente o lieve	moderato	alto
Rischio di inondazione: durata	Mirabolano da seme, Mirab. 29C, Mr.S. 2/5	estremamente breve, molto breve, breve	lunga	molto lunga
	Ibrido interspecifico Ishtara	estremamente breve, molto breve	breve	lunga, molto lunga
Disponibilità di ossigeno	Mirabolano da seme, Mirab. 29C, Mr.S. 2/5	buona, moderata		imperfetta, scarsa, molto scarsa
	Ibrido interspecifico Ishtara	buona	moderata	imperfetta, scarsa, molto scarsa
Reazione (pH)	Mirabolano da seme, Mirab. 29C, Ibrido interspecifico Ishtara	6,5 – 7,5	5,5-6,5; 7,5-8,5	< 5,5; > 8,5
Calcare attivo (%)	Mirabolano da seme, Mirab. 29C	< 7	7 - 10	> 10
	Ibrido interspecifico Ishtara	< 5	5 - 9	> 9

Bibliografia di riferimento

- AA., VV., 1991. *Frutticoltura speciale*. Reda, Roma.
- AA., VV., 1996.. *Linee tecniche di produzione integrata*. Susino. Suppl. Terra e Vita, 26.
- BALDINI, E., 1986. *Arboricoltura Generale*. CLUEB, Bologna.
- BALDINI, E., SCARAMUZZI, F., 1981. *Frutticoltura anni 80 - Il susino*. REDA, Roma.
- BELLINI, E., 1991. *Il rinnovamento varietale del susino*. L'Informatore Agrario, 34.
- BELLINI, E., BINI, G., 1978. *La fertilità del susino*. Atti Seminario sulla fertilità delle piante da frutto. Bologna, 15 dicembre. Rivista di Ortoflorofrutticoltura, 4.
- BELLINI, E., NENCETTI, V., NIN, S., 1999. *La coltivazione in Italia del susino cino-giapponese*. L'Informatore Agrario, 29, 60-69.
- BELLINI, E., PISANI, P.L., 1982. *Susine. Agrumi, frutta e uve nella Firenze di Bartolomeo Bimbi pittore mediceo*. C.N.R., Firenze.
- FAO, 2004. www.fao.org.
- FIDEGHELLI, C., 2003. *La coltura delle drupacee nel mondo*. L'Informatore Agrario, 19, 55-62.
- INSERO, O., NENCETTI, V., BELLINI, E., NATARELLI, L., LIVERANI, A., REGA, P., 2005. *Speciale Liste varietali in frutticoltura 2005. Susino*. Suppl. Terra e Vita, 24, 91-96.
- ISTAT, 2004. www.istat.it.
- LANDI, R., 1999. *Agronomia e ambiente*. Edagricole, Bologna.
- MATTA, A., 2000. *Fondamenti di patologia vegetale*. Patron Editore, Bologna.
- MORETTINI, A., 1963. *Frutticoltura generale e speciale*. REDA, Roma.
- NASI, F., LAZZAROTO, R., GHISI, R., 1994. *Coltivazioni arboree*. Liviana Editrice, Padova.
- NENCETTI, V., BELLINI, E., NATARELLI, L., LIVERANI, A., INSERO, O., CONTE, L., 2004. *Liste varietali dei fruttiferi 2004. Susino*. Suppl., L'Informatore Agrario, 24, 78-82.
- REGIONE CAMPANIA, 2004. *Disciplinari di agricoltura integrata della Regione Campania - parte speciale - susino*. 6, 29- 34. www.sito.regione.campania.it/agricoltura/disciplinari/susino.pdf.
- REGIONE EMILIA-ROMAGNA, 2005. *Disciplinare di produzione integrata del susino*. www.ermesagricoltura.it/wcm/ermesagricoltura/consigli_tecnici/disciplinari/sezione_disciplinari/s_nome_coltura/s_frutticole/s_susino.htm.
- WATKINS, R., 1976. *Cherry, plum, peach, apricot and almond*. In: Evolution of crops plants (Ed. Simmonds N.W.), Longman, London.

Ministero delle Politiche Agricole, Alimentari e Forestali
Osservatorio Nazionale Pedologico e per la Qualità del Suolo Agricolo e Forestale

In collaborazione con:
International Union of Soil Sciences
Società Italiana della Scienza del Suolo
Commissione VI - Uso e Conservazione del Suolo

BELLINI, E., GIORDANI, E., MORELLI, D., 2006. *Il ciliegio*. In: Costantini, E.A.C. (Ed.), *Metodi di valutazione dei suoli e delle terre*, Cantagalli, Siena, pp. 922.

Collana dei metodi analitici per l'agricoltura diretta da Paolo Sequi, vol. 7

CRA - Consiglio per la Ricerca e la Sperimentazione in Agricoltura
Istituto Sperimentale per lo Studio e la Difesa del Suolo, Firenze

35. Il ciliegio

Elvio Bellini¹, Edgardo Giordani¹, Daniele Morelli¹

35.1. Specie, prodotti, usi	3
35.2. Varietà e impollinatori.....	4
35.2.1. Varietà	4
35.2.2. Impollinatori	6
35.3. Portinnesti	6
35.4. Esigenze della pianta e tecniche colturali.....	8
35.4.1. Clima.....	8
35.4.2. Fertilizzazione	8
35.4.3. Fabbisogno idrico e irrigazione.....	9
35.4.4. Gestione del suolo.....	9
35.4.5. Impianto e allevamento	10
35.4.6. Potatura.....	12
35.4.7. Problemi sanitari e rimedi.....	12
35.5. Attitudine ambientale alla coltivazione del ciliegio.....	13
35.6. Caratteri funzionali del suolo	14
35.6.1. Profondità del suolo	14
35.6.2. Tessitura e fessurazione	14
35.6.3. Salinità e sodicità	15
35.6.4. Rischio d'inondazione.....	15
35.6.5. Disponibilità d'ossigeno.....	15
35.6.6. Reazione (pH).....	15
35.6.7. Calcare attivo	15
35.6.8. Schema di valutazione	16
Bibliografia di riferimento.....	17

¹ Università degli Studi di Firenze - Facoltà di Agraria, Dipartimento di Ortoflorofrutticoltura

35.1. Specie, prodotti, usi

Il ciliegio, sia dolce (*Prunus avium*) che acido (*Prunus cerasus*), è una specie originaria di un'area compresa fra le coste del Mar Nero e del Mar Caspio, da dove si è poi diffuso in numerosi Paesi. Il frutto è una drupa, la cui tipologia è molto differente se parliamo di ciliegio dolce o ciliegio acido. Nel ciliegio dolce troviamo frutti a buccia rosso scura, dal gusto dolce che si differenziano in tenerine (*heart cherries*, degli inglesi e *guignes*, dei francesi), cuoriformi a polpa molle dal *P. avium* var. *juliana*, e in duri (*bigarreaux*, degli inglesi e dei francesi), dal frutto più grosso a polpa molto consistente che esigono alla

Ordine: ROSALES

Famiglia: ROSACEAE

Sottofamiglia: PRUNOIDEAE

Genere: PRUNUS

Specie:

Prunus avium L. (ciliegio dolce, diploide)

Prunus cerasus L. (ciliegio acido, tetraploide)

Altre specie interessanti:

P. mahaleb L. (Megaleppo o ciliegio di S. Lucia, soprattutto come portinnesto)

P. fruticosa Pall. (per portinnesti)

P. canescens (per portinnesti)

Appartengono altre specie da frutto e ornamentali, raramente impiegate per ibridazioni:

P. pumila L. (ciliegio occidentale delle sabbie, per la resistenza al freddo)

P. pseudocerasus L. (ciliegio da fiore giapponese, ornamentale)

raccolta il peduncolo, dal *P. avium* var. *duracina*. Nel ciliegio acido si annoverano le amarene o marasconi (*amarels* dei francesi e *kentish cherries* degli inglesi), caratterizzate da un frutto piuttosto grosso, dalla buccia color rosso chiaro, succo incolore e poco acidulo, derivanti dal *P. alfa cerasus* var. *caproniana*.

Le visciole (*griottes* dei francesi e *morellos* degli inglesi), dal frutto sferico, buccia rosso scura, colore del succo scuro e sapore asprigno, di derivazione *P. beta cerasus* var. *austera*. Infine ci sono le marasche (così univocamente chiamate anche da francesi e inglesi), dal frutto piccolo, dalla buccia e dal succo molto scuro, caratterizzate da un sapore amarognolo e molto acido, derivate dal *P. cerasus* var. *marasca*. La maggior parte delle ciliegie, principalmente quelle dolci, si consumano fresche (circa il 75-80% del prodotto); la restante parte, soprattutto quelle acide, è destinata all'industria per marmellate, confetture, gelatine, prodotti sciroppati o sotto spirito, canditi, succhi, sciroppi, distillati.

Le ciliegie hanno un contenuto in zuccheri piuttosto elevato (circa il 13%): il fruttosio è lo zucchero principale. L'acido organico principale è il maleico, che rappresenta il 75-95% del totale degli acidi non volatili. L'apporto di vitamina A varia da 19 a 24 µg 100g⁻¹ di frutto edule, quello di vitamina C da 13 a 56 µg 100g⁻¹ di frutto edule e dipende dalla varietà.

A fronte di una produzione mondiale (FAO, 2004) stimata di 1.875.000 t circa, i principali paesi produttori sono: Turchia (265.000 t), Stati Uniti (250.000 t), Iran (224.000 t), Germania (120.000 t), Russia (100.000 t), Italia (89.000 t) e Spagna (61.000 t). In Italia la coltura è diffusa praticamente in tutto

il territorio nazionale, soprattutto in collina e nella bassa montagna, con netta prevalenza del ciliegio dolce (circa il 90% della produzione). Tra le regioni italiane maggiormente interessate (ISTAT, 2004) troviamo Campania (26.400 t) e Puglia (25.838 t), Veneto (17.968 t) e Emilia Romagna (11.747 t). Negli ultimi anni stiamo assistendo ad un ulteriore incremento della coltivazione del ciliegio nelle regioni del Sud, che possono contare su condizioni climatiche particolarmente favorevoli. Va ricordato che l'arco di maturazione delle ciliegie è molto limitato (maggio-luglio), per tale ragione le primizie sono particolarmente richieste e raggiungono prezzi molto elevati.

35.2. Varietà e impollinatori

35.2.1. Varietà

Nell'ultimo ventennio si è assistito al licenziamento di un elevato numero di nuove cultivar, che testimonia la forte attività del lavoro di *breeding* e la sentita richiesta di nuove varietà in grado di migliorare gli standard pomologici, la produttività e l'ampliamento del calendario di maturazione (oggi fermo ad appena cinque settimane di raccolta).

Grazie al lavoro condotto nell'ambito del Progetto MiPAF "Liste di orientamento varietale dei fruttiferi" nelle tre principali macro-zone: quella alpina (fondovalle di Trento, la Valsugana e la pedecollina piemontese), quella pianeggiante (pianura padano-veneta e la provincia di Ancona) ed il Sud (unità operative di Bari, Caserta, Cagliari e Catanzaro); è possibile fornire ai frutticoltori e ai tecnici una corretta scelta di varietà di ciliegio dolce.

Varietà a maturazione precoce

Fino a qualche anno fa, la stagione si apriva con la raccolta dei "*bigarreau*" *Burlat* e *Moreau* (e relativi cloni C1 e B); oggi è possibile anticipare la raccolta di qualche giorno con tre nuove varietà: *Early Magyar* (-5 giorni secondo l'ambiente, rispetto a *Burlat* che si raccoglie dal 5 al 10 giugno nelle zone alpine, dal 25 al 30 maggio nella pianura padana, dal 20 al 25 maggio al Sud), *Early Lory** (4), d'origine francese, e *Sweet Early*® *Panaro 1** (-3), italiana, in grado di migliorare l'aspetto produttivo e pomologico; la prima e la terza varietà sono autofertili. Nella settimana successiva a *Burlat*, matura *Burlat C1* e *Moreau*, l'autofertile *Isabella** e *Early Star*® *Panaro 2** (+16), seguita dalla californiana *Brooks** (+10), valutata solamente nelle pianure del Nord. Questo gruppo è caratterizzato da maturazioni piuttosto scalari (tranne *Sweet Early*®) ed elevata suscettibilità dei frutti alle spaccature da piogge durante la

* Questo simbolo indica che la cultivar è protetta.

® Questo simbolo indica "marchio registrato".

maturazione (*cracking*), per cui sono raccomandati sistemi di difesa soprachioda dei filari con coperture plastiche (reti e teli).

Varietà a maturazione medio-precoce

In questo gruppo troviamo varietà di ciliegie paragonabili per pezzatura del frutto (> 9 g), consistenza della polpa, aspetto, sapore ed elevate performance produttive (Giorgia, +12, è la migliore in assoluto praticamente ovunque). Sono varietà collaudate per tutti gli ambienti: le canadesi Celeste®(+10) e New Star (+14), la californiana Garnet® Magar*, le italiane Adriana e Grace Star*. A queste si aggiungono le recentissime Feu 5® Royalton e Vanda*, tutte autofertili d'origine straniera.

Varietà a maturazione intermedia

Questa parte centrale di calendario (terza settimana di raccolta) vede la presenza di varietà tradizionali autoctone di Emilia Romagna, Veneto e Campania, insieme ad alcune varietà di origine canadese (Van, +18, ottima ovunque; Samba®Sumste*, non molto produttiva; Cristallina®Sumnue*, che unisce produttività e sapore; Canada Giant®Sumgita), statunitense (Starking Hardy Giant, con frutti di mediocre pezzatura), francese (Big Lory*, dalla bassa produttività) e italiana (Blaze Star* e Black Star*, caratterizzate da bassa suscettibilità al *cracking*).

Varietà a maturazione medio-tardiva

Oltre alle varietà ampiamente collaudate come Ferrovia (+23), *Sylvia* e *Lapins*, dai bei frutti resistenti al *cracking*, troviamo alcuni genotipi locali tuttora importanti per la cerasicoltura: Durone dell'Anella Tardivo e Durone Nero II (+24) in Emilia e Della Recca in Campania. Tra le altre si segnalano varietà tedesche dalle buone caratteristiche del frutto come Germersdorfer e Summerland; buone per l'arco alpino e nella pianura padano-veneta risultano Badacsony e Noire de Meched. Interessanti si presentano anche Kordia, Lala Star* e Linda.

Varietà a maturazione tardiva

Vi si trovano varietà collaudate come le canadesi Sweetheart®Sumtare* (+35), che hanno dimostrato una buona plasticità ambientale. Stessi risultati stanno raggiungendo alcune varietà in sperimentazione, come le autofertili Durone Tardivo di Valstaffora, italiana, e Regina, tedesca. Skeena* è una ciliegia autofertile canadese in grado di fornire risultati più che discreti nei diversi ambienti, è apprezzata per la buona qualità dei frutti in termine di pezzatura, aspetto, consistenza e sapore. Le proposte per il periodo tardivo e molto tardivo vanno arricchendosi con nuove cultivar in corso di valutazione, tra cui si segnalano: Symphony® Selina* e Summer Charm® Staccato* (canadesi) e Late (francese), in grado di portare a sei settimane il periodo di raccolta del ciliegio.

35.2.2. Impollinatori

Quasi tutte le vecchie cultivar di ciliegio dolce sono autoincompatibili per sterilità gametofitica; numerosi sono anche i casi d'interincompatibilità. L'impollinazione è entomofila; il fiore è molto attraente per le api, producendo 2-5 mg di nettare al giorno e con una concentrazione di 20-40% di zuccheri. Di contro si segnala una recettività dello stimma molto breve, per cui è corto il periodo utile all'impollinazione. È quindi necessario ricorrere alla consociazione con impollinatori (12-20%, in funzione della coincidenza di fioritura) ed all'introduzione nel ciliegeto d'alveari (4-8 ha⁻¹). Fortunatamente, buona parte delle nuove cultivar sono autofertili, con produttività in genere elevata e costante.

35.3. Portinnesti

I portinnesti tradizionali del ciliegio attualmente più utilizzati appartengono a 3 specie: *P. avium* (c. dolce), *P. mahaleb* (Megaleppo o ciliegio di Santa Lucia), *P. cerasus* (c. acido). Ne esistono poi molti ottenuti mediante ibridazione, tra cui il più importante è il Colt.

Portinnesti di Prunus avium

Il franco di ciliegio dolce è il più vigoroso, con portamento assurgente, affine con tutte le cultivar e con scarsa attività pollonifera. È provvisto d'apparato radicale robusto, espanso e superficiale, ma fornisce un buon ancoraggio; è poco adatto al ristoppio. Resiste ad *Armillaria mellea* e *Phytophthora*, mentre è sensibile a *Verticillium* ed ai nematodi. Molto rustico, viene impiegato dove non è consentito l'uso del Megaleppo. La selezione di franco Mazzard F 12/1 è stata oramai abbandonata per l'elevata vigoria e l'insoddisfacente produttività e qualità dei frutti.

Portinnesti di Prunus mahaleb

Il Megaleppo presenta ottima affinità con il ciliegio acido, mentre manifesta spesso disaffinità con il ciliegio dolce. È molto sensibile ad *Agrobacterium tumefaciens* ed a molte fitopatie radicali come *Armillaria* e *Verticillium*. L'apparato radicale è fittonante, con ottimo ancoraggio e scarsa attività pollonifera. La vigoria è inferiore al franco, ma varia in relazione all'origine dei semi; anche l'efficienza produttiva e la produttività sono superiori al franco. Tra le selezioni clonali ricordiamo SL 64, da preferire al Megaleppo da seme, del quale mantiene tutte le caratteristiche positive, con una vigoria inferiore al franco del 20% e piante omogenee.

Portinnesti di Prunus cerasus e P. canescens

Il *P. cerasus* è meno vigoroso e tende ad assumere un portamento cespuglioso e policaule; tuttavia, è il soggetto meno preferito per il ciliegio dolce a causa di frequenti casi di disaffinità e della forte attitudine pollonifera. Esige terreni freschi e presenta buona resistenza ai parassiti. Rispetto al *P. avium* induce una più precoce entrata in produzione ed una mole più contenuta. Tra le selezioni clonali di ciliegio acido ricordiamo CAB 6 P, adatto a vari tipi di terreno, che induce un vigore inferiore del 20% circa rispetto al franco. Il Tabel®Edabriz* induce una vigoria inferiore all'F 12/1 di circa il 50%; ha un ottimo ancoraggio, ma risulta sensibile alla siccità ed alla *Phytophthora*.

Inoltre, tra le selezioni di *P. cerasus* interessanti, sono da ricordare la Serie P-HL, che induce elevata produttività, ma scarso ancoraggio, e Adara che presenta buona affinità d'innesto con molte varietà di ciliegio dolce.

Molto simile al CAB 6 P per vigoria indotta è il Camil®GM 79 (selezione clonale di *P. canescens*), ma con alberi meno compatti e di più facile raccolta. La sua entrata in produzione è precoce e la fertilità elevata, così come la produttività e l'efficienza produttiva; è molto sensibile alle crittogame e all'*A. tumefaciens*.

Portinnesti ibridi

Il Colt®(*P. avium* x *P. pseudocerasus*) è un portinnesto clonale ottenuto a East Malling, primo fra gli interspecifici di ciliegio ad essere diffuso; ha risposto solo in parte al controllo della vigoria del ciliegio dolce. Pur con apparato radicale superficiale, presenta un buon ancoraggio, tollera la *Phytophthora* ed ha elevata resistenza alla stanchezza. È poco resistente agli stress idrici e all'*A. tumefaciens*. Anticipa l'entrata in produzione ed ha una migliore efficienza produttiva del franco; la vigoria è inferiore del 10-15%, ma in terreni profondi e fertili a volte lo supera. Da menzionare sono anche MaxMa DELBARD®14 Brokforest* e MaxMa DELBARD®97 Brokgrove*, ibridi di *P. mahaleb* x *P. avium*. Il primo, caratterizzato da buona affinità di innesto, scarsa attività pollonifera e grande adattabilità alle varie condizioni pedoclimatiche, resistente al cancro batterico e alla clorosi ferrica, è quello che induce minor vigore e la più precoce entrata in produzione; il secondo, mantiene le stesse caratteristiche del precedente, ma è leggermente più vigoroso e caratterizzato da grande rusticità, buona affinità, precoce entrata in produzione e scarsa attività pollonifera.

Altri portinnesti non sono moltiplicati in Italia, ma nei campi sperimentali si stanno valutando le loro possibilità; tra questi ricordiamo: Weiroot®158 (*P. cerasus* x *P. avium*), interessante per l'intensificazione degli impianti di ciliegio, e GISELA®5 (*P. cerasus* x *P. canescens*), di medio vigore, che conferisce precoce entrata in produzione ed elevata produttività ed efficienza, oltre alla buona dimensione dei frutti.

35.4. Esigenze della pianta e tecniche colturali

35.4.1. *Clima*

Il ciliegio è una pianta che predilige climi piuttosto miti: non ama quindi i forti freddi invernali, pur essendo mediamente resistente, e neppure gli eccessi termici estivi. Risulta particolarmente esigente per quanto riguarda le condizioni climatiche nei periodi primaverili; rifugge, infatti, le zone soggette a ritorni di freddo, particolarmente in prossimità o durante la fioritura. In Europa il ciliegio trova ampio adattamento alle condizioni temperato-calde e temperato-fredde. Vanno evitate le zone dove sono frequenti le piogge prolungate nel periodo di fioritura perché ne ostacolano l'allegagione, e, durante la maturazione dei frutti, ne provocano la spaccatura. Non gradisce i venti forti durante la fioritura e l'accrescimento dei frutti. In definitiva, il clima ideale è rappresentato da inverni miti, primavere temperate asciutte, estati non eccessivamente calde e una buona distribuzione delle piogge durante il corso dell'anno. Il suo fabbisogno in freddo è piuttosto elevato rispetto alle altre specie; oscilla tra le 500 e le 1.450 CU (unità o ore di freddo con temperatura compresa tra 1,5 e 12,5 °C) per il ciliegio dolce e tra le 600 e le 1.500 CU per il ciliegio acido.

35.4.2. *Fertilizzazione*

Come per le altre specie arboree da frutto, va assicurata una corretta concimazione di fondo in fase d'impianto, con una particolare attenzione rivolta all'azoto per favorire una rapida costituzione dello scheletro. In seguito la concimazione di produzione deve essere programmata in funzione delle asportazioni, della natura del terreno e della diagnostica fogliare (da effettuarsi una settimana prima della raccolta). Al pari delle altre drupacee, l'azoto va distribuito in due volte, un terzo in allegazione, il restante fra agosto e ottobre, in quantità variabile in base al vigore delle piante ed alla produzione, con quantitativi da 50 a 80 kg ha⁻¹ (massimo quantitativo ammesso dal Disciplinaire di produzione integrata Regione Emilia Romagna, 2005); nei terreni non irrigati di collina si può fare una sola distribuzione in febbraio preferendo l'urea per l'azione più prolungata. Nella fertilizzazione azotata va posta attenzione al fine di evitare un'eccessiva spinta vegetativa che predispone i frutti alle spaccature. Per la qualità dei frutti risulta importante la concimazione potassica, da eseguirsi annualmente in autunno con 80-200 kg ha⁻¹ di K₂O a seconda della produzione precedentemente avuta. Per il fosforo, dovrebbe essere sufficiente un apporto autunnale ad anni alterni di 50-100 kg ha⁻¹ di P₂O₅. La fertirrigazione sta assumendo sempre maggiore importanza nei nuovi impianti specializzati, specialmente per la distribuzione di microelementi carenti.

35.4.3. Fabbisogno idrico e irrigazione

L'estrema variabilità degli ambienti di coltivazione del ciliegio e l'introduzione di nuovi portinnesti non consente di fornire indicazioni universalmente valide circa le modalità e le quantità d'acqua irrigua da somministrare. L'irrigazione è comunque una pratica indispensabile nei nuovi impianti specializzati ad elevata densità, nei quali si ricorre di norma alla microirrigazione (tabella 35. 1).

Tabella 35.1. Restituzione idrica in mm giorno⁻¹ per un ottimale sviluppo del ciliegio.

Mese	Restituzione idrica (mm g ⁻¹) [#] interfilare inerbito	Restituzione idrica (mm g ⁻¹) [#] interfilare lavorato
Aprile	1,0	0,7
Maggio	2,2	1,3
Giugno	4,1	2,5
Luglio	5,1	3,1
Agosto	2,5	1,2
Settembre	2,4	1,1

[#] S'intende il quantitativo di acqua da restituire alla coltura in base al suo fabbisogno idrico. Devono essere considerate nulle le piogge inferiori ai valori che ritardano l'irrigazione; allo stesso modo sono da considerare nulli i mm di pioggia eccedenti il volume di adacquamento prescelto.

Importante è mantenere la piena attività vegeto-produttiva con alcune irrigazioni di soccorso, dalla fase d'invasatura fino alla maturazione, per assicurare una riserva idrica costante durante la terza fase d'accrescimento del frutto, almeno fino ad agosto, per avere una buona differenziazione e accrescere la fertilità dei fiori.

35.4.4. Gestione del suolo

Restano valide le considerazioni fatte per le altre specie arboree da frutto; particolare cura va posta nel garantire un buono sgrondo delle acque. Dove è possibile, conviene effettuare l'inerbimento controllato sull'interfila, che dopo 3-4 anni può essere esteso fino ai piedi dell'albero.

L'apparato radicale del ciliegio dolce è piuttosto superficiale e potrebbe essere danneggiato dalle lavorazioni del terreno; al fine di poter confrontare sperimentalmente gli effetti dell'inerbimento e della lavorazione degli interfilari di un ciliegeto, sono state effettuate prove nel barese dal 1995 al 2000 su diverse varietà. La sostituzione dell'inerbimento del suolo con la lavorazione non ha mostrato particolari effetti, almeno fino al 4° anno, sulla produzione cumulata di tutte le cultivar considerate; dal 5° anno, invece, per alcune varietà si registra un sensibile incremento produttivo per le piante sottoposte a lavorazione. La circonferenza media del tronco risulta sempre più elevata nelle tesi con terreno lavorato; ciò sembrerebbe confermare l'azione del cotico erboso nel contenimento dello sviluppo vegetativo delle piante. L'analisi del suolo, effettuata soltanto al termine dei 5 anni dal confronto tra suolo lavorato e suolo

inerbito, non ha evidenziato differenze statisticamente apprezzabili nei valori dei parametri fisici; per quanto attiene la composizione chimica, il terreno inerbito presenta un pH significativamente inferiore risultando quindi più acido di quello lavorato. I contenuti di sostanza organica e d'azoto totale sono significativamente più scarsi nel terreno lavorato rispetto all'inerbito. Anche i tenori d'alcuni microelementi assimilabili come ferro e manganese risulterebbero più elevati nel terreno inerbito; lo stesso vale per zinco assimilabile e boro solubile, anche se ad un livello di significatività inferiore. Di fatto, il terreno inerbito appare più fertile di quello lavorato, anche se, dall'analisi del suolo effettuato alla fine del quinquennio, non si evidenzia uno stretto rapporto causa-effetto. Per finire si può evincere che, almeno nell'ambiente considerato, la lavorazione del terreno non sembra particolarmente adatta alla conservazione della fertilità del suolo. Essendo il ciliegio assai sensibile alla lesione e alla rottura delle radici causate degli attrezzi impiegati per le lavorazioni del terreno, devono essere evitate consociazioni con colture erbacee che richiedono lavorazioni profonde.

35.4.5. Impianto e allevamento

Forse ultima fra le drupacee e le altre specie da frutto coltivate, negli ultimi anni il ciliegio è stato oggetto di un profondo rinnovamento colturale, per cui ad impianti tradizionali si stanno affiancando nuovi impianti ad alta densità.

Impianti tradizionali (200-300 piante per ettaro).

Nel ciliegio prevalgono nettamente le forme di allevamento in volume, mentre le forme in parete hanno un'importanza secondaria. Le forme d'allevamento idonee alla raccolta meccanica devono avere uno scheletro rigido al fine di consentire una migliore trasmissione delle vibrazioni necessarie per favorire il distacco dei frutti.

L'altezza dell'impalcatura da terra non deve essere inferiore a 80-90 cm per facilitare l'applicazione delle ganasce al tronco, che deve essere cilindrico e liscio per evitare lesioni a causa della non perfetta aderenza delle ganasce. Tra le forme che meglio si adattano a questo tipo di raccolta troviamo il vaso ritardato e il vaso basso. Nel vaso basso l'astone (preferibilmente rivestito) viene cimato a 50 - 60 cm e a fine inverno è effettuata la scelta dei 3-4 rami che andranno a costituire le future branche principali. Durante il secondo anno si predispongono i sostegni alle quali fissare i rami prescelti curandone l'inclinazione (maggiore per quelli più vigorosi). I sestri d'impianto sono molto ampi e vanno da 6-7 m sulla fila a 6 m tra le file.

La forma in volume che meglio si adatta alla raccolta manuale è il vaso ritardato; si ottiene mettendo a dimora astoni innestati provvisti di buoni rami anticipati senza spuntarli; durante la prima stagione vegetativa si effettua la scelta del primo palco di branche primarie, scegliendo i 3 o 4 rami più adatti e

speronando gli altri. Negli anni successivi si provvederà all'eliminazione dell'asse centrale. Questo sistema consente la raccolta da terra o con piccole scale; le densità d'impianto maggiormente adottate sono 6-7 x 6-7 m. Tra i sistemi in parete rivestono importanza la palmetta e la bandiera; queste forme permettono la raccolta per mezzo di carri a piattaforma laterale, anche se richiedono onerosi interventi di potatura; i sesti d'impianto, pur restando ampi, sono leggermente ridotti. La bandiera, diffusasi in Francia (*drapeau*) dove è stata adottata anche per altre specie (il pero in particolare), non è altro che una forma in parete dove le piante hanno un fusto principale inclinato di 45° e diverse branche inclinate dalla parte opposta, a 90° rispetto al fusto.

Impianti ad alta densità (800-1.000 piante per ettaro).

Molto più interessanti risultano le forme d'allevamento dei nuovi impianti, dove occorre utilizzare forme di allevamento tali da creare piante basse, che entrino presto in produzione e che garantiscano una produttività costante.

Il tipo d'allevamento desiderato non può prescindere da un adeguato portinnesto; dopo l'avvento dei portinnesti clonali, tipo Colt, CAB 6P e 11E, MaxMa 14 e 97, le densità d'impianto sono salite da 200-300 fino a 600 piante per ettaro. Tuttavia, quando la genetica ha contribuito a ridurre lo sviluppo degli alberi, sia con portinnesti di tipo nanizzante che con varietà compatte o *spur*, in aree di pianura si sono raggiunti buoni risultati produttivi in impianti con densità superiori alle 800 piante per ettaro. Prove sperimentali sono state effettuate dal Dipartimento di Colture Arboree di Bologna nella pianura alluvionale bolognese (area di produzione del ciliegio), su 4 varietà e 20 portinnesti con impianto a V e densità di 1.330-1.670 piante per ettaro. Per ottenere la forma a V, gli astoni, all'impianto, sono stati inclinati alternativamente verso l'uno o l'altro lato del filare di circa 25°, formando due pareti con angolo di 50° fra loro. In linea di principio, contrariamente alle attese, i portinnesti nanizzanti (Camil, Edabriz, CAB 8F, ecc.) hanno dato risultati meno soddisfacenti, per rese e qualità, rispetto a quelli semi-nanizzanti (CAB 11E, SL 64, ecc., e, con alcune limitazioni, Colt e F 12/1 M) e persino a confronto di quelli semi-vigorosi come MaxMa 14, F 12/1 e CAB 6P. È auspicabile che risultati migliori si possano conseguire in ulteriori prove con nuovi portinnesti nanizzanti della serie Gisela e Weiroot.

Le forme tradizionalmente più usate per alte densità di piantagione sono il monocono, il vasetto a branche multiple e il cordone verticale. Il monocono, con sesti 4,8-5 x 2-2,5 m, realizzato con portinnesti semi-nanizzanti (Colt o CAB 6P) o nanizzanti (CAB 11E), è idoneo per terreni poco fertili e con cultivar a rapida entrata in produzione (autofertili); il vasetto a branche multiple, con sesti 4 x 3 m (o inferiori), su portinnesto di *P. mahaleb*, si ottiene mediante potatura verde (cimature, ecc.), che ha lo scopo di anticipare la formazione della struttura dell'albero e frenarne la crescita. Il cordone verticale è adatto sia per portinnesti vigorosi che nanizzanti; i sesti d'impianto si attestano intorno a 4-5 x 1 m. Anche l'Y trasversale, già utilizzata in impianti di

albicocco e pesco, è da annoverare tra le forme adatte per impianti ad alta densità.

35.4.6. Potatura

Tradizionalmente, dopo aver raggiunto la forma desiderata, la potatura del ciliegio è pratica poco usuale, a causa soprattutto dell'incertezza della produzione.

L'introduzione di varietà autofertili, costantemente molto produttive, rende indispensabile intervenire ogni anno per regolare la produzione, così da mantenere la qualità dei frutti e la giusta vigoria della pianta. Interventi cesori sono opportuni dopo la raccolta per portare luce in basso, favorire il rinnovo delle formazioni fruttifere e quindi aumentare la qualità dei frutti (quelli portati dai dardi più giovani sono in genere più grossi e più zuccherini). I tagli di ritorno dei succhioni o dei rami debbono avvenire durante il periodo vegetativo per evitare l'emissione di gomma; la potatura in verde riduce lo sviluppo vegetativo, provoca una migliore induzione a fiore e favorisce la cicatrizzazione dei tagli. Qualora la vegetazione sia insufficiente, con germogli inferiori a 50 cm di lunghezza, oltre ad un'appropriata concimazione azotata, bisogna eseguire la potatura a fine inverno, con le gemme ancora ferme, per favorire un più ottimale sviluppo vegetativo.

35.4.7. Problemi sanitari e rimedi

Il ciliegio non necessita di molti interventi, grazie al limitato numero di patogeni che possono aggredirlo in modo preoccupante e recare danni alla produzione. Le malattie fungine da controllare sono: il corineo, la monilia e fitopatie radicali causate da *Armillaria mellea* e *Verticillium spp.*

Il corineo (*Clasterosporium carpophilum*) si evidenzia particolarmente in autunno ed in primavera con danni alle foglie; è la prima causa di defogliazione precoce e pertanto la difesa va fatta ogni anno fin dall'inizio. La moniliosi (*Monililia laxa* e *M. fructigena*) colpisce, con andamenti differenziati a seconda della stagione, la pianta in fioritura, in fase di allegagione dei frutti ed in prossimità della maturazione. Molte delle nuove varietà mostrano maggiore sensibilità. La difesa deve essere particolarmente attenta nelle zone di pianura, negli impianti intensivi, in presenza di eccessiva vigoria, con piogge prolungate o irrigazioni abbondanti soprachiuma. Tra le malattie batteriche del ciliegio, la più nota è il Cancro batterico (*Pseudomonas syringae* pv. *mors-prunorum*) che si manifesta in primavera sulle branche e sui rami.

Le principali sintomatologie da virusi si manifestano nell'accartocciamento fogliare clorotico (agente ACLSV), la Maculatura anulare (PDV) e la *Sharka* (PPV). Tra i litofagi, la Cocciniglia di S. Josè è la più temibile; occorre fare attenzione a non trovarla nelle piante provenienti dai vivai. Anche l'afide nero è

diffuso in tutte le zone di coltivazione del ciliegio; arreca gravi danni ai giovani impianti limitandone l'accrescimento e ritardando l'inizio della produzione; la difesa deve iniziare subito dopo la caduta dei petali e va protratta fino all'invasiatura, rispettando i tempi di carenza. Andrebbe evitato il ristoppio del ciliegio, altrimenti occorre utilizzare portinnesti resistenti alla stanchezza come il Colt® il GM 61/1 e il Damil® Per evitare problemi, inoltre, è necessario ripulire bene il terreno dai residui di radici della precedente coltura arborea, specialmente se di vite, per evitare il proliferarsi di marciumi.

Spaccatura delle ciliegie (cracking)

Lo spacco dei frutti può essere definito come il più importante disordine d'origine abiotica del ciliegio; questa avversità è causata da piogge intense in prossimità della maturazione. Numerosi studi hanno ormai evidenziato che la sensibilità è d'origine genetica. Tuttavia, non esiste correlazione tra suscettibilità al fenomeno e consistenza della polpa; esisterebbe invece una forte correlazione tra sensibilità e dimensione degli stomi presenti sulla buccia, poiché il 72% di H₂O entra per via stomatica. Da ricerche condotte al riguardo, risulta che avrebbero effetto nel ridurre il fenomeno i sali di Ca, Al, Cu, al contrario dei sali di Mg, Mn, Fe, Zn. Tra le varietà diffuse in Italia più resistenti alla spaccatura troviamo Lapins, Ferrovia, Adriana e Germersdorfer; tra le più suscettibili Sylvia, Garnet Magar e New Star.

Le ultime esperienze in fatto di prevenzione testimoniano che la copertura dei ceraseti con materiali plastici (teli o reti) ha ridotto anche drasticamente il danno ai frutti, ma non è stato sufficiente ad eliminarlo del tutto. Infatti, l'elevata umidità che si viene a creare all'interno delle chiome sotto le coperture, insieme all'aumentare delle temperature, sono la prima causa che favorisce le spaccature.

35.5. Attitudine ambientale alla coltivazione del ciliegio

Il ciliegio ha un ampio areale di coltivazione, difatti è presente fra i 35° e 60° di latitudine Nord e Sud. In Italia, le aree di coltivazione principali sono concentrate al Sud; in Puglia, il comparto cerasicolo rappresenta una realtà importante e in continua evoluzione: l'areale di coltivazione più significativo rimane quello del Sud-Est barese; al Nord la zona costiera di Risceglie è tradizionalmente interessata da questa coltura, mentre nell'entroterra è presente nelle colline pietrose delle Murge, dove si assiste alla messa a dimora di moderni impianti irrigui. L'altra storica regione per la coltivazione del ciliegio è la Campania, anche se è solo parzialmente interessata dal rinnovamento della coltura dato che i ciliegeti vengono ancora prevalentemente condotti secondo vecchi criteri. In Basilicata sono degne di nota sia le zone tradizionalmente frutticole del Metapontino, sia quelle collinari più interne. La Sicilia è la

regione dove negli ultimi tempi viene rivolta maggiore attenzione a questa specie; stanno infatti sorgendo impianti con nuove e collaudate varietà nella zona Etnea ed in quella sud-occidentale dei monti Sicani.

Come per altre arboree da frutto (ad esempio, melo), la pendenza del suolo ottimale per la coltivazione del ciliegio è quella compresa tra 0 e 10%; all'aumento della pendenza, infatti, insorgono problemi relativi alle operazioni colturali, all'erosione e ai tempi di movimento di uomini e macchine.

35.6. Caratteri funzionali del suolo

35.6.1. Profondità del suolo

Le esperienze condotte dal Servizio Sviluppo Sistema Agro-alimentare della Regione Emilia Romagna (tabella 35.2) indicano come ottimale, per lo sviluppo dell'apparato radicale del ciliegio innestato su franco o su Colt, una profondità del suolo maggiore di un metro. È quindi sempre indispensabile, soprattutto in terreni pianeggianti, la preventiva analisi del profilo del suolo, al fine di individuare l'eventuale presenza di strati impermeabili in grado di ostacolare la regolare crescita delle radici e il rapido drenaggio delle acque in eccesso. Altre sperimentazioni condotte in Italia hanno portato a segnalare vari portinnesti caratterizzati da apparato radicale più superficiale (ad esempio, CAB 6P, Weiroot 158, Gisela 4, Gisela 5, Gisela 7, Edabriz), che potrebbero essere vantaggiosamente utilizzati in terreni con profondità moderatamente elevata dello strato impenetrabile dalle radici (50-100 cm).

35.6.2. Tessitura e fessurazione

Nell'ambiente climatico dell'Emilia Romagna, il ciliegio innestato sul franco da seme o sull'ibrido Colt ottiene i migliori risultati produttivi in terreni con tessitura media, moderatamente fine o moderatamente grossolana. Al contrario, va incontro a severe limitazioni della crescita in suoli pesanti o eccessivamente sciolti. Le prove sperimentali condotte in altre aree geografiche d'Italia nell'ambito del Progetto MiPAF "Liste di orientamento varietale dei fruttiferi" (De Salvador e Lugli, 2002) hanno consentito di individuare portinnesti in grado di adattarsi a terreni pesanti (ad esempio, CAB 6P, MaxMa DELBARD® 14 Brokforest*, Gisela®7 clone 148/8, Gisela®12 clone 195/2) o sciolti e con scheletro; tra questi si segnalano, oltre al Megaleppo da seme, la selezione clonale di Megaleppo SL 64 e il Pi-Ku 1* clone 4,20.

35.6.3. Salinità e sodicità

Il ciliegio, indipendentemente dal portinnesto e similmente al pero, trova condizioni ottimali alla sua coltivazione in presenza di valori di salinità inferiori a $0,4 \text{ dS m}^{-1}$ e ESP inferiori all'8%. Valori non idonei alla sua coltivazione sono quelli superiori a $0,8 \text{ dS m}^{-1}$ per la salinità e a 10% di ESP.

35.6.4. Rischio d'inondazione

Le indagini condotte nel nostro Paese hanno evidenziato come il ciliegio sia sensibilissimo al ristagno idrico, anche di breve durata. Le piante con portinnesto franco da seme risultano più sensibili rispetto a quelle su ibrido Colt; terreni soggetti a rischio di saturazione del terreno per tempi superiori alle 48 ore sono da considerarsi non idonei alla coltivazione.

35.6.5. Disponibilità d'ossigeno

Il ciliegio è pianta particolarmente sensibile ai fenomeni di asfissia radicale, soprattutto quando innestato su franco da seme, su Megaleppo da seme e su SL 64. Rispetto a questi, i portinnesti Colt, Gisela®6 clone 148/1, Gisela®7 clone 148/8 e Gisela®12 clone 195/2 sono in grado di conferire una maggiore resistenza a condizioni d'anossia (De Salvador e Lugli, 2002). I suoli che non pregiudicano la crescita e i risultati produttivi di questa specie sono quelli in cui l'acqua è rimossa prontamente dal suolo e in cui non si verificano eccessi di umidità durante la stagione di crescita delle piante.

35.6.6. Reazione (pH)

Nei riguardi della reazione del terreno, il ciliegio, indipendentemente dal portinnesto, predilige valori di pH compresi tra 6,5 e 8,5. Valori superiori o inferiori a quest'intervallo segnano difficoltà sempre maggiori alla sua coltivazione.

35.6.7. Calcare attivo

Quando innestato su franco da seme e Colt, il ciliegio non evidenzia limitazioni della crescita in presenza di contenuti di calcare attivo inferiori al 7%. Tolleranza più elevata viene conferita da portinnesti quali il Megaleppo, l'SL 64, l'ibrido Avima®Argot e Weiroot 158® (De Salvador e Lugli, 2002).

35.6.8. Schema di valutazione

Si riporta (tabella 35.2) lo schema di valutazione delle limitazioni pedologiche alla crescita del ciliegio su portinnesti diversi, elaborato da I.TER nell'ambito del progetto "Catalogo dei suoli della pianura emiliano romagnola" finanziato dal Servizio Sviluppo Sistema Agro-alimentare ai fini della L.R.52/92.

Tabella 35.2. Schema di valutazione delle limitazioni pedologiche alla crescita del ciliegio su diversi portinnesti.

CARATTERISTICHE PEDOLOGICHE	GRUPPI DI PORTINNESTI	INTENSITÀ DELLE LIMITAZIONI		
		Assenti o lievi	Moderate	Severe
Profondità utile alle radici (cm)	Franco da seme, Ibrido Colt	> 100	50 - 100	< 50
Tessitura	Franco da seme, Ibrido Colt	media, moder fine, moder. grossolana		grossolana, fine
Fessurazione	Franco da seme, Ibrido Colt	bassa	media	forte
Salinità (EC 1:5 dS m ⁻¹)	Franco da seme, Ibrido Colt	< 0,4	0,4 - 0,8	> 0,8
Sodicità (ESP)	Franco da seme, Ibrido Colt	< 8	8 - 10	> 10
Rischio d'inondazione: inondabilità	Franco da seme, Ibrido Colt	assente o lieve	moderato	alto
Rischio d'inondazione: durata	Ibrido Colt	estr. breve, m. breve	breve	lunga, molto lunga
	Franco da seme	estremamente breve	molto breve	da breve a molto lunga
Disponibilità d'ossigeno	Franco da seme	buona		moderata, imperfetta, scarsa, molto scarsa
	Ibrido Colt	buona	moderata	imperfetta, scarsa, molto scarsa
Reazione (pH)	Franco da seme, Ibrido Colt	6,5 - 8,5	5,4 - 6,4	< 5,4; > 8,5
Calcare attivo (%)	Franco da seme, Ibrido Colt	< 7	7 - 12	> 12

Bibliografia di riferimento

- AA., VV., 1991. *Frutticoltura speciale*. Reda, Roma.
- BALDINI, E., 1986. *Arboricoltura Generale*. CLUEB, Bologna.
- BARGIONI, G., 1964. *Stato attuale, prospettive e problemi della cerasicoltura italiana*. Atti del I Convegno nazionale "La coltura del ciliegio", Verona 13 giugno.
- CATALANO, L., MATTATELLI, B., TARRICONE, L., MELILLO, V.A., 2005. *La coltivazione del ciliegio in Puglia e nel Sud Italia fra tradizione e innovazione*. Frutticoltura, 3, 16- 25.
- CATALOGO DEI SUOLI DELLA PIANURA EMILIANO ROMAGNOLA REGIONE EMILIA ROMAGNA, I.TER, 1998. www.gias.regione.emilia-romagna.it/suoli/guidaindice.asp.
- DE SALVADOR, F.R., LUGLI, S., 2002. *I portinnesti del ciliegio*. Suppl. L'Informatore Agrario, 51, 9-16.
- FAO, 2004. www.fao.org.
- GODINI, A., LUGLI, S., PALASCIANO, M., 2005. *Speciale Liste varietali in frutticoltura. Ciliegio*. Suppl. Terra e Vita, 24, 16- 27.
- ISTAT, 2004. www.istat.it
- LANDI, R., 1999. *Agronomia e ambiente*. Edizioni Agricole, Bologna.
- LUGLI, S., SANSAVINI, S., MONARI, W., 2001. *Prevenzione delle spaccature dei frutti di ciliegio con coperture plastiche*. Frutticoltura, 3, 24- 31.
- LUGLI, S., CORREALE, R., GAIANI, A., GRANDI, M., MUZZI, E., QUARTIERI, M., SANSAVINI, S., 2005. *Nuovi portinnesti di ciliegio validi per impianti intensivi*. Frutticoltura, 3, 41- 47.
- LUGLI, S., SANSAVINI, S., 1999. *Nuovi portinnesti clonali del ciliegio adatti per impianti intensivi a media densità: risultati positivi di una prova decennale condotta nella zona tipica di Vignola*. Frutticoltura, 6, 57- 64.
- MATTA, A., 2000. *Fondamenti di patologia vegetale*. Patron Editore, Bologna.
- NASI, F., LAZZAROTO, R., GHISI, R., 1994. *Coltivazioni arboree*. Liviana Editrice, Padova.
- PALASCIANO, M., PACIFICO, A., GODINI, A., 2005. *Suscettibilità allo spacco dei frutti di nuove e vecchie cultivar di ciliegio*. Frutticoltura, 3, 48- 51.
- REGIONE EMILIA ROMAGNA, 2005. *Disciplinare di produzione integrata del ciliegio*. www.ermesagricoltura.it/wcm/ermesagricoltura/consigli_tecnici/disciplinari/sezione_disciplinari/s_nome_coltura/s_frutticole/s_ciliegio.htm.
- ROVERSI, A., MONTEFORTE, A., 2003. *Effetti di diverse tecniche di gestione del suolo nel ceraseto*. Frutticoltura, 6, 55- 58.
- SANSAVINI, S., LUGLI, S., GRANDI, M., GARDONI, M., CORREALE, R., 2001. *Impianto ad alta densità di ciliegi allevati a "V": confronto fra portinnesti nanizzanti*. Frutticoltura, 3, 63- 73.
- SAVINO, V., DI TERLIZZI, B., CATALANO, L., 1997. *Stato sanitario ed aspetti vivaistici del ciliegio in Puglia*. Frutticoltura, 6, 29- 34.

Ministero delle Politiche Agricole, Alimentari e Forestali
Osservatorio Nazionale Pedologico e per la Qualità del Suolo Agricolo e Forestale

In collaborazione con:
International Union of Soil Sciences
Società Italiana della Scienza del Suolo
Commissione VI - Uso e Conservazione del Suolo

BELLINI, E., GIORDANI, E., MORELLI, D., 2006. *L'albicocco*. In: Costantini, E.A.C. (Ed.), *Metodi di valutazione dei suoli e delle terre*, Cantagalli, Siena, pp. 922.

Collana dei metodi analitici per l'agricoltura diretta da Paolo Sequi, vol. 7

CRA - Consiglio per la Ricerca e la Sperimentazione in Agricoltura
Istituto Sperimentale per lo Studio e la Difesa del Suolo, Firenze

36. L'albicocco

Elvio Bellini¹, Edgardo Giordani¹, Daniele Morelli¹

36.1. Specie, prodotti, usi	3
36.2. Varietà ed impollinatori	4
36.2.1. Varietà	4
36.2.2. Impollinatori	5
36.3. Portinnesti	5
36.4. Esigenze della pianta e tecniche colturali.....	6
36.4.1. Clima.....	6
36.4.2. Fertilizzazione	7
36.4.3. Fabbisogno idrico e irrigazione.....	9
36.4.4. Gestione del suolo.....	10
36.4.5. Impianto e allevamento	10
36.4.6. Potatura.....	11
36.4.7. Problemi sanitari e rimedi.....	12
36.5. Attitudine ambientale alla coltivazione dell'albicocco.....	12
36.6. Caratteri funzionali del suolo	14
36.6.1. Profondità del suolo	14
36.6.2. Tessitura e fessurazione	14
36.6.3. Salinità e sodicità	14
36.6.4. Rischio di inondazione.....	14
36.6.5. Disponibilità di ossigeno.....	15
36.6.6. Reazione (pH).....	15
36.6.7. Calcare attivo	15
36.6.8. Schema di valutazione	15
Bibliografia di riferimento.....	17

¹ Università di Firenze - Facoltà di Agraria, Dipartimento di Ortoflorofrutticoltura

36.1. Specie, prodotti, usi

L'albicocco (*Prunus armeniaca*) è una specie originaria della Cina, o comunque dall'Asia orientale, introdotta in Italia nei territori dell'Impero Romano dalla Grecia e dall'Armenia; è una delle specie citate da Plinio il Vecchio (23-79 d.C.) nella *Naturalis Historia*. I frutti sono drupe di forma più o meno ellissoidale od ovoidale, con buccia sottile, liscia o vellutata, di colore dal giallo all'arancio, con sovraccolore rosa o rosso sulle porzioni esposte al sole; il nocciolo legnoso

è liscio, il seme è generalmente amarognolo (in alcune varietà è dolce).

Il frutto ha un contenuto medio di acqua pari a 86%, mentre quello in zuccheri è molto variabile, con una media pari a 6%. L'acido organico principale è il citrico. Il contenuto proteico è circa 1%, rappresentato da elevate quantità di amminoacidi liberi.

Ordine: ROSALES

Famiglia: ROSACEAE Juss

Sottofamiglia: PRUNOIDEAE

Genere: PRUNUS

Sottogenere: PRUNOPHORA

Specie:

Prunus armeniaca L. (la quasi totalità degli albicocchi coltivati)

Altre specie interessanti per il miglioramento genetico:

P. ansu Tamar (albicocco di Ansu; resistente alla moniliosi, coltivato in Cina, Corea e Giappone)

P. mume Sieb. e Zucc. (albicocco giapponese; ornamentale, resistente ad alcune malattie)

P. mandschurica (Maxim.) e Koehne (albicocco della Manciuria, molto resistente al freddo)

P. sibirica L. (albicocco siberiano, molto resistente al freddo)

Il frutto è una buona fonte di sostanze minerali, soprattutto di calcio e fosforo (circa 16 mg 100g⁻¹ di parte edibile della polpa), vitamina A (360 µg 100g⁻¹) e vitamina C (13 µg 100g⁻¹). I diversi composti fenolici presenti in appropriate proporzioni sono responsabili del gradevole aroma del frutto.

L'amigdalina, glucoside cianogenico contenuto nel seme delle varietà amare, è presente in percentuali variabili da 0,01 a 0,18% ed è utilizzata come droga per il trattamento anti-cancerogeno, mentre l'olio estratto (40-45%) è utilizzato in diverse preparazioni farmaceutiche e nella cosmesi. I frutti per la maggior parte (60% circa) vengono consumati freschi, il restante 40% viene destinato alla trasformazione industriale (succhi e marmellate).

Tra le specie afferenti al genere *Prunus*, l'albicocco occupa uno spazio piuttosto limitato rispetto al pesco, con una tendenza delle produzioni altalenante, ma generalmente in crescita; da diversi anni infatti non si verificano crisi di mercato ed i prezzi sono sempre stati remunerativi per il prodotto di qualità.

I principali paesi produttori (FAO, 2004) appartengono al bacino del Mediterraneo e sono: Turchia (circa 436.000 t), Iran (285.000 t), Italia (190.000 t), Francia (140.000 t) e Spagna (135.000 t), a cui si aggiunge il Pakistan (130.000 t).

Le regioni italiane maggiormente interessate alla coltura sono (ISTAT, 2004): Campania (71.000 t) e Emilia Romagna (69.000 t), seguite da Basilicata (18.000 t), Piemonte (10.000 t), Sicilia (9.000 t), Puglia (6.000 t), Veneto e Abruzzo (circa 4.000 t ciascuna).

36.2. Varietà ed impollinatori

36.2.1. Varietà

Nel progetto finanziato dal MiPAF, “Liste di orientamento varietale dei fruttiferi”, per il 2005 ritroviamo cultivar tradizionali, apprezzate per sapore, succosità e aroma, affiancate da nuove varietà capaci di una lenta maturazione, che consente di posizionare la raccolta al momento ottimale senza temere il rapido deterioramento del frutto. Inoltre, sono valutate positivamente per una maggiore consistenza della polpa, della sorbevolezza e della *shelf life*; ulteriori punti di forza sono rappresentati dall’aspetto sensuale, simbolicamente femminile, dall’intensa colorazione con sfaccettature e sfumature. Il clima meridionale esalta, in generale, le caratteristiche agronomiche e qualitative della maggior parte delle cultivar di albicocco, soprattutto delle varietà medio-tardive di origine campana come Portici, Palummella e Boccuccia Liscia.

Le cultivar condivise a livello nazionale

Queste varietà mostrano ampia adattabilità ai vari ambienti pedoclimatici, dalle zone più favorevoli dell’Italia Meridionale a quelle più selettive del Settentrione; è il caso di Ninfa* (-26 giorni rispetto a San Castrese, che si raccoglie nella prima decade di luglio al Nord, nella terza decade di giugno al Centro, nella seconda decade di giugno al Sud), dall’apprezzabile precocità al Sud. Inoltre si annovera Antonio Errani (-13) con frutti di buon sapore e di bell’aspetto; Bella d’Imola; San Castrese, varietà di riferimento, di produttività elevata e costante, valida anche per l’impiego industriale; Vitillio (-2) molto diffusa nell’ambiente vesuviano; Portici (+4) tenuta in considerazione per il sapore e l’aspetto; Pisana (+12) caratterizzata da buona produttività specie nel Meridione.

Le specificità del Nord

Negli ambienti settentrionali risultano produttive cultivar a fabbisogno in freddo medio-elevato; tra queste si ricordano: Aurora* (-26), precocissima, con frutti di colorazione aranciata e aromatici; Orange Red® Bhart*, di grossa pezzatura e lunga tenuta di maturazione; Laycot®* e Hargrand, due cultivar di origine canadese che risultano produttive solo negli ambienti pedemontani del Piemonte e del Veneto.

Le integrazioni per il Centro

Per completare il panorama varietale vanno aggiunte Perla (-13), interessante per Marche e Lazio; Goldrich, valida per pezzatura e consistenza del frutto;

* Questo simbolo indica che la cultivar è protetta.

® Questo simbolo indica “marchio registrato”.

Monaco Bello, Palummella e Boccuccia Liscia, ritenute valide per Toscana e Lazio; Dulcinea è indicata nel periodo tardivo per le elevate caratteristiche produttive e organolettiche.

36.2.2. Impollinatori

La maggior parte delle nostre cultivar è autocompatibile, mentre altre (di più recente costituzione o di provenienza straniera) come Goldrich, Laycot®, Aurora, Pinkcot® Coptý*, Robada*, Veecot, Hargrand e Orange Red® Bhart* sono autoincompatibili. Per queste ultime si consigliano rapporti di consociazione con un 10-15% di piante impollinatrici intercalate lungo la fila, mentre in caso di filari monovarietalì tale rapporto dovrebbe risultare almeno del 20-25%. Essendo l'impollinazione prettamente entomofila, dove è possibile devono essere introdotte arnie in ragione di 7-8 per ettaro. Si ritiene che nelle cultivar autocompatibili la fecondazione possa avvenire anche per cleistogamia.

36.3. Portinnesti

Occorre prestare attenzione alle esigenze dell'albicocco e alla combinazione con i numerosi portinnesti, che permettono la sua coltivazione in vari ambienti; va altresì precisato che di molte varietà non si conosce l'affinità con i vari portinnesti. Risulta quindi difficile per i vivaisti, senza il supporto di anni di sperimentazione, fornire valide combinazioni fra portinnesti e nuove varietà. Per questi motivi l'aggiornamento dei portinnesti per l'albicocco procede piuttosto lento.

Franco e sue selezioni

Il franco è il portinnesto più utilizzato nelle condizioni agronomiche italiane. Le piante appaiono caratterizzate da una buona vigoria e da una longevità più che soddisfacente, ma da una precocità di una messa a frutto inferiore rispetto al Mirabolano o ai portinnesti di pesco. È indicato per terreni siccitosi, calcarei (contenuto non superiore all'8% di calcare attivo), anche dotati di leggera salinità ($< 0,8 \text{ dS m}^{-1}$), predilige i terreni fertili e permeabili; teme infatti i ristagni idrici e in queste condizioni va facilmente soggetto al cancro batterico (*Agrobacterium tumefaciens*), ai marciumi radicali (*Armillaria mellea* e *Rosellinia necatrix*), al mal del colletto (*Phytophthora cactorum*) ed è suscettibile ai nematodi. I vivaisti preferiscono il Manicot 1236, un franco selezionato, per la maggiore uniformità di accrescimento.

Portinnesti di susino

Il Mirabolano da seme (*Prunus cerasifera*) probabilmente è ancora il portinnesto più utilizzato benché abbia mostrato vari inconvenienti (essendo in genere una popolazione di individui eterogenei); i fenomeni di disaffinità, con

ingrossamento al punto d'innesto, o le rotture sono quelli più preoccupanti: per questo motivo in ambienti ventosi si innesta alto da terra, e per la stessa ragione si sconsigliano forme "palmettizzate" che fanno da vela al vento. Si adatta però a quasi tutti i tipi di terreno, resiste bene alla siccità e al calcare. Tra le selezioni di Mirabolano diffuse troviamo il Mirabolano 29C; questo è da consigliare su larga scala per la buona efficienza produttiva e la resistenza al tumore batterico e ad alcuni nematodi. Di contro, il Mirabolano B è sconsigliato per la disaffinità dimostrata con diverse varietà, l'eccessivo vigore (maggiore del 20-40% rispetto al Mirabolano 29C), la media produttività e scarsa pezzatura dei frutti. Anche l'MrS 2/5 può ritenersi valido per terreni fertili, mentre è solo mediamente resistente nei confronti del calcare attivo e della siccità. Tra gli ibridi è da sconsigliare il Marianna (*P. cerasifera* x *P. munsoniana*); pur essendo resistente all'asfissia radicale, al calcare ed ai terreni salini, l'apparato radicale è superficiale ed ha mostrato scarsa affinità con molte varietà. Altri portinnesti di susino (derivanti da *P. domestica* e *P. insititia*) sono poco usati in Italia a causa di alcuni difetti evidenziati, quali la forte attività pollonifera (Damasco P., 1869) e la sensibilità al cancro batterico (GF 1380). Recentemente i francesi consigliano il Myrocal e il Mirabolano P1254, in alternativa al Mirabolano B.

Portinnesti di pesco

È il portinnesto più utilizzato negli Stati Uniti, mentre il suo impiego in Italia è sporadico a causa dei problemi causati dalla non ottimale affinità d'innesto. Il pesco predilige terreni freschi, profondi e ben arieggiati, non è adatto per terreni pesanti, a sgrondo difficile e con un tenore di calcare attivo superiore al 5%. Gli ibridi pesco-mandorlo, quali il GF 677, non vengono utilizzati per la loro disaffinità con l'albicocco. Qualche possibilità in più è offerta da Montclar e Rubirà (a foglia rossa), linee di pesco-franco di origine francese.

Portinnesti ibridi

Interesse stanno suscitando gli ibridi polivalenti complessi, quali Ishtara (che si adatta a terreni pesanti, purché freschi e irrigui) e Citation (che in terreni pesanti sembra presentare una certa disaffinità). Sono poco polloniferi e con buona affinità d'innesto, inducono minore vigoria, rapida messa frutto ed un'ottima qualità dei frutti.

36.4. Esigenze della pianta e tecniche colturali

36.4.1. Clima

L'albicocco presenta particolari esigenze climatiche; preferisce gli ambienti con primavera asciutte, leggermente ventilate, temperate; può sopportare minime invernali fino a -30°C senza subire gravi danni. È una specie sensibile alle

brinate tardive a causa della precoce fioritura e per questo vanno preferite le zone ben esposte. Inoltre, per le note difficoltà d'innesto vanno evitati gli ambienti di coltivazione soggetti a forte vento e prediligere quelle zone riparate dai venti dominanti.

36.4.2. Fertilizzazione

La concimazione d'impianto, eseguita nel momento della lavorazione profonda, si effettua con letame, concimi fosfo-potassici e microelementi, se necessari. L'analisi fogliare aiuta molto l'agricoltore nel determinare le concimazioni e le correzioni da compiere, sia in fase d'allevamento che in fase produttiva (tabella 36.1).

Tabella 36.1. Valori di riferimento per la diagnostica fogliare.

Elementi minerali		Livello nutrizionale		
		Molto basso	Limiti normali	Molto alto
Azoto	%	1,8	2,2 – 3,0	3,2
Fosforo	%	0,09	0,12 – 0,2	0,24
Potassio	%	1,6	2,2 – 3,0	3,5
Calcio	%	1,4	1,8 – 3,0	3,8
Magnesio	%	0,3	4,0 – 0,7	0,8
Sodio	mg kg ⁻¹	50	100 – 200	240
Boro	mg kg ⁻¹	15	30 – 45	60
Ferro	mg kg ⁻¹	60	90 – 140	200
Manganese	mg kg ⁻¹	20	30 – 100	200
Rame	mg kg ⁻¹	3	6 – 12	30

Nell'albicocchetto anche la conoscenza delle asportazioni da parte degli organi della pianta è importante per computare il bilancio nutrizionale dell'impianto (tabella 36.2).

In fase produttiva, si consigliano apporti azotati fino a 90 kg ha⁻¹ (massimo quantitativo ammesso dal Disciplinare di Produzione Integrata della Regione Emilia Romagna del 2005, da distribuire dalla fine dell'inverno fino a maggio-giugno, per garantire questo elemento nel periodo più critico della pianta cioè la fioritura. In riferimento alla concimazione di fine estate (comunemente indicata come autunnale) eseguita per favorire la costituzione di sostanze di riserva nelle strutture permanenti dell'albero, è utile la stima del livello dei nitrati nel terreno. Qualora sia possibile determinare il valore di azoto nitrico (N-NO₃), è da considerare che livelli di circa 8 ppm nello strato del filare compreso tra 5 a 50 cm di profondità sono ampiamente sufficienti per le

esigenze del frutteto in fase post-raccolta e presuppongono la sospensione di qualsiasi apporto azotato in questo periodo.

Tabella 36.2. Asportazione di nutrienti da alberi di albicocco cv *Tirynchos*.

Fasi e organi	S.S. t ha ⁻¹	N kg ha ⁻¹	P ₂ O ₅ kg ha ⁻¹	K ₂ O kg ha ⁻¹	CaO kg ha ⁻¹	MgO kg ha ⁻¹
Frutti	4,3	62,0	18,1	118,0	20,5	13,1
Potatura verde	0,2	4,9	1,0	9,3	2,3	1,4
Potatura secca	3,2	36,4	10,2	23,8	59,2	11,7
Foglie abscisse	3,8	62,8	10,3	91,3	76,5	31,2
Totale	11,5	166,1	39,6	242,4	158,5	57,4

La concimazione fosfo-potassica non dovrebbe superare rispettivamente i 50 e i 150 kg ha⁻¹ in caso di terreni mediamente dotati (massimi quantitativi ammessi dal Disciplinare di produzione integrata della Regione Emilia Romagna del 2005); va effettuata in autunno e fatta seguire da una leggera lavorazione per interrare i concimi.

Tabella 36.3. Epoche ed entità degli interventi di fertirrigazione nell'albicocchetto.

Epoca dalla fioritura in giorni (inizio marzo circa)	Elementi da apportare (kg ha ⁻¹)		
	N	P	K
20 gg	10	7	10
30 gg	10	7	15
40 gg	10	0	15
50 gg	10	0	15
60 gg	8	0	15
70 gg	8	0	15
Fine luglio	7	0	7
Fine agosto	7	0	6
Totale	70	14	98

Optando per la fertirrigazione, si suddividono gli apporti in più interventi come proposto in tabella 36.3.

Sempre maggior considerazione hanno anche i microelementi per il ruolo che giocano in relazione alla crescita e alla produzione; difatti la loro carenza provoca inconvenienti a carico dei frutti (microfessurazioni, rugginosità dovuta a carenza di calcio) e della vegetazione (clorosi per carenza di ferro).

Altro ruolo importante nel processo produttivo è svolto da varie sostanze che partecipano ad una serie di reazioni biochimiche fondamentali per lo sviluppo

delle piante e la produzione dei frutti: acidi umici, vitamine, amminoacidi, ecc.; questi sono attivatori, stimolanti della vegetazione, che migliorano l'allegagione e la crescita dei tessuti, irrobustendoli contro le avversità ambientali ed esaltando la qualità delle produzioni.

36.4.3. Fabbisogno idrico e irrigazione

L'albicocco non ha particolari esigenze irrigue (da maggio a settembre il fabbisogno è di circa 2.000-2.500 m³ ha⁻¹); nella pratica difficilmente si interviene con irrigazioni se non di soccorso. La distribuzione dell'acqua, tenuto conto delle eventuali precipitazioni, deve essere frequente e regolare evitando abbondanti quantità in prossimità della raccolta per non peggiorare le caratteristiche organolettiche dei frutti e la loro conservabilità. L'estrema variabilità delle condizioni pedoclimatiche di coltivazione dell'albicocco ed i diversi portinnesti utilizzati rendono difficoltoso dare istruzioni precise; a titolo di riferimento si riportano in tabella 36.4 alcune indicazioni di massima.

Tabella 36.4. Volumi di adacquamento e turni per impianto microirriguo.

Mese	Restituzione idrica (mm g ⁻¹) ¹	Intervallo consigliato (giorni)	Pioggia (mm) ²
Aprile	Inerbito 0,8 Lavorato 0,7	1 - 4	1,0
Maggio	Inerbito 2,0 Lavorato 1,4	1 - 4	2,0
Giugno	Inerbito 3,5 Lavorato 2,5	1 - 4	3,0
Luglio	Inerbito 4,0 Lavorato 3,5	1 - 3	4,0
Agosto	Inerbito 3,7 Lavorato 3,0	1 - 3	3,5
Settembre	Inerbito 3,0 Lavorato 2,0	1 - 4	2,5

¹ Si intende il quantitativo di acqua da restituire alla coltura in base al suo fabbisogno idrico, distinta in base alla conduzione del suolo.

² mm di pioggia misurati con il pluviometro che fanno ritardare di un giorno l'intervento irriguo. Devono essere considerate nulle le piogge inferiori ai valori che ritardano l'irrigazione; allo stesso modo sono nulli i mm di pioggia eccedenti il volume di adacquamento prescelto.

Il quantitativo di acqua può essere erogato con vari sistemi, ma per l'albicocco, che non gradisce la bagnatura delle foglie, sono consigliati la microirrigazione a goccia e i microjet. La sub irrigazione, metodo recentemente proposto con successo su altre colture, quali olivo e pesco, non ha trovato utilizzazione per l'albicocco.

36.4.4. Gestione del suolo

La conduzione dell'albicocchetto segue le indicazioni generalmente valide per le altre specie arboree da frutto, tenendo ben presente il concetto di "vocazionalità territoriale" che è particolarmente incisivo per l'albicocco, data la forte influenza che le condizioni ambientali esercitano sul comportamento agronomico della coltura. L'albicocco trova dimora principalmente negli ambienti collinari non irrigui, specialmente del Centro e del Meridione, spesso con problemi di carenze idriche: per questo motivo è preferibile gestire l'area sottochioma con la lavorazione meccanica e con il ricorso al diserbo. Nelle aree declivi, dove l'albicocco trova il suo ambiente di coltivazione ideale, il frutticoltore dispone di alcune tecniche sistematorie, capaci di coniugare le moderne esigenze aziendali con quelle di una efficace protezione del suolo (tabella 36.5).

Tabella 36.5. Accorgimenti tecnici conservativi da adottare negli impianti collinari.

Inclinazione del pendio (%)	Lunghezza max impianto (m)	Tecniche sistematorie
< 3	> 250	Nessuna
3 - 10	250 - 151	Sistemazione trasversale con lavorazioni di traverso o inerbimento parziale (fasce livellari)
11 - 20	150 - 101	Sistemazione a fossi livellari (con fossi ogni 75-50 m) e lavorazioni di traverso o inerbimento parziale
> 20	100 - 50	Sistemazione a fossi livellari (con fossi ogni 50 m) e lavorazioni a rittochino o inerbimento totale

36.4.5. Impianto e allevamento

I sistemi d'allevamento idonei all'albicocco possono essere divisi in due categorie: le forme in parete, più adatte alle zone pianeggianti per i vantaggi che derivano dall'utilizzo dei carri raccolta; le forme in volume, più idonee con varietà a portamento più espanso, nei terreni collinari meno fertili, dove l'impiego delle macchine è più difficoltoso.

Forme in parete

Indubbiamente la più importante forma tra queste è la palmetta a branche oblique, libera o semilibera. È una forma che ben si presta a questa specie per il ridotto numero di tagli necessari durante la fase di allevamento, permettendo una più precoce entrata in produzione rispetto al vaso e una maggiore meccanizzazione di alcune operazioni colturali. I sesti d'impianto variano da 5

x 5 m a 4,5 x 3 m in relazione alla fertilità del terreno e alla vigoria del portinnesto.

Altre forme interessanti sono il Tatura trellis (4,5 x 1-2 m) e l'ipson trasversale che trova applicazione nei frutteti intensivi e forzati con tunnel di plastica per anticipare la raccolta (4,5-5 x 1-1,5 m).

Forme in volume

Tenuto conto della coltivazione prevalentemente collinare dell'albicocco, le forme in volume rivestono particolare importanza e tra queste troviamo il vaso, classico o semilibero, il vaso ritardato e il fusetto.

Il vaso classico è la forma che meglio si adatta alle zone ventose, però è in via di abbandono per l'elevata incidenza dei costi di produzione; esso è costituito da 3 branche regolari con sottobranche; per l'albicocco è preferibile un vaso semilibero a 4-5 branche che si adatta meglio del precedente all'*habitus* vegetativo della pianta e si ottiene con pochi interventi cesori. Importante risulta essere anche il vaso ritardato: questa forma di allevamento si differenzia dal vaso a 4-5 branche in quanto l'astone non viene spuntato all'impianto, ma l'asse centrale viene eliminato dopo aver formato il vaso; le branche principali si ottengono da rami anticipati opportunamente scelti. I sestri d'impianto più ampi si registrano con il vaso classico, 7 x 7 m o 5 x 5 m; fino ad arrivare con il vaso ritardato a 4,5-5 x 3 m.

Il fusetto, che necessita di una struttura di sostegno costituita da pali e fili, ha il vantaggio di poter ottenere una messa a frutto rapida; le distanze idonee sono 4,5 m tra le file per 2 m sulla fila.

36.4.6. Potatura

L'albicocco, come altre specie arboree, non gradisce molto gli interventi di potatura, che devono essere indirizzati all'ottenimento della forma desiderata senza eccessivi formalismi. Questa pianta è caratterizzata dalla presenza nel corso dell'anno di diversi flussi di crescita, variabili in funzione di cultivar, portinnesto e condizioni ambientali; un'altra caratteristica dell'albicocco è l'irregolare sviluppo dei germogli in risposta agli interventi di potatura.

Considerate le esigenze delle singole varietà e la loro preferenza nella fruttificazione (dardi, brindilli o rami misti), va tenuto conto che nelle piante giovani la maggior parte della produzione è portata su rami misti ed anticipati, mentre nelle piante adulte la fruttificazione si sposta prevalentemente sui dardi fioriferi e brindilli; in generale ogni anno è necessario rinnovare il 25-35% della vegetazione.

È possibile l'applicazione di potatrici meccaniche a dischi rotanti per abbassare l'altezza delle piante; anche il diradamento è un'operazione opportuna in quanto, al pari della potatura, ed integrata con questa, consente di

evitare l'alternanza di produzione, favorendo la differenziazione delle gemme a fiore per l'anno successivo e il miglioramento della qualità dei frutti.

36.4.7. Problemi sanitari e rimedi

Diversi parassiti colpiscono l'albicocco in modo più o meno grave. Gli insetti particolarmente dannosi perché incidono sull'attività vegetativa e sui frutti sono pochi, causa la precoce epoca di raccolta. Tra questi vanno ricordati gli afidi (*Myzus persicae*, afide verde del pesco e *Hyalopterus pruni*, afide farinoso), le cocciniglie (*Euleucanium spp.* e *Comstockapsis perniciosus*, cocciniglia di San Josè), l'anarsia (*Anarsia lineatella*), la tignola (*Recurvaria nanella*), la mosca della frutta (*Ceratitis capitata*) e gli insetti ricamatori.

I nematodi possono diventare un problema specie negli impianti molto fitti (appartenenti ai generi *Meloidogyne* e *Pratylenchus*). Le batteriosi più importanti a carico dell'albicocco sono il cancro batterico, causato da *Pseudomonas syringae*, e la maculatura batterica da *Xanthomonas pruni*.

Numerose, poi, sono le patologie causate da virosi e micosi; tra le prime si ricordano la butteratura del legno e dell'endocarpo, la maculatura anulare necrotica e la Sharka (*Plum pox virus*). Tra le micosi la moniliosi (*Monilinia fructigena* e *M. laxa*) è la più grave malattia fungina dell'albicocco; interessa tutti gli organi della chioma, causando imbrunimento dei fiori, imbrunimento e disseccamento dei frutticini; quelli in prossimità della maturazione manifestano tacche brunastre, molli, che si espandono rapidamente fino ad interessare tutto il frutto; le infezioni avvengono nei periodi molto umidi, con nebbie o piogge abbondanti e ripetute. La lotta deve riguardare in primo luogo tutti gli interventi agronomici atti ad evitare ristagni, eccessiva fittezza e favorire vigori equilibrati. Inoltre, si ricorda il corineo (*Coryneum beijerinckii*), il mal bianco (*Pseudosphaera tridactyla*), la cercosporiosi (*Cercospora circumscissa*), la clamidosporiosi (*Stigmata carpophila*) e la ruggine (*Tranzschelia pruni-spinosa*).

36.5. Attitudine ambientale alla coltivazione dell'albicocco

L'albicocco è diffuso in ambienti con caratteristiche pedoclimatiche assai diverse (lo ritroviamo dalle oasi del Sahara alla Mongolia), grazie alla grande variabilità genetica che lo contraddistingue e che consente la colonizzazione di territori molto diversi. Tuttavia, si deve tenere presente che le varietà cosmopolite (ad esempio, Cafona e Canino) sono rare ed i singoli genotipi presentano spesso una scarsa adattabilità al variare delle condizioni ambientali.

Nel Nord Italia gli impianti sono concentrati nelle aree pedecollinari e collinari dell'Emilia Romagna (province di Bologna, Ravenna e Forlì); in

Piemonte l'albicocco è diffuso in collina nella parte sud-orientale, ed in ambiente pedemontano nella parte sud-occidentale del territorio regionale.

La coltivazione dell'albicocco riveste notevole importanza economica nel Meridione del nostro Paese; in Campania la coltura è incentrata nella provincia di Napoli, mentre altre importanti aree di coltivazione sono ubicate nelle province di Salerno e Caserta; l'area vesuviana è quella di più antica coltivazione, anche se la progressiva urbanizzazione sta notevolmente riducendo la disponibilità di suolo agricolo. In Basilicata la coltura dell'albicocco ha registrato sensibili incrementi produttivi a partire dagli anni '60 e si è diffusa soprattutto nella provincia di Matera (prevalentemente nell'area del Metapontino, per la quale si riportano in tabella 36.6 i valori di riferimento per l'interpretazione delle analisi del terreno), mentre in Sicilia l'albicocco è presente prevalentemente nelle province di Palermo, Agrigento e Messina; apprezzabili incrementi delle aree coltivate sono stati registrati anche in Puglia.

In generale, le varietà di origine continentale hanno un'elevata resistenza alle basse temperature, ma se trasferite in regioni a clima più caldo presentano scarsa produttività a causa di anomalie fiorali, elevata cascola e colatura, determinate dalle alte temperature nel periodo estivo-autunnale e al mancato soddisfacimento delle ore di freddo. In generale, sono necessarie dalle 250 alle 1.200 CU.

Tabella 36.6. Valori indicativi di riferimento per l'interpretazione delle analisi del terreno.

PARAMETRI	Collina		Pianura
Altitudine (m s.l.m.)	> 250	< 250	-
pH	7,82	7,94	7,84
Sostanza organica (%)	1,4	1,3	1,1
Calcare attivo (%)	6,1	7,4	4,7
Cloruri (mg kg ⁻¹)	23	23	26
Solfati (mg kg ⁻¹)	36	37	64
Sodio scambiabile (mg kg ⁻¹)	49	61	61
Azoto totale (mg kg ⁻¹)	1,0	1,1	0,9
Nitrati (mg kg ⁻¹)	49	38	58
Fosforo assimilabile (mg kg ⁻¹)	12	12	26
Potassio scambiabile (mg kg ⁻¹)	266	294	294
Calcio scambiabile (mg kg ⁻¹)	3.547	3.588	2.855
Magnesio scambiabile (mg kg ⁻¹)	251	279	299

Le zone maggiormente adatte alla coltivazione dell'albicocco sono quelle collinari, nelle quali, con l'adozione di opportune tecniche sistematiche, può essere coltivato fino a pendenze del 20%; riguardo all'esposizione dei versanti,

sono da preferirsi i terreni esposti a sud-ovest in quanto meno soggetti a sbalzi termici.

36.6. Caratteri funzionali del suolo

36.6.1. Profondità del suolo

Indipendentemente dal tipo di portinnesto utilizzato, la completa espressione delle potenzialità vegetativa e produttiva dell'albicocco necessita di suoli che non presentano limitazioni allo sviluppo radicale per almeno 100 cm di profondità.

36.6.2. Tessitura e fessurazione

L'albicocco predilige terreni con tessitura media o moderatamente grossolana. La migliore o peggiore adattabilità dipenderà comunque dalla combinazione pianta-portinnesto: il franco, in virtù dell'elevata vigoria e dell'apparato radicale più profondo, si adatta meglio ai suoli sciolti, anche pietrosi; in quelli a tessitura fine è indispensabile garantire il rapido allontanamento delle acque in eccesso, essendo molto sensibile ai fenomeni di asfissia radicale.

I vari portinnesti di susino, avendo radici più superficiali, e essendo quindi maggiormente sensibili alla siccità, mal si adattano a suoli con tessitura grossolana. I suoli fini causano severe limitazioni alla crescita, poiché più soggetti a dar luogo a fessurazioni o crepacciature dovuti al succedersi di cicli di essiccazione-contrazione e inumidimento-espansione; soltanto in presenza di bassi livelli di fessurazione non si verificano problemi a carico dell'accrescimento e della funzionalità delle radici.

36.6.3. Salinità e sodicità

Le condizioni migliori per la coltivazione s'incontrano nei suoli con valori di conducibilità elettrica e di sodicità inferiori, rispettivamente, a $0,4 \text{ dS m}^{-1}$ e a 8% di ESP. All'aumentare dei valori di salinità e di sodio sul complesso di scambio, le limitazioni della crescita si fanno progressivamente più intense, fino a far classificare i suoli come non adatti alla coltura in presenza di conducibilità elettrica maggiore di $0,8 \text{ dS m}^{-1}$ e ESP superiore a 10%.

36.6.4. Rischio di inondazione

Gli areali di coltivazione dell'albicocco dovrebbero essere individuati in zone nelle quali il rischio d'inondazione sia assente o molto basso. L'albicocco innestato su franco soffre particolarmente l'asfissia radicale, tanto che periodi

di saturazione del terreno superiori ai 7 giorni pregiudicano gravemente la crescita e la sopravvivenza stessa delle piante, rendendole molto più vulnerabili all'attacco di patogeni fungini. I portinnesti di susino (ad esempio, Mirabolani da seme, Mirabolano 29 C, MrS 2/5) resistono in misura maggiore a condizioni asfittiche del terreno, probabilmente a causa di una minore produzione di acido cianidrico nelle radici in condizioni di anaerobiosi.

36.6.5. Disponibilità di ossigeno

Riguardo alla disponibilità di ossigeno vale quanto riportato per la suscettibilità all'asfissia radicale. Gli eccessi idrici e, parallelamente, l'insufficiente aerazione del suolo rappresentano i maggiori fattori limitanti per la coltivazione dell'albicocco. Le piante di albicocco, specialmente se innestate su franco, necessitano di suoli in cui l'acqua sia rimossa prontamente e/o in cui non si verifichino eccessi di umidità durante la stagione vegetativa.

36.6.6. Reazione (pH)

Predilige terreni con reazione intorno alla neutralità: i valori ottimali di pH si collocano tra 6,5 e 7,5. Solo in presenza di valori estremi ($\text{pH} < 5,4$ e $> 8,5$) si verificano forti limitazioni all'attività vegeto-produttiva dell'albicocco.

36.6.7. Calcare attivo

L'albicocco è mediamente resistente al calcare attivo; se innestato su franco cresce bene su suoli con valori di calcare inferiori all'8%, mentre va incontro a severe limitazioni della crescita solo in presenza di contenuti maggiori del 12%; risulta più sensibile quando innestato su portinnesti di susino, tollerando percentuali massime del 10%.

36.6.8. Schema di valutazione

Si riporta di seguito (tabella 36.7) lo schema di valutazione delle limitazioni pedologiche alla coltivazione dell'albicocco, derivante dal lavoro svolto da I.TER nell'ambito del progetto "Catalogo dei suoli della pianura emiliano romagnola" finanziato dal Servizio Sviluppo Sistema Agro-alimentare ai fini della L.R.52/92, e revisionato da Paola Pirazzini (CISA M. Neri) e Carla Scotti (I.TER) nel dicembre 2005.

Tabella 36.7. Schema di valutazione delle limitazioni pedologiche alla crescita dell'albicocco su diversi portinnesti.

Caratteristiche pedologiche	Gruppi di portinnesti	Intensità delle limitazioni		
		assenti o lievi	moderate	severe
Profondità utile alle radici (cm)	Franco, Mirabolano da seme, Mirab. 29C, Mr.S. 2/5	> 100	50 - 100	< 50
Tessitura	Franco	media, moderatamente grossolana	moder. fine, fine, grossolana	
	Mirabolano da seme, Mirab. 29C, Mr.S. 2/5	media, moderatamente grossolana	moderatamente fine	grossolana, fine
Fessurazione	Franco	bassa	media	forte
	Mirabolano da seme, Mirab. 29C, Mr.S. 2/5	bassa		media, forte
Salinità (EC 1:5 dS m ⁻¹)	Franco, Mirabolano da seme, Mirab. 29C, Mr.S. 2/5	< 0,4	0,4 - 0,8	> 0,8
Sodicità (ESP)	Franco, Mirabolano da seme, Mirab. 29C, Mr.S. 2/5	< 8	8 - 10	> 10
Rischio di inondazione: inondabilità	Franco, Mirabolano da seme, Mirab. 29C, Mr.S. 2/5	assente o lieve	moderato	alto
Rischio di inondazione: durata	Franco	estremamente breve, molto breve	breve	lunga, molto lunga
	Mirabolano da seme, Mirab. 29C, Mr.S. 2/5	estremamente breve, molto breve, breve	lunga	molto lunga
Disponibilità di ossigeno	Franco	buona	moderata	imperfetta, scarsa, molto scarsa
	Mirabolano da seme, Mirab. 29C, Mr.S. 2/5	buona, moderata	-	imperfetta, scarsa, molto scarsa
Reazione (pH)	Franco, Mirabolano da seme, Mirab. 29C, Mr.S. 2/5	6,5 - 7,5	5,4 - 6,5; 7,5 - 8,5	< 5,4; > 8,5
Calcare attivo (%)	Franco	< 8	8 - 12	> 12
	Mirabolano da seme, Mirab. 29C, Mr.S. 2/5	< 7	7 - 10	> 10

Bibliografia di riferimento

- AA., VV., 1991. *Frutticoltura speciale*. Reda, Roma.
- AA., VV., 1996. *Linee tecniche di produzione integrata. Albicocco*. Suppl. Terra e Vita, 20.
- BALDINI, E., 1986. *Arboricoltura Generale*. CLUEB, Bologna.
- FAO, 2004. www.fao.org.
- ISTAT, 2004. www.istat.it.
- LANDI, R., 1999. *Agronomia e ambiente*. Edagricole, Edizioni Agricole, Bologna.
- MATTA, A., 2000. *Fondamenti di patologia vegetale*. Patron Editore, Bologna.
- MATTATELLI, B., PERSIANI, A., LACERTOSA, G., DICHIO, B., CELANO, G., 2002. *La coltura dell'albicocco in Basilicata: tecniche produttive e destinazioni industriali*. Frutticoltura, 3, 41-55.
- NASI, F., LAZZAROTO, R., GHISI, R., 1994. *Coltivazioni arboree*. Liviana Editrice, Padova.
- PELLEGRINO, S., PIRAZZINI, P., 1997. *Varietà tardive di albicocco per il Nord*. Frutticoltura, 7/8, 31-34.
- PENNONE, F., 1997. *La coltura dell'albicocco nelle aree meridionali*. Frutticoltura, 7/8, 37-39.
- PENNONE, F., BERRA, L., VITI, R., GUERRIERA, R., 2005. *Liste varietali in frutticoltura 2005. Albicocco*. Suppl. Terra e Vita, 24, 6-14.
- PIRAZZINI, P., 2002. *I portinnesti dell'albicocco*. Suppl. L'Informatore Agrario, 51, 5-8.
- REGIONE EMILIA-ROMAGNA, 2005. *Disciplinare di produzione integrata dell'albicocco*. www.ermesagricoltura.it/wcm/ermesagricoltura/consigli_tecnici/disciplinari/sezione_disciplinari/s_nome_coltura/s_frutticole/s_albicocco.htm

Ministero delle Politiche Agricole, Alimentari e Forestali
Osservatorio Nazionale Pedologico e per la Qualità del Suolo Agricolo e Forestale

In collaborazione con:
International Union of Soil Sciences
Società Italiana della Scienza del Suolo
Commissione VI - Uso e Conservazione del Suolo

SCOTTI, C., 2006. *La conoscenza dei suoli applicata alla coltivazione di colture arboree*. In: Costantini, E.A.C. (Ed.), *Metodi di valutazione dei suoli e delle terre*, Cantagalli, Siena, pp. 922.

Collana dei metodi analitici per l'agricoltura diretta da Paolo Sequi, vol. 7

CRA - Consiglio per la Ricerca e la Sperimentazione in Agricoltura
Istituto Sperimentale per lo Studio e la Difesa del Suolo, Firenze

37. La conoscenza dei suoli applicata alla coltivazione di colture arboree

Carla Scotti¹

37.1. Premessa.....	2
37.2. Schemi di valutazione	3
37.3. Applicazione dello schema: Carte delle limitazioni pedologiche alle colture arboree.....	6
37.4. Orientamenti desumibili dagli schemi e dalle carte derivate.....	7
37.5. Carte di supporto	9
37.6. Discussione dei risultati	10
Bibliografia di riferimento.....	11

37.1. Premessa²

Il suolo è uno dei fattori da prendere in considerazione quando s'intende realizzare un nuovo impianto di colture arboree. Dai documenti sui suoli si possono trarre alcune informazioni di base quali tessitura, contenuto di calcare attivo, pH e problemi di ristagno idrico, la cui valutazione assume carattere preliminare ad ogni ulteriore successiva scelta. Nel progetto di metodologie divulgative³, è stato messo a punto un metodo di lavoro per realizzare carte applicative derivate dalla Carta dei Suoli in scala 1:250.000. Il metodo individuato si basa sul coinvolgimento di esperti della disciplina a cui si intende applicare la carta e sulla definizione di schemi di valutazione che correlano le esigenze edafiche delle piante con le classi potenziali di crescita. In Emilia Romagna tale metodo è stato applicato nell'elaborazione e aggiornamento di

¹ I.TER – Società Cooperativa

² Questo testo è stato redatto con il contributo di: Andrea Giapponesi (Regione Emilia Romagna SSSA); Giampaolo Sarno (Regione Emilia Romagna SSSA); Ugo Palara (CISA M. Neri); Roberto Colombo (CISA M. Neri); Paola Pirazzini (CISA M. Neri); Sandro Bolognesi (Azienda Agraria Sperimentale M. Marani).

³ Progetto "Definizione metodologica e aggiornamento di tipo speditivo della carta dei suoli regionale 1:250.000 e delle metodologie di divulgazione dei dati" (Delibera di Giunta Regione Emilia Romagna n. CARp990882 del 15.09.99.) a cui I. TER ha collaborato tramite convenzione di ricerca con il Servizio Geologico Sismico e dei Suoli.

schemi di valutazione inerenti alla crescita dei principali tipi di portinnesto di pero e pesco (riportati nei capitoli colturali precedenti), utilizzati per produrre carte applicative derivate dalla Carta dei suoli di Pianura in scala 1:50.000¹.

In questo capitolo verranno riportati gli schemi esempi di valutazione di pero, pesco, melo, ciliegio, actinidia, susino e albicocco, che derivano dall'interscambio tra i pedologi di I.TER, i tecnici sperimentatori del CISA M. Neri di Imola e del CRPV di Cesena e i tecnici esperti di colture arboree afferenti al servizio di assistenza tecnica alle aziende agricole della Regione Emilia Romagna. In particolare, gli schemi di valutazione di pero e pesco hanno seguito un processo di "validazione" e "condivisione" avanzato, che ha portato alla produzione di carte applicative anch'esse condivise da tecnici ed esperti nella coltivazione di pero e pesco.

37.2. Schemi di valutazione

Gli schemi di valutazione prendono in esame i caratteri del suolo in grado di condizionare direttamente la crescita delle piante e non considerano i caratteri climatici e quelli (in genere esterni al suolo) che possono influenzare le pratiche gestionali e i rischi di degradazione del suolo e dell'ambiente; inoltre, non tengono conto dell'interazione tra i caratteri stessi considerati. Essi costituiscono una sintesi descrittiva delle esigenze edafiche delle piante e rappresentano uno strumento metodologico "trasparente" e "condivisibile" per la produzione di Carte applicative derivate dalle Carte dei suoli.

Gli schemi di valutazione presentati in questo capitolo derivano, quindi, dall'aggiornamento e rielaborazione di quelli riportati nei Cataloghi regionali dei suoli dell'Emilia Romagna² e sono il risultato di un gruppo di lavoro interdisciplinare, composto da:

- Andrea Giapponesi (RER): responsabile regionale del progetto "Coordinamento settore suolo"³;
- Giampaolo Sarno (RER): co-responsabile regionale del progetto "Coordinamento settore suolo";
- Carla Scotti (I.TER): responsabile tecnico scientifico del progetto "Coordinamento settore suolo" e referente pedologo per il progetto "Rilancio della Peschicoltura in Emilia Romagna"¹;

¹ Carta dei suoli della pianura emiliano romagnola, Servizio Geologico, Sismico e dei Suoli, ed 1998, www.regione.emilia-romagna/cartpedo.

² "Catalogo regionale dei principali tipi di suolo agricoli della collina e montagna", Servizio Sviluppo Sistema Agro-alimentare, Servizio Geologico, Sismico e dei Suoli, I.TER, 1996 e "Catalogo regionale dei suoli della pianura emiliano romagnola", Servizio Sviluppo Sistema Agro-alimentare, Servizio Geologico, Sismico e dei Suoli, I.TER, 1998; www.gias.net.

³ Progetti I.TER "Coordinamento settore suolo" finanziati dal Servizio Sviluppo Sistema Agro-alimentare, RER ai fini della L.R. 28/98 piani stralcio 2000, 2001, 2002, 2003 e 2004.

- tecnici coordinatori provinciali per l'assistenza tecnica: Maurizio Fiorini e Guido Ghermandi per Bologna, Fausto Grimaldi per Ferrara, Gabriele Marani per Ravenna e Massimo Fornaciari per Modena;
- tecnici agronomi esperti in pericoltura: Sandro Bolognesi; Stefano Vergnani, Stefano Bretta, Sergio Crovini;
- esperti del Centro Ricerche Produzioni Vegetali (CRPV): G. Mascalzoni;
- esperti del CISA M. Neri: Ugo Palara, Roberto Colombo e Paola Pirazzini.

Il Gruppo di lavoro ha basato l'aggiornamento e la rielaborazione degli schemi con riferimento alle esperienze maturate in ambito regionale nel settore frutticolo e alle indicazioni desunte da bibliografia. I valori soglia utilizzati negli schemi sono stati "tarati" visitando alcuni impianti arborei e osservando sia le caratteristiche del suolo che lo stato vegeto-produttivo delle piante. In particolare gli schemi di valutazione sono il risultato di un processo di "condivisione" e "validazione" attivato anche tramite la produzione di carte applicative; tali carte derivano dall'applicazione dello schema di valutazione alle caratteristiche dei suoli descritte nel Catalogo regionale dei suoli di pianura e nella rispettiva Carta dei suoli in scala 1:50.000. Il percorso di "validazione" è stato condotto tramite la revisione da parte del gruppo di lavoro della cartografia applicativa, realizzata attraverso approssimazioni successive basate sul progressivo affinamento dello schema interpretativo che mette in relazione parametri pedologici e risposta delle colture. Infatti, sulla base della Carta applicativa si sono individuate le "zone dubbie", cioè le zone in cui gli esperti conoscevano impianti che potenzialmente davano risposte di crescita non allineate con l'informazione della carta. Mediante sopralluoghi collegiali il gruppo di lavoro ha verificato presso frutteti rappresentativi gli aspetti critici mano a mano emersi nell'analisi degli elaborati, circostanziando opportunamente le ipotesi interpretative per correggerne gli esiti. Questi momenti di confronto in campo si sono rivelati fondamentali per facilitare la comprensione reciproca tra pedologi e agronomi, superando gli ostacoli determinati da approcci disciplinari e terminologie diverse. Grazie a queste verifiche e ad ulteriori incontri di confronto, gli schemi di valutazione sono stati revisionati (metodo per approssimazioni successive) portando alla produzione dello schema e della relativa carta finale che è stata "validata" dai tecnici (figura 37.1).

Gli schemi di valutazione comprendono tre classi d'intensità delle limitazioni e si riferiscono a suoli gestiti secondo criteri agronomici sostenibili. La definizione delle tre classi è la seguente:

- limitazioni assenti o lievi: suoli che non presentano alcuna limitazione o che si prestano ad ospitare il portinnesto favorendo l'espressione della piena potenzialità produttiva quali-quantitativa; i suoli possono essere coltivati con tecniche ordinarie e non richiedono interventi specifici, oltre

¹ Progetto CRPV "Rilancio della peschicoltura in Emilia Romagna" Servizio Sviluppo Sistema Agro-alimentare, RER piano stralcio 2004-2005 L.R.28/98.

- quelli dettati da eventuali specifiche esigenze dei singoli portinnesti, atti a migliorare la naturale potenzialità dei suoli;
- limitazioni moderate: i suoli presentano alcuni fattori di limitazione che richiedono interventi agronomici di correzione al fine di recuperare la piena potenzialità quali-quantitativa che il portinnesto può esprimere;
 - limitazioni severe: i suoli presentano fattori severamente limitanti la coltivazione; eventuali interventi agronomici correttivi possono essere troppo onerosi oppure non sufficienti a recuperare la piena potenzialità quali-quantitativa del portinnesto.

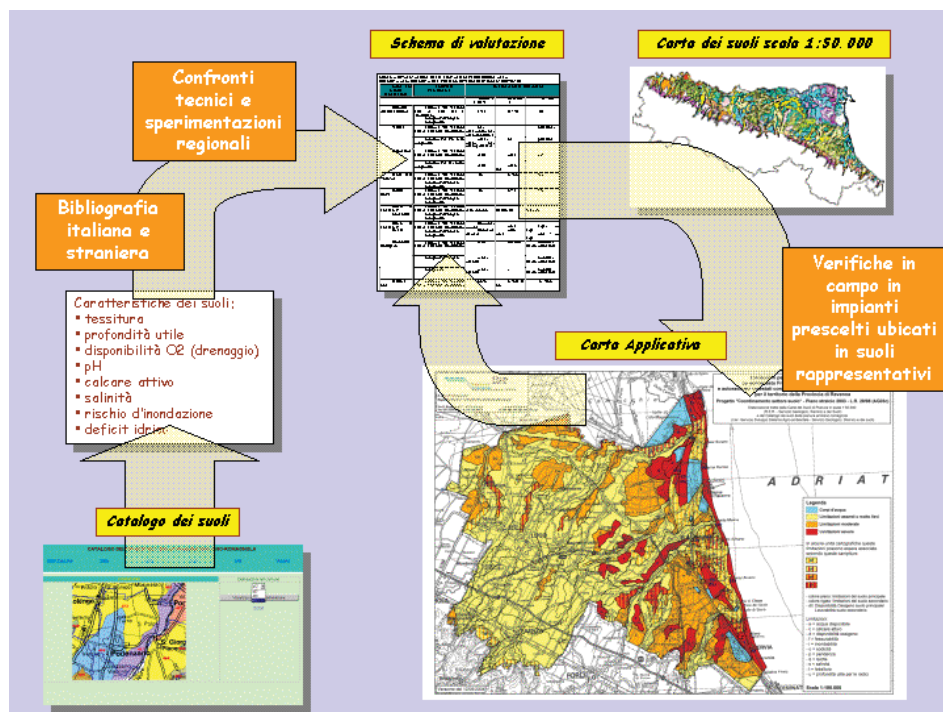


Figura 37.1. Diagramma di flusso.

Per valutare il grado d'intensità delle limitazioni delle singole caratteristiche pedologiche si sono considerate le seguenti profondità:

- 100 cm per la tessitura dell'orizzonte maggiormente limitante;
- 60 cm per reazione (pH);
- 60 cm per il calcare attivo;
- 120 cm per la salinità.

I "valori soglia" dei caratteri del suolo attribuiti alle tre classi di limitazioni pedologiche fanno riferimento alle classi desunte dal manuale di descrizione dei suoli della Regione Emilia Romagna al fine di permettere l'applicazione dello schema alle caratteristiche dei suoli regionali (definite appunto secondo il

suddetto manuale) e poter così produrre le carte applicative. Questo aspetto ha richiesto, ovviamente, la condivisione della terminologia pedologica e l'adeguamento alle sue classazioni. In appendice al presente volume è riportata la descrizione delle caratteristiche pedologiche considerate all'interno degli schemi di valutazione.

37.3. Applicazione dello schema: Carte delle limitazioni pedologiche alle colture arboree

I risultati dell'applicazione dello schema di valutazione alla Carta dei suoli sono le Carte delle limitazioni pedologiche alle varie colture arboree. Le Carte sono così chiamate in funzione della consapevolezza che gli schemi di valutazione non prendono in considerazione le esigenze climatiche della pianta e non sono collegati a prove sperimentali che correlano l'effettiva risposta produttiva (qualitativa e quantitativa) delle piante; per tali ragioni si è deciso di non usare il termine "vocazione". In particolare, le Carte delle limitazioni pedologiche riportano le aree di suolo con 3 colori diversi secondo le classi delle limitazioni pedologiche dello schema di valutazione:

- limitazioni assenti o lievi: colore giallo;
- limitazioni moderate: colore arancione;
- limitazioni severe: colore rosso.

Nelle carte, oltre la colorazione delle diverse classi di limitazione, viene riportata, all'interno della delineazione, la sigla del o dei caratteri del suolo che determinano le limitazioni ai fini dell'attribuzione della classe. La definizione della classe di limitazione viene elaborata in funzione dello schema di valutazione e degli eventuali caratteri dei suoli che possono influire sulla potenzialità quali-quantitativa dei portinnesti. Il metodo di attribuzione della classe di limitazione si basa sul carattere del suolo maggiormente limitante. In particolare si sono le seguenti sigle di tabella 37.1.

Tabella 37.1. Sigle usate per i fattori limitanti.

Sigla	Limitazione del suolo
c	calcare attivo
d	disponibilità ossigeno
f	fessurabilità
i	inondabilità
o	sodicità
r	reazione
s	salinità
t	tessitura
u	profondità utile per le radici

Per rendere visibile e trasparente il metodo di utilizzo dello schema di valutazione e quindi dell'attribuzione di ciascun suolo alla classe di limitazione, sono state redatte apposite tabelle che riportano i parametri dei suoli presenti nella Carta dei Suoli in scala 1.50.000 (figura 37.2). In particolare, la reazione (pH) non è stata presa in considerazione ai fini dell'attribuzione delle classi; il gruppo interdisciplinare ha valutato che i valori tipici di pH dei suoli coltivati a pero e pesco nella pianura emiliano romagnola, che mediamente sono tra 7,8 e 8,2, sono correggibili con tecniche ordinarie di concimazione con chelati di ferro.

SUOLO	Profondità utile	Fessurabilità	Disp. O ₂	Salinità	Sodici	Tex _{lim 100}	Inond.	Cal. att			Limitazioni Portinnesto FRANCO	Limitazioni Portinnesto COTOGNO BA29
								N° campioni	Media	Dev. std.		
AGO1	moderatamente elevata (50-100 cm)	bassa	imperfetta	estrem. salino (EC5 >2 dS/m) nell'orizz. di sup.	assente (ESP <8)	da grossol. a mod. Grossol.	nessuna o rara (fino a 5 volte/100 anni)	7	0,9	0,7	3 d-s-t	3 d-s-t
BTR1	Moderat. elevata (50-100 cm) sopra strati compatti a forte componente argillosa, a idromorfia temporanea	media	moderata	non salino (EC5 <0,15 dS/m)	assente (ESP <8)	da moderat. fine a fine	nessuna o rara (fino a 5 volte/100 anni)	21	3,7	0,6	2 u	3 c
CTL1	molto elevata (>150 cm)	bassa	buona	non salino (EC5 <0,15 dS/m)	assente (ESP <8)	da media a moderat. fine	nessuna o rara (fino a 5 volte/100 anni)	2	1,5	0,7	assente	assente

Figura 37.2. Parametri dei suoli presenti nella Carta dei Suoli in scala 1.50.000.

Nei casi di poligoni (delineazioni) della Carta dei Suoli caratterizzati dalla co-presenza di suoli con diversa potenzialità alla crescita delle piante, si è optato per la seguente modalità di colorazione e siglatura: “colori campiti”, in cui il colore predominante è relativo alla classe di potenzialità quali-quantitativa attribuita al suolo principale e il colore subordinato è relativo alla classe di potenzialità attribuita al suolo secondario; “sigle composte”: ad esempio, “d/c” equivalente a disponibilità ossigeno che limita il suolo principale e calcare attivo che limita il suolo secondario (figure 37.3 e 37.4).

37.4. Orientamenti desumibili dagli schemi e dalle carte derivate

Le Carte applicative costituiscono un orientamento per la scelta dei portinnesti maggiormente idonei al suolo presente nell'appezzamento; è in ogni caso sempre indispensabile verificare in campo le caratteristiche dei suoli tramite carotaggi con trivella. Infatti, in campo si possono studiare i campioni di terra prelevati con trivella fino a una profondità di circa 120 cm tramite semplici valutazioni che riguardano principalmente:

- la tessitura, cioè il contenuto di sabbia limo e argilla: tramite la manipolazione di un impasto di terreno con acqua, un tecnico “allenato”

può determinare la tessitura con un errore attorno al 5% (quindi del tutto trascurabile ai fini di una corretta valutazione agronomica);

- la presenza di eventuali problemi di ristagno: verificando nel campione di terra la presenza o assenza di colori grigi abbinati a colori rossastri, è possibile individuare la presenza/assenza di questo tipo di problemi, il ferro infatti in condizioni di anaerobiosi per eccesso di acqua assume colori grigiastri;
- il contenuto di calcare totale: utilizzando una soluzione di acido cloridrico diluito al 10% e versandone alcune gocce su un campione di suolo, è possibile determinare il contenuto di calcare totale in base al grado della reazione (effervescenza da assente a violenta);
- pH: utilizzando un indicatore universale e versandone alcune gocce su un campione di terreno, posto in una vaschetta di porcellana, è possibile determinare il pH in funzione della variazione cromatica dell'indicatore.

Gli schemi di valutazione possono essere migliorati allargando la condivisione ad altri esperti e visitando un numero maggiore d'impianti e, soprattutto, mantenendo l'interscambio con gli sperimentatori in modo che le nuove sperimentazioni siano eseguite in suoli conosciuti e rappresentativi.

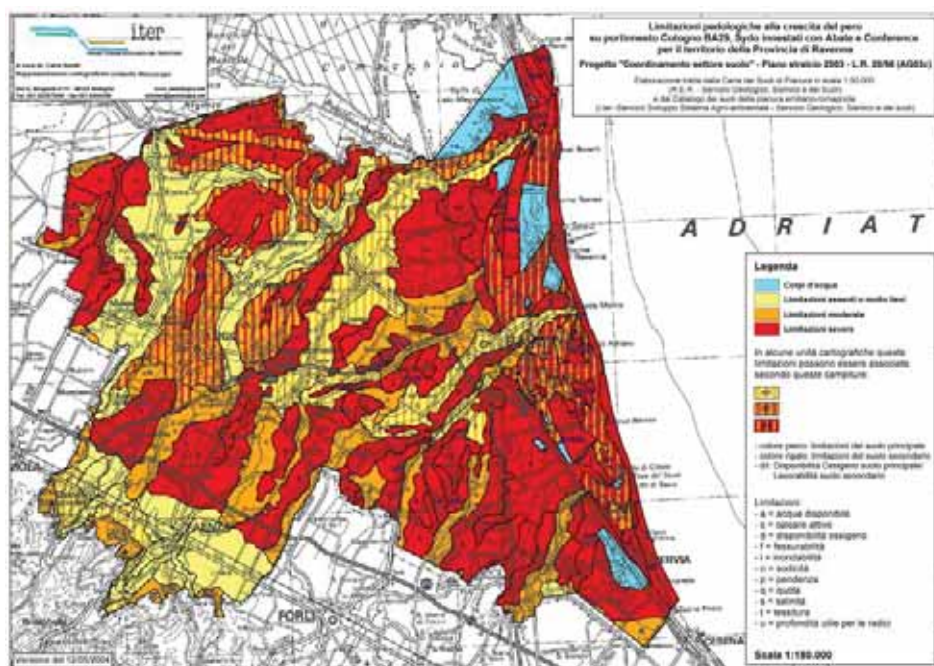


Figura 37.3. Carta delle limitazioni pedologiche per la crescita del pero su portinnesto Cotogno BA29, Sydo.

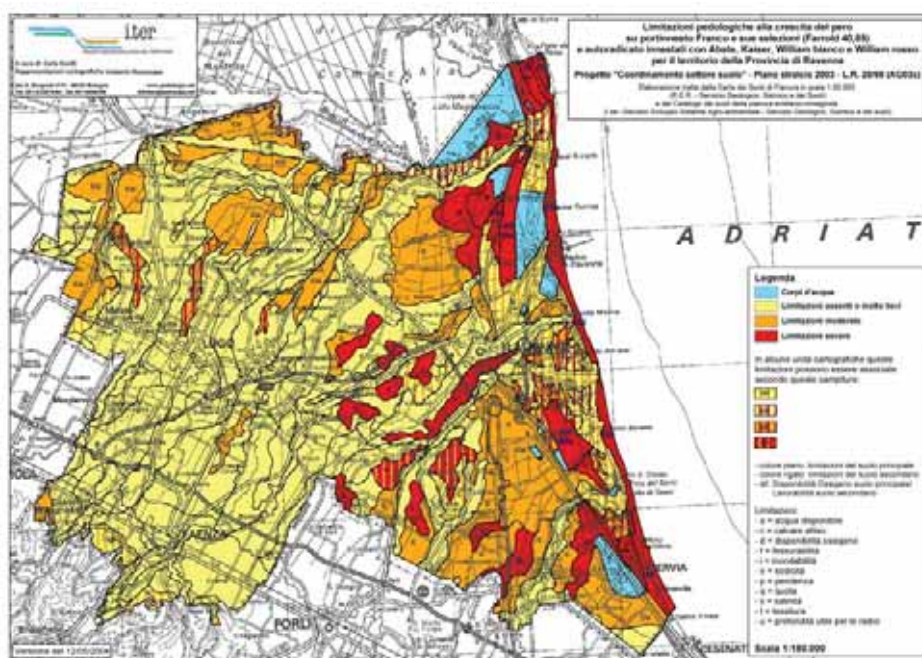


Figura 37.4. Carta delle limitazioni pedologiche per la crescita del pero su portinnesto Franco.

37.5. Carte di supporto

In Emilia Romagna, il gruppo di lavoro ha considerato che le Carte applicative devono essere affiancate da informazioni inerenti alcuni consigli pratici di gestione agronomica in funzione dei principali ambienti pedologici. Per questo è stata realizzata la Carta delle Terre, che illustra i principali ambienti pedologici dei territori provinciali. La Carta delle Terre rappresenta una sintesi della Carta dei Suoli di pianura in scala 1:50.000 in cui sono stati raggruppati ambienti e suoli che hanno un comportamento simile rispetto alle potenzialità del suolo per la crescita dei vari portinnesti considerati. Essa ha come allegato una legenda sintetica che descrive in prima analisi le considerazioni sulla gestione agronomica dei suoli in funzione dei portinnesti. La carta è infatti volta a risaltare le differenze pedologiche, e il conseguente intervento agronomico esistenti in ambienti diversi che ricadono nella stessa classe di limitazione. Ad esempio, in suoli di medio impasto ben drenati, in cui non sussistono limitazioni pedologiche per la risposta di crescita della pianta, può essere necessario l'intervento di tecniche colturali in grado di contenere il vigore vegetativo perché la pianta tende a vegetare molto a scapito della produzione in frutti; diversamente in suoli moderatamente fini, pur valutando sempre assenti le limitazioni, la risposta di crescita è in maggior equilibrio tra la produzione di verde e di frutto. Anche la realizzazione della Carta delle

Terre segue il processo per approssimazioni successive e la legenda rappresenta un primo approccio di lavoro.

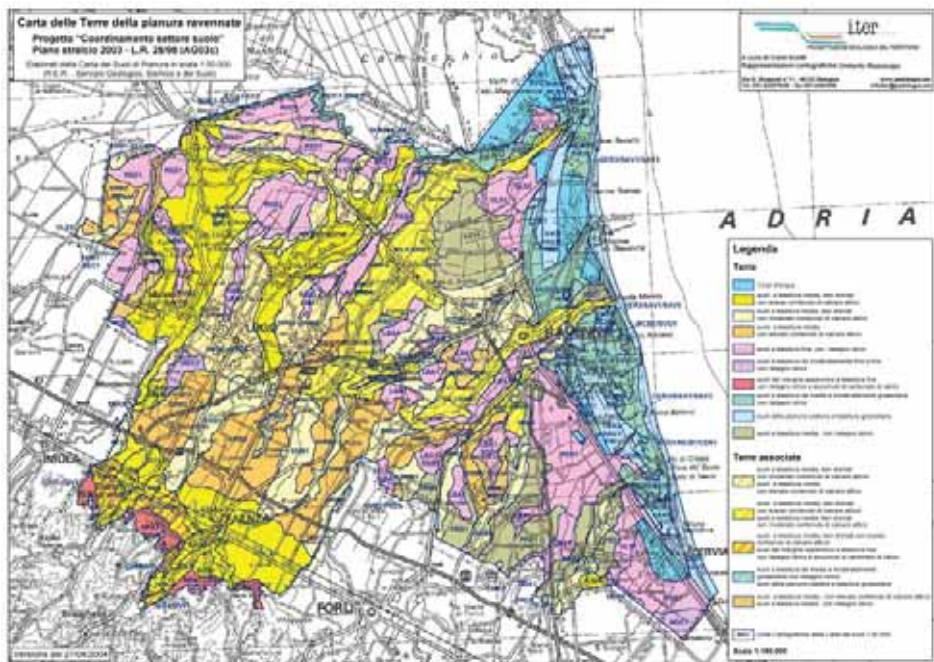


Figura 37.5. Carta dell Terre della pianura ravennate.

37.6. Discussione dei risultati

In sintesi, il processo di lavoro utilizzato è stato il seguente:

- consapevolezza dei tecnici del suolo che la definizione di schemi di valutazione fruibili avviene solo se c'è un lavoro di interscambio tra i produttori di Carte dei Suoli e gli utilizzatori stessi: ciò porta al coinvolgimento, oltre ai pedologi, degli interlocutori esperti in materia, quali tecnici competenti del settore produttivo specifico e sperimentatori;
- per “condividere” e “validare” lo schema di valutazione è indispensabile la fornitura per “approssimazioni successive” di prototipi di Carte dei Suoli applicative che vengono di volta in volta sottoposte alla verifica dei tecnici potenziali fruitori.

È importante sottolineare che il lavoro del gruppo interdisciplinare ha permesso di:

- condividere esperienze e conoscenze per integrare informazioni sul suolo e risposta degli impianti produttivi;
- condividere gli schemi di valutazione che correlano i caratteri del suolo alla risposta produttiva (sia in termini qualitativi che quantitativi);

- collaudare e infine validare lo schema di valutazione e la corrispettiva carta applicativa finale;
- facilitare la comprensione d'uso delle carte dei suoli e di conseguenza avviarne l'utilizzo; in effetti i principali fruitori dello schema e della carta derivata essendo stati coinvolti nel processo e riconoscendolo anche come proprio, non solo lo possono utilizzare, ma anche divulgare ai propri colleghi di settore.

Il risultato del gruppo di lavoro ha permesso l'individuazione, per aree territoriali, delle risposte potenziali di crescita e produttività del pero e del pesco in funzione dei principali portinnesti e varietà utilizzate in regione; ciò consente di:

- conoscere i caratteri dei suoli che maggiormente influenzano la crescita della coltura del pesco (ad esempio, calcare attivo);
- realizzare nuovi impianti in condizioni pedologiche ottimali e con l'utilizzo di portinnesti idonei;
- individuare aree preferenziali per la coltivazione del pero e del pesco e contribuire così alla valorizzazione del territorio;
- contribuire alla pianificazione strategica a livello di grandi strutture produttive (ad esempio, programmazione della scelta di portinnesti o di varietà in funzione degli ambienti pedologici).

Va infine precisato che l'obiettivo principale di queste Carte applicative è quello di rendere fruibili le informazioni disponibili per consentire l'ottimizzazione delle scelte imprenditoriali delle aziende agricole; si tratta quindi di un ausilio che suggerisce indicazioni tecniche senza imporre limiti o vincoli.

Gli esempi della Carte applicative prodotte si possono consultare in INFOSUOLO (www.suolo.it) nella sezione "Carte applicative dei Suoli a supporto dell'agricoltura". Altri siti di riferimento sono: www.gias.net e www.regione.emilia-romagna/cartpedo.

Bibliografia di riferimento

- AA.VV., 2005. *I portinnesti delle piante da frutto*. Notiziario CRPV N.71 Novembre.
- REGIONE EMILIA ROMAGNA, CERAS, 1996. *I suoli delle Aziende Sperimentali*.
- SERVIZIO SVILUPPO SISTEMA AGRO-ALIMENTARE, SERVIZIO GEOLOGICO, SISMICO E DEI SUOLI, I.TER, 1996. *Catalogo regionale dei principali tipi di suolo agricoli della collina e montagna*.
- SERVIZIO SVILUPPO SISTEMA AGRO-ALIMENTARE, SERVIZIO GEOLOGICO, SISMICO E DEI SUOLI, I.TER, 1998. *Catalogo regionale dei suoli della pianura emiliano romagnola*.
- SCOTTI, C, 2001. *Conoscere il suolo*. Il divulgatore, n.8-9 Agosto-Settembre.

Ministero delle Politiche Agricole, Alimentari e Forestali
Osservatorio Nazionale Pedologico e per la Qualità del Suolo Agricolo e Forestale

In collaborazione con:
International Union of Soil Sciences
Società Italiana della Scienza del Suolo
Commissione VI - Uso e Conservazione del Suolo

GIORDANO, A., 2006. *Conifere forestali: Abete bianco, Abete rosso, Larice e Pino silvestre*. In: Costantini, E.A.C. (Ed.), *Metodi di valutazione dei suoli e delle terre*, Cantagalli, Siena, pp. 922.

Collana dei metodi analitici per l'agricoltura diretta da Paolo Sequi, vol. 7

CRA - Consiglio per la Ricerca e la Sperimentazione in Agricoltura
Istituto Sperimentale per lo Studio e la Difesa del Suolo, Firenze

38. Conifere forestali: Abete bianco, Abete rosso, Larice e Pino silvestre

*Andrea Giordano*¹

38.1. Introduzione	3
38.2. Abete bianco	4
38.2.1. Inquadramento sistematico e principali caratteristiche botaniche	4
38.2.2. Varietà	5
38.2.3. Propagazione	6
38.2.4. Esigenze pedoclimatiche	6
38.2.5. Tecniche colturali	7
38.2.6. Avversità	8
38.2.7. Attitudine delle terre all'abete bianco	9
38.2.8. Caratteri funzionali dei suoli	9
38.3. Abete rosso	11
38.3.1. Inquadramento sistematico e principali caratteristiche botaniche	11
38.3.2. Varietà	12
38.3.3. Propagazione	13
38.3.4. Esigenze pedoclimatiche	13
38.3.5. Tecniche colturali	15
38.3.6. Attitudine delle terre alla coltivazione dell'abete rosso	17
38.3.7. Caratteri funzionali dei suoli	18
38.4. Larice	18
38.4.1. Inquadramento sistematico principali caratteristiche botaniche	18
38.4.2. Varietà	19
38.4.3. Propagazione	20
38.4.4. Esigenze pedoclimatiche	20
38.4.5. Tecniche di coltivazione	22
38.4.6. Avversità	23
38.4.7. Attitudine delle terre alla coltura del larice	24
38.4.8. Caratteri funzionali dei suoli	24
38.5. Pino silvestre	25

¹ Università degli Studi di Torino - Facoltà di Agraria, Dipartimento di Economia e Ingegneria Agraria Forestale e Ambientale

38.5.1. Inquadramento sistematico e principali caratteristiche botaniche	25
38.5.2. Varietà	26
38.5.3. Propagazione	26
38.5.4. Esigenze pedoclimatiche	26
38.5.5. Tecniche colturali	28
38.5.6. Avversità	29
38.5.7. Attitudine delle terre all'impiego del pino silvestre	29
38.5.8. Caratteri funzionali dei suoli.....	30
Bibliografia	30

38.1. Introduzione

Indicazioni relative alle esigenze dell'Abete bianco, Abete rosso, Larice e Pino silvestre, qualora tali alberi vengano usati per rimboschimenti o piantagioni, possono essere dedotte dalle osservazioni sulle formazioni vegetali intorno alla stazione considerata. Occorre però evitare generalizzazioni sulla presenza di singole specie, dal momento che una specie, pur nell'ambito dello stesso clima, può comportarsi in modo diverso secondo le condizioni edafiche; così come su uno stesso suolo si possono verificare risposte diverse da parte delle piante forestali qualora vi siano differenze bioclimatiche.

La letteratura scientifica, pur fornendo numerose sintesi sulle esigenze climatiche e edafiche delle specie forestali, risente tuttavia di un grado di generalizzazione che talora non pare adattarsi alle diverse situazioni locali. Tali generalizzazioni sono, infatti, legate al concetto di ortotipo mentre, soprattutto al limite del loro areale, le specie forestali, potendo avere ampi margini di adattamento, mal si accomodano al concetto dell'ortotipo. Esempi ben noti sono quelli legati alla presenza del faggio e dell'abete bianco in ambienti che non dovrebbero corrispondere al loro areale se non per condizioni microclimatiche relativamente umide.

Riconoscendo la difficoltà, e talora l'impossibilità, di identificare una condizione da "ortotipo", il Servizio Forestale degli Stati Uniti valuta l'attitudine delle terre per le specie forestali riferendola ai *land types* (o *land units*). Ad ogni unità cartografica viene fatto corrispondere un certo numero di specie forestali, scelte tra quelle esistenti o appartenenti alla vegetazione potenziale, gradandole in tre classi: desiderabili, accettabili e meno desiderabili. Questo giudizio viene formulato sulla base del *site index*, ovvero dell'altezza raggiunta dalle piante dominanti o codominanti ad una età di riferimento. Esempi di impiego delle *lands units* nella valutazione delle terre a scopi forestali

sono forniti da Smalley (1982; 1991), Booth e Saunders (1985) e Wenger (1998). Per un maggior dettaglio è previsto il ricorso al livello di stazione, ovvero di site (Barnes et al., 1982; Steele et al., 1983). L'approccio ora detto è vicino a quello della "*land capability*": ogni porzione di superficie terrestre viene esaminata per accertarne la sua compatibilità verso ampi raggruppamenti di usi sostenibili.

FAO (1984) raggruppa gli usi forestali sostenibili, in quattro grandi gruppi:

- per la crescita,;
- per la gestione;
- per la conservazione;
- per la ricreazione.

Le finalità della nostra ricerca, essendo orientate verso la definizione delle caratteristiche e qualità delle terre e dei suoli determinanti per la riuscita di determinate specie vegetali, sono quelle tipiche dell'attitudine delle terre ad un uso specifico (*land suitability to specific use*). Tra i diversi esempi di attitudine delle terre a specie forestali si citano Backer e Broadfoot (1979), Sindou e Madesclaire (1986), Becker e Levy (1988) e Giordano et al., (1988). Nel settore dell'attitudine delle terre sono soprattutto i fattori che la FAO elenca nel gruppo "per la crescita" ad essere interessanti, mentre vengono tralasciati i parametri necessari per definire gli altri tre gruppi. I fattori "per la crescita" sono stati revisionati criticamente sostituendone e/o aggiungendone alcuni sulla base di esperienze recenti (Dotta e Motta, 2000; IPLA, 2001; ERSAL, 2001; Giordano, 2002).

Tenendo conto di quanto detto e delle metodologie indicate si è cercato di definire, sia pure in modo assai generale, i requisiti di alcune singole specie forestali, trattandole dal punto di vista dell'autoecologia, ben sapendo tuttavia che in molti casi la sinecologia è altrettanto, se non più importante ancora, della prima.

38.2. Abete bianco

38.2.1. *Inquadramento sistematico e principali caratteristiche botaniche*

Il genere *Abies* è presente nel mondo con oltre 50 specie spesso tra loro interfeconde. Soltanto due specie partecipano alla foresta boreale: *Abies sibirica* Lebed. in Russia e *Abies balsamea* Mill. nel Nord-America. Nelle altre regioni del mondo si manifesta come specie tipicamente montana, ossia in equilibrio con un clima temperato, ma con adeguate alternanze di periodi di riposo e di attività e con assenza di quelli siccitosi. In Europa e nel bacino del Mediterraneo le specie sono 11: una sola (*Abies alba* Mill.) per il centro e

centro-sud, 5 per il sud (*nordmanniana*, *borisii-regis*, *cephalonica*, *nebrodensis* e *pinsapo*), 3 in Medio oriente (*cilicica*, *bornmulleriana* ed *equi-troiana*) e 3 in Nord-Africa (*numidica*, *marocana* e *tazaotana*).

L'areale dell'abete bianco in Europa e bacino del Mediterraneo è totalmente montano (Pirenei, Massiccio Centrale, Giura, Foresta Nera, Sistema Alpino, Vosgi, Alpi Dinariche, Carpazi, Corsica, Appennino). Soltanto due aree non partecipano all'ambiente montano: Normandia e una zona della Polonia.

Nel post-glaciale, l'abete bianco si è diffuso verso nord partendo da rifugi ubicati più a sud. L'Appennino ha quindi giocato un ruolo di primo piano per tutta l'Europa. Successivamente si è verificato un periodo di ritiro (da 2000 a 600 anni fa) a vantaggio dell'abete rosso e del faggio. Nelle Alpi l'abete bianco è presente in Trentino, sull'altipiano di Asiago, in Cadore e nelle Alpi Carniche: nelle restanti Alpi è più frammentario, essendo mescolato soprattutto con l'abete rosso nell'area centrale e con il larice in quella occidentale. Nell'Appennino i popolamenti sono dispersi e talora sono stati protetti ed estesi in coltura artificiale per opera dei monasteri (Vallombrosa, ad esempio) o dei governi. I residui sub-naturali più significativi sono quelli dell'Abetone (Foce di Campolino) e delle Foreste Casentinesi. Gli aggruppamenti calabresi hanno una particolare importanza sia per la loro estensione che per la loro vitalità.

L'abete bianco è un albero forestale di prima grandezza, potendo raggiungere le dimensioni di 40-50 m di altezza e 2-3 m di diametro. Il tronco è diritto, poco rastremato, invecchiando la cima si appiattisce prendendo la forma "a nido di cicogna". La corteccia è biancastra o cinerina con sfumature argentea sul lato esposto al sole dove si sviluppano colonie di licheni (Pavari, 1952). I rami sono verticillati e tendono all'orizzontale. Gli aghi sono persistenti (fino a 10 anni) verdi scuri con due lineazioni argentea nella pagina inferiore; si differenziano gli aghi di luce che sono arricciati e rigidi dagli aghi di ombra che sono più flessibili. I fiori maschili, di colore giallastro, sono presenti nella parte bassa della chioma mentre quelli femminili, di colore verde, sono concentrati nella parte alta. L'impollinazione è anemofila, in alcuni anni essa è particolarmente evidente ed è conosciuta come "pioggia di zolfo". I coni sono eretti, cilindrici, lunghi fino a 18 cm, verdi e poi viranti al bruno subito prima della disarticolatura. Il sistema radicale, molto robusto, è formato da diverse branche che si approfondiscono nel terreno consentendo alla pianta di sfruttare un notevole volume di terreno ed al tempo stesso conferendo alla pianta una notevole resistenza ai venti.

38.2.2. Varietà

Per molto tempo si è creduto che l'abete bianco fosse una specie stabile, cioè privo di razze geografiche differenziabili. Le prove iniziate da Pavari (1951)

con provenienze dell'Italia meridionale dimostrarono un ritmo di accrescimento e di attività cambiale molto più lunghi rispetto alle provenienze dell'Italia settentrionale. Questa ed altre differenze portarono Giacobbe (1973) a proporre per l'abete bianco dell'Italia meridionale la varietà apennina. Ricerche successive portarono però a considerare che dal Molise verso sud si assiste non tanto ad un cambio di caratteri quanto ad un aumento della variabilità delle popolazioni che è l'espressione della ricchezza genetica (Ciampi et al., 1973, riportati in Bernetti, 1995).

Da prove condotte su 38 provenienze medio-europee è risultato che le provenienze meridionali sono le più resistenti perchè sono geneticamente più ricche (Larsen, 1986, in Bernetti, 1995).

Gli aspetti certi sull'abete bianco, oltre alla confermata ricchezza genetica delle provenienze meridionali, sono:

- esiste una particolarità geografica delle popolazioni dei Pirenei;
- esiste una variazione continua fra le popolazioni dell'Italia Centrale verso nord e nord-est, attribuibile alla selezione prodotta dal clima.

38.2.3. Propagazione

L'abete bianco si propaga soltanto per via generativa. La produzione dei coni inizia tra 30 e 60 anni a seconda che le piante si trovino isolate o in bosco denso. I coni maturano durante l'estate e si disarticolano tra il 15 settembre e il 15 ottobre. I semi per la produzione a fini vivaistici devono essere raccolti quando sono ancora sui coni, questi vengono esposti all'aria e poi i semi vengono estratti a mano o con macchine a movimento attenuato in quanto i semi dell'abete non tollerano colpi. Il seme è poco conservabile e dovrebbe essere usato entro la primavera successiva alla raccolta. Il seme può però essere conservato sotto vuoto alla temperatura da -10 a -15°C. La germinabilità è inferiore al 50%. In vivaio si impiegano 8-10 kg di seme per m². Nascono circa 800 semenzali che devono essere ombreggiati. Al trapianto vi sono 100 piantine m⁻². L'impianto viene effettuato con trapianti 2+2 a radice nuda.

38.2.4. Esigenze pedoclimatiche

L'abete bianco resiste al freddo come l'abete rosso, però, rispetto a quest'ultimo, ha una maggiore necessità di calore. L'abete bianco si trova quindi in stazioni simili a quelle del faggio, ma con minore umidità atmosferica: nelle Alpi, infatti, penetra in alcune valli interne, troppo continentali per il faggio. Nell'Appennino ed in Italia Meridionale appare più termofilo del faggio lasciando a quest'ultimo la possibilità di occupare i crinali mentre discende nella fascia basale mescolandosi con il castagno ed eventualmente con il cerro. L'abete bianco ha un elevato fabbisogno idrico al quale provvedono in parte le piogge ed in parte l'apparato radicale capace di sfruttare volumi consistenti di

terreno. Durante le annate siccitose si verifica una consistente riduzione nell'accrescimento (Corona, 1983 e Spiecker, 1986, riportati in Bernetti, 1995).

L'abete bianco è indifferente alla natura litologica, per la reazione del terreno accetta un'ampia gamma di valori di pH che diviene un fattore limitante solo nei casi di suoli eccessivamente acidi come quelli di alcune brughiere. È esigente per una serie di parametri edafici (Duchaufour, 1988):

- profondità;
- umidità, che però non deve mai divenire ristagno d'acqua;
- dotazione di azoto, specialmente ammoniacale;
- assenza di alluminio;
- *humus* di tipo mull-modor o modor.

Occorre far notare che l'*humus* di tipo mull è sfavorevole perché favorisce lo sviluppo delle erbe nitrofile e dei patogeni.

Per la rinnovazione naturale, l'abete bianco predilige i suoli minerali, mentre in presenza di orizzonti contenenti sostanza organica poco alterata soffre per i seguenti motivi (Mancini, 1959; Burschel, 1964):

- le giovani piantine possono facilmente disseccare;
- l'assorbimento dell'acqua dagli strati profondi è modesto;
- l'adesione del seme alla sostanza organica è imperfetta.

La rinnovazione è ostacolata dalla presenza del rovo (*Rubus idaeus* ed *hirsutus*), dell'*Epilobium angustifolius* e del *Senecio fuchsii*. Viceversa, la rinnovazione dell'abete bianco è ottima quando, oltre al clima favorevole, l'abete è mescolato con il faggio e quando numerose altre specie concorrono a formare la lettiera e l'*humus* (acero, nocciolo, maggiociondolo, sorbo, ecc.).

Nell'ambito della Regione Piemonte, le abetine vengono ripartite in cinque tipi forestali caratterizzati da diverse condizioni edafiche (IPLA, 1996):

- abetina eutrofica, con suoli appartenenti al gruppo degli Eutrudepts e talora all'ordine dei Mollisols;
- abetina mesotrofica con Dystric eutrudepts;
- abetina oligotrofica con Dystrudepts;
- abetina altimontana a megaforbie, dove oltre all'ordine degli Inceptisols possono talora anche comparire alcuni suoli podzolici (Haplorthods);
- abetina endalpica a *Picea* caratterizzata da Inceptisols diversi a seconda della componente litologica.

38.2.5. Tecniche colturali

Senza entrare nei dettagli delle tecniche selvicolturali, per le quali si rimanda a Bernetti (1995), si accenna qui soltanto alle due principali.

Trattamento a taglio saltuario applicato ai boschi con partecipazione di abete bianco

Questo sistema tende a creare un bosco misto a struttura disetaneae con alte provvigioni. L'abete bianco collima molto bene con queste finalità perché tende a rinnovarsi per piccole chiazze disperse. È inoltre tollerante all'ombreggiamento e convive facilmente sia con specie pioniere (larice, pino silvestre) che rappresentano una garanzia nel caso di catastrofi, sia con specie più esigenti (acero, frassino, sorbo, ecc.) miglioratrici della composizione dell'*humus*.

Trattamento a taglio a raso con rinnovazione artificiale applicato all'abete bianco

È stato applicato solo nelle foreste di antica proprietà monastica (Vallombrosa, Camaldoli) o granducale (Abetone, Foreste Casentinesi). La finalità era quella di ricavare un'elevata produzione di legname senza dover intervenire sul faggio. Recentemente sono emerse nuove esigenze nella gestione delle abetine: da un lato favorire la rinnovazione naturale e dall'altro salvaguardare il paesaggio. Nel caso si ritenesse opportuno mantenere questa forma di trattamento si consigliano sesti di impianto 2 x 2 m o leggermente superiori (Paganucci, 1989 in Bernetti, 1995).

38.2.6. Avversità

Tra gli insetti nocivi vanno annoverati quelli corticicoli che si sviluppano soprattutto in concomitanza con periodi siccitosi, che agiscono rendendo più debole l'aderenza tra la scorza ed il legno. Numerose specie di afidi che si insediano sugli aghi sono responsabili della colata zuccherina (manna o melata) che privando le piante di liquido e di zuccheri contribuisce al loro indebolimento. Tra i funghi va segnalata l'*Armillaria mellea* e l'*Heterobasidion annosum*, ambedue agenti del marciume radicale.

Con il termine "moria dell'abete bianco" (*Tannensterben*) si indica un insieme di sintomi patologici di non chiara provenienza. Tali sintomi sono: caduta anticipata degli aghi, modificazione negli aghi del colore, tessuto e contenuto chimico, flusso di liquidi lungo il tronco, cuore bagnato, perdita delle radici fini e maggiore esposizione agli attacchi fungini. Le ipotesi circa l'origine di questo nuovo danno vanno dall'inquinamento atmosferico ai cambiamenti climatici o tutti e due contemporaneamente.

Danni consistenti all'abete bianco possono derivare dagli ungulati che mangiano volentieri i teneri getti del novellame. Una valutazione del carico ottimale, considerando tutte le implicazioni ambientali, sembra indispensabile.

38.2.7. Attitudine delle terre all'abete bianco

Essendo difficile pensare a piantagioni di abete bianco, almeno negli ambienti italiani, si valuterà l'attitudine delle terre da un punto di vista fondamentalmente naturalistico, senza interventi troppo pesanti da parte dell'uomo.

Nella tabella 38.1 sono riassunti i giudizi dati ai principali parametri ambientali (clima e geomorfologia) necessari per la buona riuscita dell'abete bianco. La tabella 38.2 è dedicata ai parametri pedologici e pedoclimatici. Si tratta di dati non quantitativi, da intendersi con un ampio margine di discrezionalità. Tali dati dovranno essere rivisti a mano a mano che nuovi studi e ricerche permetteranno un loro miglioramento.

Tabella 38.1. Esigenze climatiche e geomorfologiche dell'abete bianco.

PARAMETRI AMBIENTALI		VALORI
Clima	luminosità	specie sciafila
	umidità atmosferica	alta ma non eccedente l'85%
	precipitazioni (mm)	1000-1.800
	vento	resistente
	siccità estiva	non resistente
	calore estivo	mediamente esigente
	gelate primaverili	mediamente resistente
Fascia fito-climatica (Pavari, 1916)	<i>Fagetum</i> , sottozona calda e fredda	
	<i>Picetum</i> , sottozona calda	
	<i>Castanetum</i> freddo di tipo 1 (piogge > 700 mm)	
Geomorfologia	substrato	indifferente
	macereti e morene	non confacenti
	altimetria (m)	1.000-1.600

38.7.8. Caratteri funzionali dei suoli

La funzionalità dei suoli sotto copertura di abete bianco soddisfa fondamentalmente a due condizioni (tabella 38.2):

- garantire un tenore di umidità nel suolo sì che il regime di umidità, sia quello udico;
- mantenere una discreta fertilità del suolo che permetta uno sviluppo equilibrato e non competitivo dei semenzali e della vegetazione erbacea.

I termini indicati nelle tabelle 38.1 e 38.2 per la qualificazione delle varie caratteristiche elencate vengono illustrati nei seguenti modelli interpretativi. Per numerosi fattori non si propone un modello interpretativo oggettivamente valido, si è però ritenuto che il non trattare alcuni fattori perché mancavano di

un modello scientificamente numerico fosse una soluzione peggiore rispetto a quella di trattarli in modo qualitativo adimensionale. È questo il caso dei seguenti fattori:

- umidità atmosferica;
- sensibilità alle gelate;
- sensibilità alla siccità;
- sensibilità al vento;
- possibilità di sviluppo in cresta;
- possibilità di sviluppo in conca;
- possibilità di sviluppo sui macereti.

Tabella 38.2. Principali caratteri edafici funzionali per l'abete bianco.

CARATTERISTICHE EDAFICHE	
Regime di umidità del suolo	udico
Regime di temperatura del suolo	mesico e frigido
Profondità utile	media
Scheletro	medio
Tessitura	non argillosa
Macroporosità	elevata
Drenaggio	buono
pH	da acido a lievemente alcalino
Calcare attivo	da assente a debolmente presente
Fertilità chimica	mediamente elevata ¹
Sensibilità alla compattazione	alta
Humus	mull - moder

¹ Una fertilità chimica molto elevata è pregiudizievole alla rinnovazione dell'abete bianco in quanto favorisce la flora nitrofila erbacea che impedisce l'affermarsi dei giovani semenzali.

Nel caso degli altri fattori che ricevono una valutazione di tipo numerico i valori attribuiti corrispondono a situazioni ritenute accettabili. Ad esempio, la profondità indicata nella tabella 38.2 per il pino silvestre è “ridotta” (corrispondente a < 25 cm); questo non vuol dire che il pino silvestre non sarebbe contento di avere una maggior profondità di suolo, ma significa semplicemente che una sua accettabile riuscita può verificarsi anche con la profondità indicata.

Profondità utile (profondità totale del terreno - % in volume dello scheletro):

- elevata > 75 cm;
- media 25 – 75 cm;
- ridotta < 25 cm.

Scheletro:

- elevato > 50%;
- medio 20 – 50%;
- ridotto < 20%.

Macroporosità:

- elevata > 5% spazi vuoti visibili a occhio nudo;
- media 1 – 5%;
- ridotta < 1%.

Drenaggio:

- rapido > 12,5 cm h⁻¹;
- moderatamente rapido 6,0 – 12,5 cm h⁻¹;
- buono 2 – 6 cm h⁻¹;
- moderatamente lento 0,5 – 2 cm h⁻¹;
- lento 0,1 – 0,5 cm h⁻¹;
- molto lento < 0,1 cm h⁻¹;
- impedito.

Fertilità chimica (valutata sulla base della % di saturazione in basi nella capacità di scambio cationico, proposta da Varley in Landon, 1984)

elevata > 60%;

media 20 – 60%;

ridotta < 20%.

Sensibilità alla compattazione (viene preso come riferimento il peso specifico apparente, Taylor, 1966)

elevata < 1,3 g cm⁻³;

media 1,3 – 1,6 g cm⁻³;

ridotta > 1,6 g cm⁻³.

38.3. Abete rosso

38.3.1. Inquadramento sistematico e principali caratteristiche botaniche

L'abete rosso (*Picea abies* L. Karst., talora anche citato (Pignatti, 1982) come *Picea excelsa* Link.) è la specie forestale più importante nel mondo per l'ampiezza dell'areale, per l'impiego del suo legname e per la sua diffusione nelle piantagioni per l'arboricoltura da legno (Bernetti, 2005).

Il genere *Picea* annovera 36 specie secondo Schmidt-Vogt (1977). Nella zona boreale le specie sono poche: *P. abies* in Eurasia e *P. glauca* e *P. mariana* nel Nord America. Scendendo verso sud, il numero delle specie di *Picea* diviene

sempre più grande mentre al contempo si stringono i loro areali. La massima concentrazione con 20 specie si verifica lungo il margine cinese dell'Himalaya. Le specie tra loro più lontane sono la *Picea abies* e la *Picea omorika*, il cui incrocio è impossibile, mentre questo è possibile per specie tra loro più vicine. Le *Piceae* americane sono largamente diffuse in Europa per finalità diverse: *P. sitchensis* per l'arboricoltura da legno nei paesi a clima atlantico, *P. glauca*, *P. mariana* e *P. pungens* per impieghi ornamentali nei parchi e giardini.

Il vasto areale dell'abete rosso può essere suddiviso in due: l'areale baltico-siberiano dall'oceano pacifico alla Fennoscandia e l'areale centro-europeo con i monti Sudeti, i Carpazi, le Alpi Transilvane, i monti Rodopi e le Alpi Dinariche.

L'areale italiano è assai esteso sulle Alpi ove in formazioni, sia pure miste, caratterizza la zona fito-climatica del *Picetum*. L'abete rosso può anche essere presente, talora in modo consistente, nelle fasce fito-climatiche del *Fagetum* e del *Castanetum* in basso e del *Larici-cembretum* in alto. Tra le particolarità interessanti in Italia si notano i due fatti seguenti: scarsità dell'abete rosso nelle Alpi occidentali e specialmente nelle Alpi Cozie e Marittime a causa del clima più atlantico che favorisce l'abete bianco; relitti di abete rosso nell'Appennino settentrionale dove la stazione più importante è quella dell'Alpe delle Tre Potenze al confine tra le province di Pistoia, Lucca e Modena.

L'abete rosso è un albero che può raggiungere 60 m di altezza, il fusto è diritto, l'apparato radicale è superficiale, la chioma è generalmente conica. Il portamento dei rami può essere di tre tipi (Bernetti, 2005): risalente a spazzola, piatto oppure pendulo. Le foglie sono persistenti, aghiformi acuminate e inserite a verticillo attorno ai ramuli e lunghe da 15 a 25 mm. L'abete rosso ha fiori maschili in amenti di color roseo-giallastro e fiori femminili in amenti di color porpora dai quali si originano strobili penduli, lunghi da 7 a 15 cm non disquamantisi a maturità e di color giallo-bruno, la corteccia di color bruno rossastro si stacca in placche più o meno spesse. Il legno indifferenziato, resinoso è particolarmente apprezzato per la sua regolarità di struttura e di comportamento nelle costruzioni ed in falegnameria (Giordano e Passet-Gros 1962)

38.3.2. Varietà

L'abete rosso ha un notevole polimorfismo che si manifesta con differenze nella forma delle squame dei coni, nella forma della chioma, nel portamento dei rami secondari, nel colore dei coni, nella tomentosità dei ramoscelli e nella lunghezza e densità degli aghi. Le principali varietà dell'abete rosso sono basate sulla forma delle squame dei coni essendo questa la caratteristica geograficamente più differenziata. Le varietà sono pertanto: acuminata, europea, montana, rotundata, fennica ed obovata.

Nelle Alpi coesistono tutte le varietà, sebbene acuminata e montana siano poco rappresentate. La distribuzione dei caratteri segue in modo abbastanza netto uno schema altimetrico: alle quote superiori le scaglie sono obovate, le chiome strette per evitare i danni da schianti da neve, i rami secondari complanari ed i coni rossicci. Alle quote inferiori la chioma è espansa ed i rami secondari penduli. Gli ecotipi di alta quota, se coltivati in basso entrano presto in vegetazione con il rischio di gelate tardive. Al contrario, gli ecotipi di bassa quota coltivati in alto entrano tardi in vegetazione, ma la prolungano di più in estate (Bernetti, 1995).

La qualità del legno non pare legata ad una varietà piuttosto che un'altra. Il carattere "legno di risonanza", ad esempio, non sembra ereditabile, ma è strettamente associato a stazioni dove quel carattere risulta assorbito nella variabilità interna delle popolazioni.

38.3.3. Propagazione

"La forte variabilità genetica e morfologica nelle popolazioni ha permesso la selezione di molte cultivar (ornamentali, da albero di Natale ed anche da legno) propagate per innesto oppure, con particolari accorgimenti, anche per talea" (Bernetti, 2005).

Le annate di seme hanno frequenze diverse secondo l'altimetria: ogni due anni nel piano montano per passare a una ogni dieci anni al limite della vegetazione arborea. La conservazione del seme, normalmente due o tre anni, può essere migliorata e prolungata mantenendo il seme a temperatura di 1°C. La germinabilità è elevata (75-80%). La semina in vivaio si fa in primavera con 100 g m⁻²; per evitare il marciume radicale si consiglia la semina su uno strato di sabbia. I trapianti 2+2 sono quelli che danno i migliori risultati. La messa a dimora può essere eseguita sia con la tecnica del trapianto che con quella a radice nuda; l'uso dei contenitori è consigliabile alle alte quote dove, per necessità climatica, la messa a dimora deve avvenire durante l'estate.

38.3.4. Esigenze pedoclimatiche

Specie continentale, lucivaga, mesofita, microterma, sensibile all'aridità ed ai danni da vento. Resiste molto bene al gelo tanto che alle alte quote il fattore limitante non è tanto la bassa temperatura, ma piuttosto la brevità del periodo vegetativo. "Per la diffusione fuori dell'ambiente di discesa e per la sicurezza delle colture forestali, si ipotizza un limite caldo in 18°C di temperatura media del mese più caldo con un bisogno di freddo di 0°C di media in gennaio e di almeno 120 giorni di gelo all'anno" (Bernetti, 1995). I rapporti tra abete rosso ed acqua sono assai delicati in quanto questa conifera richiede notevoli quantità di acqua ma al tempo stesso il suo apparato radicale è superficiale e la sua fitta chioma intercetta quantitativi rilevanti di acqua piovana. Il limite di aridità per la coltura dell'abete rosso è di almeno 300 mm di pioggia estiva.

Prospera su tipi diversificati di suolo purché non siano argillosi, compatti, impermeabili, paludosi e poco evoluti (ghiaioni, macereti, ecc.). Il pH può andare da 4 a 7, non tollera calcare attivo. Dato il suo apparato radicale superficiale, si adatta anche su suoli poco profondi dove non vi siano però condizioni di accentuata siccità estiva. Pur essendo indifferente ai diversi tipi di suolo, di fatto lo si ritrova soprattutto sui suoli acidi a causa della minor concorrenza di altre specie. Tollera i suoli torbosi e quelli palustri.

Per la rinnovazione dell'abete rosso, l'*humus* di tipo mull non è favorevole a motivo della forte concorrenza erbacea e dello sviluppo di funghi nocivi; sono invece favorevoli il moder ed il mor, a condizione che questi non siano troppo spessi, che non siano ricoperti da abbondante lettiera (Piussi, 1965) ed a condizione che il mor non induca condizioni di asfissia quando è saturo d'acqua. Le Tacon (1976) fa comunque osservare che il mor comporta carenze di N, P e Mg.

Le ceppaie tagliate, così come gli zolloni risultanti dal ribaltamento delle piante (Piussi, 1986), sono sede privilegiata per la rinnovazione dell'abete rosso per i seguenti motivi:

- bilancio idrico favorevole;
- eliminazione della vegetazione concorrente;
- riduzione del periodo di innevamento;
- alto rapporto C/N che favorisce la micorrizia.

I suoli podzolici presentano alcuni aspetti sfavorevoli nei riguardi della rinnovazione: le giovani piantine di abete rosso devono attraversare lo strato di *humus* grezzo, sovente assai potente, per arrivare all'orizzonte "E", che però è totalmente privo di elementi nutritivi. Per questo motivo in certi ambienti l'abete rosso preferisce i suoli minerali dove arriva a prevalere sul larice (Mancini, 1959). Per contro, peccete adulte si avvalgono dell'acqua trattenuta dall'orizzonte spodico cementato (Giordano, 2002). A tal proposito occorre qui far notare che molte delle vigorose peccete della Foresta Nera in Germania prosperano appunto su suoli podzolici connotati dall'orizzonte spodico indurito (orthstein).

Nelle Alpi italiane i tipi di peccete sono fondamentalmente quello subalpino e quello montano. Le peccete subalpine hanno per lo più suoli acidi o molto acidi, il regime di umidità è sempre udico, la rinnovazione è lenta. La massima altezza raggiungibile è 30 m. Le specie botaniche caratterizzanti sono: *Vaccinium myrtillus*, *Luzula sp.*, *Avenella flexuosa*, *Melampyrum sylvaticum*, *Oxalis acetosella*. Le peccete montane si suddividono in acidofile, xeriche e quelle dei suoli più ricchi. Facendo riferimento a queste ultime, l'abete rosso può raggiungere i 40 m, ma deve competere con l'abete bianco e con il faggio per mantenere la sua posizione. Le specie caratteristiche sono: *Cardamine*, *Sanicula europea* e *Galium odoratum*.

Dappertutto nell'arco alpino italiano su rocce silicate e con clima continentale le formazioni di abete rosso, rese sovente monospecifiche dall'uomo, tendono ad accumulare *humus* grezzo in superficie. Questo

processo comporta fondamentalmente due conseguenze. La prima è un'accentuata separazione tra parte organica e minerale. In queste condizioni l'humus può facilmente seccare durante l'estate precludendo un normale rifornimento idrico per le giovani piantine. La seconda, lo spostamento delle basi, del ferro e dell'alluminio dagli orizzonti superficiali a quelli profondi ad opera degli acidi organici presenti nell'humus grezzo. Viene così ad accentuarsi l'impermeabilità degli strati profondi creando condizioni più favorevoli al mirtillo ed al rododendro che tendono a dominare.

38.3.5. Tecniche colturali

L'abete rosso è considerato, soprattutto in centro-Europa, una specie a rapida crescita adatta per l'arboricoltura da legno. Alcune caratteristiche lo rendono infatti molto interessante per l'arboricoltura: è facile da allevare in vivaio, attecchisce facilmente, cresce rapidamente.

Nel caso di un impiego dell'abete rosso per l'arboricoltura nella fascia montana appare conveniente seguire le seguenti fasi (Burschel e Huss, 1986):

- piantagione con 1.800-2.500 soggetti. Una maggior densità indurrebbe aridità nel suolo ed inoltre farebbe filare in alto le piante rendendole deboli nei confronti del vento e della neve;
- diradamento quando il popolamento ha raggiunto un'altezza dominante di 12 metri (a 20-25 anni);
- marcatura di 200-400 piante di avvenire che vengono potate a 8 metri di altezza (essendo l'autopotatura molto ridotta nell'abete rosso);
- ulteriori diradamenti, cosicché a 70 anni rimangono soltanto le 200-400 piante che vengono lasciate per altri 20-30 anni.

Nel caso invece delle pratiche selvicolturali nelle peccete semi-naturali è opportuno distinguere tra peccete subalpine e montane.

Peccete subalpine di protezione

Per la protezione del suolo vengono sfruttate due caratteristiche dell'abete rosso: il suo potere regimante nei confronti della pioggia e la sua tendenza a svilupparsi "a cespi". Il suo maggior difetto è invece la scarsa profondità delle radici. I sistemi selvicolturali prevedono tagliate di 0,1-0,4 ha a cui segue la rinnovazione artificiale. Il diradamento non deve selezionare singole piante ma gruppi di piante, avendo l'accortezza di non toccare quei gruppi che funzionano da ancoraggio.

Peccete subalpine di produzione

I principali sistemi selvicolturali applicabili sono:

- taglio a strisce, queste sono larghe 1,5 volte l'altezza delle piante e sono orientate lungo le linee di massima pendenza in modo che lo strascico del

materiale legnoso tagliato non attraversa il popolamento in piedi. Vi è però un certo rischio di erosione del suolo e di reptazione;

- taglio a fratte, si tratta di un taglio a raso con prevalente rinnovazione artificiale (parcelle di 1-3 ha). Questo sistema, tradizionale nella Val di Fiemme, è da contemperare con le esigenze paesaggistiche;
- taglio a raso a buche, è costituito da tagliate circolari di 1-1,5 volte l'altezza delle piante. Provoca danni al bosco circostante;
- taglio marginale, si prende come punto di partenza una radura o una precedente tagliata provvedendo ad un taglio di sementazione della profondità di 15-20 metri sul lato controvento. Si sfrutta in questo modo il margine di un bosco come luogo favorevole alla rinnovazione;
- taglio successivo a gruppi, i gruppi sono superfici del diametro 4-2 volte l'altezza entro cui si effettua un taglio di sementazione, allargando poi l'area a macchia d'olio. Se la rinnovazione tarda si procede artificialmente. È il taglio che generalmente dà le maggiori garanzie di buona riuscita.

Peccete montane

Il sistema del taglio saltuario per piede d'albero è il più indicato perché prevede integrazioni reciproche tra le specie (abete bianco e faggio) che in questo ambiente sono quasi sempre presenti. Un problema che si presenta frequentemente è quello di una pecceta che per cattiva gestione denota la tendenza a trasformarsi in una landa a mirtillo e rododendro. Per impedire, o rallentare, questo processo occorre provvedere a una o più delle seguenti operazioni:

- diradamenti, aumentando la luce ed il calore diminuisce l'accumulo di sostanza organica;
- costituzione di popolamenti misti per favorire la rinnovazione dell'abete rosso in presenza di altre specie, in particolare del faggio;
- asportazione per piazzole o per strisce dell'*humus* e dei cespugli. Talora, se la morfologia del terreno lo consente, può essere consigliabile l'aratura come nelle peccete pianeggianti del centro Europa;
- diffusione di piante e arbusti a fogliame ricco di basi ed a reazione neutra o basica (salice, sambuco, sorbo, ontano, ecc.).

Nel caso di uno sviluppo massiccio di erbe nitrofile nelle tagliate occorre tener presente che difficilmente l'abete rosso riuscirà a vincere la concorrenza.

Avversità

Il marciume radicale provocato dall'*Heterobasidion annosum* è particolarmente virulento ai danni dell'abete rosso. La predisposizione all'attacco di questo patogeno diviene più consistente in ambienti umidi a clima atlantico. Altro fungo nefasto è *Herpotrichia Juniperi*, agente del "mal della tela", che attacca il novellame dove si prolunga il periodo di innevamento. Tra gli insetti dannosi per l'abete rosso vi sono alcuni scolitidi e curculionidi che scavano gallerie

sottocorticali. *Cephalcsia arvensis* provoca defogliazione, così come *Epinotia tedella* e *Dasineura abietiperda*.

38.3.6. Attitudine delle terre alla coltivazione dell'abete rosso

Numerose ricerche, iniziate all'inizio del secolo scorso hanno elaborato sistemi di valutazione per l'attitudine stazionale all'abete rosso, alcuni dei più noti sono di seguito riportati.

Curve generali di rendimento per l'abete rosso, basate sul *site index* (ovvero l'altezza raggiunta dagli alberi dominanti e/o codominanti della specie ad un'età di riferimento) del Servizio Forestale inglese (Hamilton e Christie, 1971). Produttività delle abetine disetanee del Cadore, valutata sulla base dell'altezza dominante e dell'incremento annuo corrente (Susmel, 1966). Previsioni di rese medie (incremento in m³ anno⁻¹ ha⁻¹) di grandi gruppi di stazioni in Scozia. Sono presi in considerazione le zone altimetriche e 5 tipi fondamentali di suolo (Toleman, 1975). Produttività dell'abete rosso su 20 diverse tipologie stazionali sull'altipiano calcareo della Lorena (Becker e Levy, 1988).

Risulta dalle ricerche fatte che l'abete rosso è specie continentale, indifferente alle diverse tipologie di substrati, ma esigente di umidità soprattutto durante l'estate.

Nella tabella 38.3 sono sintetizzati i principali aspetti ambientali.

Tabella 38.3. Valutazioni sui principali caratteri ambientali per l'abete rosso.

Clima	luminosità	moderatamente sciafilo
	umidità atmosferica	poco tollerante
	precipitazioni (mm)	1000-1800
	vento	poco resistente
	siccità estiva	abbastanza esigente (almeno 300 mm di pioggia estiva)
	calore estivo	necessari 3,5 mesi con temperatura > 14°C
	gelate primaverili	molto resistente
Fascia fitoclimatica	Piceum sottozona calda e fredda con possibilità di discesa nel Fagetum (Pavari, 1916)	
Geomorfologia	altimetria ottimale (m)	1.200-1.600
	substrato litologico	indifferente
	macereti	mediamente tollerante

Oltre alle esigenze ora citate occorre aggiungere che l'abete rosso vuole un adeguato periodo di *chilling* invernale (120 giorni di gelo anno⁻¹).

38.3.7. Caratteri funzionali dei suoli

Sulla base di numerose ricerche (Wilde et al., 1965; Hagglund e Lundmark, 1977; Levy, 1978; Jokela et al., 1988) si è potuto osservare che la crescita in altezza ed in volume dell'abete rosso può essere correlata con i seguenti parametri: drenaggio, bilancio idrico, grado di areazione, quantità di sostanze nutritive

Si può notare come per l'abete rosso siano più importanti i parametri fisici rispetto a quelli chimici, osservazione questa già fatta da Duchaufour nel 1953. Sono infatti i rapporti "suolo-acqua" e "suolo-aria" a condizionare la riuscita di questa specie forestale. Sono fattori limitanti per la sua rinnovazione gli strati di *humus* compatto in superficie ed il cotico erbaceo infeltrito.

Tabella 38.4. Principali caratteri edafici funzionali per l'abete rosso.

CARATTERISTICHE EDAFICHE	
Regime di umidità del suolo	udico e ustico
Regime di temperatura del suolo	frigido e mesico
Profondità utile	media
Scheletro	elevato
Tessitura	tendenzialmente sabbiosa
Macroporosità	media
Drenaggio	mediocre
pH	da acido a subacido
Calcare attivo	assente
Fertilità chimica	media
Sensibilità alla compattazione	media
Humus	mor e moder

38.4. Larice

38.4.1. Inquadramento sistematico principali caratteristiche botaniche

Il genere *Larix* ha soltanto una decina di specie, di cui la più importante per l'Europa è il larice europeo (*Larix decidua* Mill.). Va notato che la differenza tra le specie non è molto accentuata, infatti vi è tra loro una notevole interfecondità. Nella Russia domina il *Larix sibirica* Lebed. e nell'estremo oriente il *Larix leptolepis* Gord., (larice giapponese) che si ibrida facilmente con il nostro larice europeo dando vita al *Larix eurolepis* Henry. In Nord America vi è il *Larix laricina* Koch (*Tamarack*) ed il *Larix occidentalis*.

Il larice europeo essendo molto longevo può raggiungere i 40 m di altezza e 1 m di diametro. Sui ripidi pendii è frequente osservare fusti di larice presentanti la tipica sciabolatura dovuta alla reptazione della neve (larice riverso). La corteccia grigia e sottile nei giovani esemplari assume più tardi notevole spessore (fino a 20 cm) presentandosi divisa in grosse placche. La chioma è piuttosto rada portata da un'impalcatura di grossi rami da cui partono sottili ramoscelli che nelle piante adulte sono spesso penduli. Le foglie aghiformi, di colore verde tenero e lunghe da 2 a 5 cm, sono disposte a spirale sugli allungamenti dell'anno, mentre sui ramoscelli legnosi partono a ciuffi di oltre 30 da corti brachiblasti. Gli aghi cadono in inverno dopo aver assunto una colorazione dorata in autunno. Il larice è monoico: i fiori maschili sono piccoli amenti giallastri, mentre quelli femminili sono amenti più grandi e purpurei. Gli strobili sono di color grigio chiaro e di consistenza cuoiosa. Il seme è alato ed assai leggero e può essere portato dal vento anche a grande distanza. Le provvigioni e gli incrementi del larice sono riassunti nella tabella 38.5.

Il legno del larice è ben differenziato con sottile alburno biancastro e durame bruno o rosso porpora, molto resinoso e resistente sia all'usura del tempo che alle sollecitazioni meccaniche. Per questi motivi viene utilizzato per costruzioni pesanti, per ponti, capriate, fondazioni, lavori marittimi, infissi e tavolate.

Tabella 38.5. Provvigioni ed incrementi medi per i lariceti italiani (Sala, 1969).

Quota (m)	Clima	Suolo	Turno (anni)	Provvigione (m ³ anno ⁻¹ ha ⁻¹)	Incremento (m ³ anno ⁻¹ ha ⁻¹)
1.000-1.500	non troppo rigido	buono	100	280	5,0
1.501-2.000	rigido	mediocre	120	175	2,5
2.001-2300	molto rigido	magro	140	130	1,0

Un caso di produttività molto alta (rimboschimento di larice in una stazione a quota 1.000 m su calcescisti con suolo profondo) ha fatto registrare un incremento medio di 8,2 m³ anno⁻¹ ha⁻¹ (Comune di Exilles, Torino) (Giordano et al., 1973).

38.4.2. Varietà

Tra le diverse provenienze a cui le varietà fanno riferimento, le migliori per forma ed accrescimento sono quelle provenienti dall'Europa del nord-est (Sudeti, Polonia e Wienerwald), mentre quelle di qualità inferiore provengono dalle Alpi piemontesi e francesi. Nei rimboschimenti di larice si consiglia di usare ecotipi della stessa quota o al massimo 200 m in meno (Mayer e Ott, 1991 riportato da Bernetti, 1995). Il motivo è quello di non anticipare l'entrata in vegetazione per non correre il rischio di gelate tardive.

38.4.3. Propagazione

La propagazione del larice avviene per via generativa. A 30-40 anni le piante possono produrre il seme che matura nell'autunno venendo però mantenuto nei coni fino al mese di marzo successivo. L'estrazione del seme dai coni è meno agevole che per le altre conifere perché il calore artificiale utilizzato deve essere somministrato gradualmente per evitare l'impastamento resinoso del seme con il cono. La conservazione del seme è facile, ma la sua germinabilità è bassa.

Per i rimboschimenti con larice si ricorre generalmente a materiale di vivaio (2 kg di seme 100 m² che corrispondono a 50.000-70.000 piantine. Queste vengono trapiantate in ragione di 40 piantine m². Le piantine non richiedono ombreggiamento. La messa a dimora può essere eseguita con semplici semenzali o con trapianti 2+1 o 1+2. Qualora si faccia ricorso al contenitore, si useranno semenzali di 1 o 2 anni. Una riduzione del tempo passato nel contenitore è auspicabile per evitare deformazioni radicali troppo pronunciate.

38.4.4. Esigenze pedoclimatiche

Il larice europeo presenta due areali: uno tipicamente Alpino ed un altro sui Carpazi. In Italia si ritrova alle quote superiori del *Picetum* e a quelle inferiori dell'*Alpinetum*. È specie pioniera, microterma, eliofila, caratterizzata da una forte evapotraspirazione e per questo motivo ama i suoli freschi, ma non i climi piovosi o ad elevata umidità atmosferica. È presente su tipi di solo assai differenti (Duchaufour, 1952; Ozenda, 1985) sui quali però la sua produttività varia notevolmente. Riguardo alla rinnovazione, il larice dimostra di essere una specie molto rustica e di amare i suoli minerali: detriti di falda, greti di torrenti, zone percorse da valanghe o da incendi. La presenza di cortica erbacea infeltrita è negativa per la rinnovazione del larice perché determina uno squilibrio idrico che ha origine in una scarsa permeabilità del suolo a cui segue un'accentuata siccità estiva (Giordano, 2002). Questo aspetto è fortemente limitativo soprattutto nella fascia boreale subalpina dell'arco alpino occidentale, più siccitoso rispetto all'orientale, dove il larice è sfavorito di fronte al più intenso pionierismo del pino uncinato (Motta e Dotta, 1995). Differenze edafiche a maggior dettaglio possono essere colte facendo riferimento alla tipologia dei boschi di larice, che vengono riportati in seguito.

Lariceto-cembreto

È questo l'unico tipo di cenosi dove il larice, sovente maggioritario, permane a lungo. I suoli sono da superficiali a mediamente profondi, di tessitura da sabbiosa a franca e con sostanza organica ben incorporata nel suolo. I grandi

gruppi di suoli sono per lo più Eutrudepts e Haplustepts su substrati carbonatici e Dystrudepts e Dystrustepts su substrati di rocce acide.

Lariceti di prateria

Derivano dall'abbandono dei pascoli o da un alleggerimento dell'attività zootecnica. Su tali aree il larice si installa facilmente come specie pioniera. La fascia altimetrica del versante sud va da 1.600 a 2.300, mentre quella su versante nord va da 1.000 a 2.000. Su tali aree coesistono sovente specie arbustive d'invasione quali il rododendro e il mirtillo. I suoli sono per lo più mediamente profondi, a tessitura sabbiosa o franca e con un certo accumulo di sostanza organica, senza per altro presentare degli orizzonti umiferi chiaramente espressi. I suoli sono talora leggermente più evoluti rispetto a quelli di altre tipologie di lariceti. Il motivo è da ricercarsi nel pascolo che con le defezioni animali ha accelerato i processi pedogenetici. In questi ambienti è infatti possibile trovare degli Alfisols, oltre agli Inceptisols, nettamente prevalenti.

Lariceti subalpini serici

Si differenziano dai precedenti per la quota più bassa e per la presenza di vegetazione xerica la cui espressione più tipica è fornita dalla prateria a *Calamagrostis villosa* con presenza di ginepro nano ed occasionalmente di pino mugo o di pino uncinato. I suoli sono mediamente profondi o profondi, di tessitura compresa tra sabbiosa e franco argillosa, lo scheletro è più o meno importante a seconda della litologia e della morfologia, la lettiera è sempre consistente così come il contenuto di sostanza organica negli orizzonti superficiali. Una variante al tipo della *Calamagrostis* è quella a *Brachypodium caespitosum* in ambiente molto siccitoso.

Lariceti a megaforbie

Frequenti in ambienti umidi, dove la morfologia del terreno crea ristagni d'acqua. Insieme al larice si trovano altre specie arboree: ontano verde, acero montano e frassino maggiore. I suoli sono per lo più profondi, con quantità variabile di scheletro e molto ricchi di sostanza organica che talora configura una forma di *humus* di tipo Humimor (Green et al., 1993).

Pinete di pino silvestre e larice

Queste due specie pioniere, di cui la prima è nettamente prevalente, sono presenti nelle esposizioni a mezzogiorno della fascia montana. I suoli sono superficiali, poco evoluti con scarsa sostanza organica e forme di *humus* di tipo Leptomoder (Green et al., 1993). In taluni ambienti montani dell'arco alpino occidentale la coppia di specie pioniere è formata da larice e betulla (IPLA, 1996).

Lariceti “in discesa”

Si tratta di formazioni di larice che scendono fino a quota 600 m nei cedui di faggio, di castagno o di carpino nero. Queste formazioni, del tutto transitorie, sono il risultato d'intense ceduzioni che avendo degradato il terreno lasciano insediare le specie pioniere. I suoli sono sempre piuttosto superficiali, a tessitura variabile e ricchi di scheletro. La sostanza organica è scarsa.

38.4.5. Tecniche di coltivazione

Le tecniche di coltivazione sono diverse a seconda delle finalità d'uso dei boschi di larice.

Lariceti di produzione

Corrispondono ai lariceti, per lo più coetanei (20-30 anni), della fascia subalpina su copertura prativa pascolata. Il trattamento più confacente è quello del taglio a raso se si tratta di particelle inferiori ad 1,5 ha mentre si applicherà il taglio marginale, allargabile a macchia d'olio, nel caso di particelle di maggiori dimensioni (Giordano, 1955). Il sistema del “Femelschlag svizzero” è sostanzialmente simile salvo che prevede più buche (Bernetti, 1995). A seguito del taglio interviene facilmente la rinnovazione naturale che viene molto favorita da lavorazioni parziali o totali del terreno. In alcuni casi si è notato che i cinghiali, rompendo il cotico erbaceo, svolgono una funzione benefica nei riguardi della rinnovazione del larice.

Al fine di ottenere un lariceto più uniforme si può fare ricorso a piantagioni in ragione di 500-600 piantine ad ettaro che diverranno 250-300 dopo i necessari diradamenti. Dove c'è pericolo di schianti il diradamento non deve essere regolare, ma deve lasciare dei gruppi di ancoraggio costituiti da un certo numero di piante dominate e robuste (Bernetti, 1995).

Boschi misti di larice

Il lariceto invaso dall'abete rosso presenta un'elevata produttività totale del bosco. Proprio per conservare il più a lungo possibile questa fase d'elevata produttività è auspicabile un trattamento a taglio saltuario incidente soprattutto sui soggetti intermedi di abete rosso. Nel caso d'assenza o di una modesta contribuzione da parte dell'abete rosso può essere opportuno intervenire con piantagione a gruppi di abete rosso. I lariceti con sottobosco di mirtillo si prestano molto bene a questo trattamento (Giordano, 1955). Nei lariceti montani invasi da latifoglie (faggio, acero, frassino e castagno) sembrerebbe conveniente tenere il larice a taglio raso e rinnovazione artificiale e le latifoglie come strato inferiore ceduo (Bernetti, 1995).

Nei rimboschimenti dove vi è consociazione del larice con l'abete rosso, il pino silvestre e, talora, l'abete bianco, il larice può essere considerato specie transitoria per rendere migliore la produzione delle altre specie oppure una specie consociata che deve permanere, creando una fustaia disetanea.

Miglioramento dei boschi di protezione

La formazione del larici-cembreto presenta la miglior protezione in alta quota contro le valanghe e la caduta di pietre. Alle quote inferiori anche la formazione larice-abete rosso può offrire una discreta protezione. La ricostituzione dei boschi di protezione vede una consociazione ottimale tra pino cembro, abete rosso e larice. Il primo è la specie a miglior trattenuta del suolo, il secondo è la specie più rapida nello sviluppo ed il larice, infine, è la specie che fornisce l'ancoraggio (Bernetti, 1995). Le piantine di larice utilizzate (20-30) formano degli aggruppamenti distanziati tra di loro di 5-6 metri. Il terreno è bene sia lavorato a piazzole o a spezzoni di gradoni per prevenire la reptazione e per operare una discontinuità nel cotico.

Arricchimento nei cedui

L'introduzione del larice nei cedui (80-100 piante di larice ad ettaro) permette di raddoppiare la produttività totale del bosco (Leibundgut, 1967).

Arboricoltura da legno

Il ruolo del larice nell'arboricoltura da legno risiede soprattutto nell'interesse di poter disporre di materiale intercalare per anticipare il prodotto

38.4.6. Avversità

Da crittogame

Dasyscypha willkommii è un agente molto temibile che provoca il cancro del larice e che trova il suo optimum sui suoli umidi o in stazioni con clima tendenzialmente oceanico. Il larice giapponese ed i suoi ibridi sono però immuni da questa patologia. *Phytophthora omnivora*, attacca le piante germinanti, i cotiledoni ed il fusticino. *Polyporus sulfureus*, produce la carie rosso-bruna del legno. *Polyporus borealis*, produce la carie giallo-bruna del legno. *Fomes annosus*, causa il "mal del rotondo", caratterizzato dalla spugnosità e friabilità del legno. *Armillaria mellea*, induce il marciume radicale. *Melampsora laricis-tremulae*, agente della ruggine degli aghi del larice.

Da insetti

Gli agenti patogeni sono assai numerosi; essi vanno da quelli generici quali il *Grillotalpa vulgaris* che agisce sulle radici a quelli molto specializzati quali l'*Ips laricis*, attivo nel legno del larice. I bersagli favoriti dagli oltre 30 insetti insediabili sul larice sono la corteccia, il cambio, le gemme, le radici, gli aghi ed il legno.

38.4.7. Attitudine delle terre alla coltura del larice

Nel 1972 è stata svolta un'indagine sul *site index* e sull'incremento medio annuo di formazioni di larice nel comune di Chiomonte (Valle di Susa, Torino). Dall'elaborazione di questi dati, interpretati anche alla luce di un rilevamento dei suoli, è stata redatta una cartografia di feracità, o fertilità, delle terre nei confronti del larice, abete bianco e pino silvestre (Giordano et al., 1972). Un'indagine sui fattori influenzanti lo sviluppo del larice è stata svolta, per lo più in Valle di Susa, alla fine degli anni '80. La tabella 38.6 sintetizza i principali fattori ambientali che determinano l'attitudine delle terre alla coltura del larice.

Tabella 38.6. Esigenze climatiche e geomorfologiche del larice.

Clima	luminosità	il larice è specie eliofila
	umidità atmosferica	poco tollerante perché deprime l'esigenza di evapotraspirazione
	precipitazioni	almeno 700 mm
	vento	resistente
	siccità estiva	resistente
	calore estivo	necessario per evapotraspirazione
	gelate primaverili	resistente
Fascia fitoclimatica	<i>Picetum</i> e <i>Alpinetum</i>	
Geomorfologia	altimetria ottimale (m)	1.400-1.900
	substrato litologico	indifferente
	macereti	tollerante

38.4.8. Caratteri funzionali dei suoli

Il larice è molto tollerante per la maggior parte delle caratteristiche del suolo. Due aspetti sono però peculiari del larice. La necessità di un consistente contenuto idrico in profondità nel suolo. Il larice infatti avendo una forte esigenza di evapotraspirazione evita gli ambienti ad elevata umidità atmosferica prediligendo invece quelli siccitosi ma con possibilità di rifornimento idrico

negli strati profondi dove il suo apparato radicale può arrivare facilmente. La presenza di cotica erbacea infeltrita o la presenza di forme di *humus* particolarmente sviluppate sono negative per la rinnovazione del larice perché favoriscono gli squilibri idrici essendo poco permeabili quando piove e troppo secchi durante i periodi siccitosi.

Nella tabella 38.7 sono sintetizzati i principali caratteri funzionali favorevoli allo sviluppo del larice.

Tabella 38.7. Principali caratteri edafici funzionali per il larice.

CARATTERISTICHE EDAFICHE	
Regime di umidità del suolo	udico e ustico
Regime di temperatura del suolo	criico, frigido e mesico
Profondità utile	media
Scheletro	elevato
Tessitura	non argillosa
Macroporosità	elevata
Drenaggio	buono
pH	da acido a neutro
Calcare attivo	da assente a debole
Fertilità chimica	bassa
Sensibilità alla compattazione	alta
Humus	moder e mull-moder

38.5. Pino silvestre

38.5.1. Inquadramento sistematico e principali caratteristiche botaniche

Nel sottogenere *Pinus* la sezione *sylvestris* annovera le seguenti specie (Debazac, 1977): *P. sylvestris* L., *P. mugo* Turra, *P. uncinata* Ramond, *P. pumilio* Haenke, *P. nigra* Arn, *P. leucodermis* Ant., varie specie asiatiche e due del Nord America.

Il pino silvestre è una conifera euro-asiatica che nei periodi del post glaciale ha avuto in Europa una notevole espansione determinando la cosiddetta “epoca del pino silvestre”. Successivamente il clima, divenuto più mite, ha permesso la diffusione di specie concorrenti e la conseguente riduzione delle superfici a pino silvestre. Attualmente si trova frazionato in una miriade di stazioni che, sfavorevoli alle latifoglie, hanno permesso l’insediamento di questa conifera dando origine a un numero molto limitato di stazioni sull’Appennino settentrionale. Il pino silvestre ha un fusto generalmente diritto

a corteccia giallo rossastra. La chioma è rada, regolare in giovane età, poi globosa e talora asimmetrica o disordinata. Gli aghi sono riuniti in fascetti di 2, torti a spirale, piuttosto rigidi di colore verde grigiastro. I fiori maschili si presentano in amenti riuniti in ciuffi terminali di colore giallo-rosso, i fiori femminili sono globosi e solitari di colore verde. Gli strobili grigiastri hanno un breve peduncolo e maturano in due anni. I semi sono piccoli, di colore bruno più o meno scuro con ala sottile abbastanza grande. L'apparato radicale è profondo e robusto. L'incremento annuo a maturità varia tra 2 e 5 m³ ha⁻¹ in relazione alle diverse tipologie stazionali, potendo raddoppiare nelle brughiere non troppo povere (Giordano e Passet-Gros, 1962)

Il legno resinoso avente alborno bianco roseo e durame rosato o bruno rossastro viene largamente utilizzato per paleria, travature, tavolame, falegnameria, imballaggi e fabbricazione della carta. Il materiale ha valore diverso secondo la varietà e della provenienza: quello proveniente dalla Scandinavia, Finlandia e Russia avendo tessitura fine e regolare con anelli annuali assai stretti è molto pregiato per serramenti ed infissi. Nei climi continentali il pino silvestre può avere notevole sviluppo (altezza fino a 40 m e diametro fino a 80 cm). Nei climi più caldi la statura è generalmente assai più ridotta e la forma è alquanto più tozza.

38.5.2. Varietà

Il pino silvestre è una specie molto variabile secondo le popolazioni. La Flora Europea del 1964 cita 27 varietà botaniche stabilite principalmente su base geografica (Bernetti, 1995).

38.5.3. Propagazione

Le annate utili per il seme sono frequenti. L'energia germinativa è elevata e non occorrono trattamenti per il risveglio dalla dormienza. Per la semina in vivaio occorrono 0,7-0,9 kg di seme per 100 m² con interrimento di 0,5-1,0 cm. Non occorre ombreggiamento. Il postime più usato è il trapianto 1+2 o 2+2 a radice nuda (Bernetti, 1995). Le cenosi più adatte alla rinnovazione del pino silvestre sono quelle in cui vi è consociazione con specie poco concorrenziali, quali la betulla, il pioppo tremolo, il ginepro ed il larice (Bernetti, 1995).

38.5.4. Esigenze pedoclimatiche

È specie lucivaga, xerofila, relativamente indifferente al substrato. Tenuto conto della grande variabilità stazionale del pino silvestre appare opportuno esaminare i principali ambienti in cui è presente in Italia (Ozenda, 1985 in Bernetti 1995).

Pinete xeromorfe

Sono quelle delle valli endalpiche continentali, poco piovose, solatie, ad una quota compresa tra 900 e 1.600 m e dette appunto “valli a pino silvestre” (Fenaroli, 1967). Si tratta di pinete zonali, ossia in equilibrio con il clima caratterizzato da forti escursioni termiche, da scarse precipitazioni (700-900 mm), da innevamento scarso e di breve durata e da venti piuttosto costanti. All'interno delle pinete xeromorfe si possono distinguere due tipologie, pinete basifile e acidofile.

Pinete basifile

Presenti tra 1.000 e 1.600 m su formazioni carbonatiche costituenti affioramenti rocciosi, detriti di falda e coni di deiezione. I suoli sono superficiali, poco evoluti, molto ricchi di scheletro, a tessitura prevalentemente sabbiosa, scarso contenuto di sostanza organica, molto drenati e stagionalmente asciutti, a pH neutro-basico, con CaCO_3 sovente abbondante. Facendo riferimento alla classificazione USDA 1998 si possono trovare Entisols, Eutrudepts e Dystrudepts, Dystrustepts e Haplustepts ed eventualmente Haploxerepts e Dystroxerepts. Le specie botaniche caratterizzanti sono *Ononis rotundifolia* per lo strato erbaceo e *Arctostaphylos uva-ursi* e *Prunus mahaleb* per quello arbustivo (IPLA, 1996).

Pinete acidofile

Escludendo le rocce carbonatiche, possono trovarsi su molti litotipi. I suoli appartengono per lo più all'ordine degli Orthents, essendo poco evoluti, con scheletro abbondante, a tessitura sabbiosa, poveri di sostanza organica, acidi ed eccessivamente drenati. Nello strato arboreo può essere presente il larice, in quello arbustivo il *Juniperus communis* e l'*Amelanchier ovalis*, mentre l'*Avenella flexuosa* è caratterizzante lo strato erbaceo.

Pinete mesoxeromorfe

Formano un insieme polimorfo a quote comprese tra i 600 ed i 1.000 m nella porzione submontana caratterizzata da un clima di tipo tendenzialmente atlantico. Anche in questo caso vi può essere una variante basifila ed una acidofila.

Pinete mesofile

In ambiente esalpico a quote comprese tra 400 e 1.000 m, talora in mescolanza con il faggio, l'acero montano e altre latifoglie. In questi ambienti il pino silvestre non è specie climax e la sua rinnovazione è resa possibile soprattutto dagli incendi.

Pinete da condizionamento edafico

Pinete di brughiera su terrazzi fluvio-glaciali

Il clima è tendenzialmente sub-atlantico con piogge comprese tra 1.000 e 1.400 mm di cui un quarto circa in estate sotto forma di temporali. I suoli sono generalmente profondi, a tessitura limosa o franco-limosa con ciottoli molto alterati e concrezioni di ferro e manganese ed a drenaggio rallentato. I tipi pedologici più diffusi appartengono ai Fragiudalfs (Fragic luvisol, secondo FAO, 1998). Il pino silvestre è specie pioniera, e come tale transitoria, in questo ambiente dove la formazione originaria del querceto-carpineteto è stata distrutta nel corso dei secoli. Il pino silvestre essendo limitato nella sua rinnovazione da una densa copertura di *Molinia caerulea* e felce si presenta per lo più con soggetti maturi o stramaturati di cattivo portamento e con corteccia molto spessa a causa dei ripetuti incendi.

Pinete su morene

In tali ambienti i suoli sono piuttosto profondi a tessitura franca o franco-sabbiosa con scheletro abbondante, sostanza organica scarsa e drenaggio rapido. I suoli appartengono agli ordini degli Inceptisols o degli Orthents (Cambisols o Regosols secondo FAO, 1998).

Pinete endalpiche di greto

Si tratta di stazioni pianeggianti su antichi alvei e fasce riparali ad una quota tra gli 800 ed i 1.200 m. La cenosi è stabile e non presenta segni di dinamismo verso cenosi più evolute. I suoli (Orthents e/o Fluvents) sono superficiali, molto ciottolosi, tendenzialmente aridi per il drenaggio rapido o eccessivo, l'*humus* è di tipo mor. Tra le specie arboree si possono notare la betulla ed il pioppo nero, tra quelle arbustive il *Salix purpureus*, il *Salix eleagnos* e tra quelle erbacee la *Calamagrostis pseudophragmites*.

38.5.5. Tecniche colturali

Allo stato naturale o seminaturale, il pino silvestre è trattato a taglio raso su strisce o buche. In assenza di concorrenza di latifoglie può essere trattato a fustaia a taglio saltuario (Bernetti, 2005). Nel caso di rimboschimenti su rocce silicatiche verranno aperte delle buche 40 x 40 x 40 cm, allestite qualche mese prima dell'impianto. Nei suoli derivati da rocce carbonatiche è consigliabile preparare il terreno a gradoni per ridurre l'aridità. La semina diretta è stata ovunque abbandonata a vantaggio dei trapianti e tra questi quelli che hanno dato miglior riuscita sono 2+2 o 2+1 a radice nuda. La stagione d'impianto può essere l'autunno o la primavera con vantaggi o svantaggi spesso assorbiti dall'andamento meteorico dell'annata (Bernetti, 1995).

38.5.6. Avversità

Le patologie sono determinate da funghi e da insetti comuni a più specie di conifere: l'ascomicete *Lophodermium seditiosum* è l'agente dell'arrossamento degli aghi mentre il basidiomicete *Melampsora pinitorqua* è responsabile per la "ruggine curvatrice dei getti di pino" e il marciume radicale è propagato da *Heterobasidion annosum* e da *Armillaria spp.* Come tecniche di lotta per questi ultimi si consiglia l'asportazione delle ceppaie colpite mentre per la prevenzione viene suggerito di effettuare le utilizzazioni di pino in estate con temperature superiori a 30 °C perché al di sopra di tale limite il fungo cessa di vegetare e di produrre basidiospore (Moriondo, 1989). Nel caso di rimboschimenti con pino silvestre è consigliabile evitare gli ambienti dove vi è presenza di *Vincetoxicum sp.* e di *Gentiana asclepiadea* in quanto necessari per il ciclo iniziale del *Cronartium flaccidum* agente della ruggine vescicolosa della corteccia dei pini a due aghi (Moriondo, 1989). Tra gli insetti nocivi del pino silvestre va menzionato il *Matsucoccus pini*, o cocciniglia corticicola del pino silvestre.

38.5.7. Attitudine delle terre all'impiego del pino silvestre

L'attitudine delle terre al pino silvestre è stata particolarmente indagata con il metodo del "site index" da Ilvessalo (1923), riportato da Wilde (1958), dal Servizio Forestale Inglese (Hamilton e Christie, 1971) e da Alex (1964) riportato da Purcelean (1970). Per una visione sintetica dei fattori ambientali che concorrono a determinare l'attitudine delle terre al pino silvestre si rimanda alla tabella 38.8.

Tabella 38.8. Esigenze climatiche e geomorfologiche del pino silvestre.

Clima	luminosità	il pino silvestre è specie eliofila
	umidità atmosferica	indifferente
	precipitazioni (mm)	500-1000
	vento	resistente
	siccità estiva	resistente
	calore estivo	mediamente esigente
	gelate primaverili	resistente
Fascia fitoclimatica		Picetum e Fagetum
Geomorfologia	altimetria ottimale (m)	800-1800
	substrato litologico	indifferente
	macereti	tollerante

38.5.8. Caratteri funzionali dei suoli

L'indifferenza del pino silvestre verso i substrati è pressoché totale arrivando a svilupparsi anche sulle ofioliti. Sopporta molto bene l'aridità riuscendo ad operare un razionale impiego dei ridotti quantitativi d'acqua presenti nel suolo per poi recuperare velocemente l'attività fotosintetica all'aumento del contenuto idrico. Suoli nudi, anche ricchi di scheletro ed in esposizione sud, appaiono convenienti per il pino silvestre, considerando soprattutto che tali terreni sarebbero proponibili solo per poche specie forestali. Nella tabella 38.9 sono riassunti i principali caratteri funzionali dei suoli in vista di una diffusione del pino silvestre.

Tabella 38.9. Principali caratteri edafici funzionali per il pino silvestre.

CARATTERISTICHE EDAFICHE	
Regime di umidità del suolo	ampio spettro
Regime di temperatura del suolo	mesico e frigido
Profondità utile	ridotta
Scheletro	elevato
Tessitura	ampio spettro
Macroporosità	scarsa
Drenaggio	mediocre
pH	ampio spettro
Calcare attivo	da assente a elevato
Fertilità chimica	bassa
Sensibilità alla compattazione	bassa
Humus	moder

Bibliografia

- BACKER, J.B., BROADFOOT, W.M., 1979. *A practical field method of site valuation for commercially important southern hardwood*. Forest Service USDA, Gen. Tech. Rep., SO-26, South. For. Exp. Stn., New Orleans, US.
- BARNES, B.V., PREGITZER, K.S., SPIES, T.A., SPOONER, T.H., 1982. *Ecological Forest Sites Classification*. Journal of Forestry, 80, 8, 493-500.
- BECKER, M., LEVY, G., 1988. *A propos du dépérissement des forêts: climat, sylviculture, et vitalité de la sapinière vosgienne*. Revue Forest. Franç., Vol. XL, n.5, 345-358.
- BERNETTI, G., 1995. *Selvicoltura speciale*. UTET, 414.
- BERNETTI, G., 2005. *Atlante di selvicoltura* Edagricole, 496.

- BOOTH, T.H., SAUNDERS, J.C., 1985. *Applying the FAO guidelines on land evaluation for forestry*. Forest Ecology and Management, 12, 129-142.
- BURSCHEL, P., HUSS, J., 1987. *Grundriss des Walbaus*. P. Parey Edit., 352.
- BURSCHEL, P., HUSS, J., KALBHENN, R., 1964. *Die Natürliche Verjüngung der Buche*. Schriftenreihe der Forstlichen Fakultät der Univ. Göttingen, Band 34 I.D.Sauerländer's Verlag, Frankfurt.
- CIAMPI, C., DI TOMMASO, P.L., 1973. *Osservazioni morfo-anatomiche sul comportamento in vivaio dei semenzali di abete bianco (Abies alba Mill) di differenti origini geografiche*. Annali Acc. Ital. Scienze Forest., 12, 61-90.
- CORONA, E., 1983. *Ricerche dendrocronologiche preliminari sull'abete bianco di Vallombrosa*. Annali Acc. Ital. Scienze Forest., 32, 149-164.
- DEBAZAC, E.F., 1977. *Manuel des conifères res*. Ecole Nationale des Eaux et Forêts, 172.
- DOTTA, A., MOTTA, R., 2000. *Indirizzi selvicolturali dei boschi di conifere montane*. Direz. Economia Montana e Foreste, Regione Piemonte, 191.
- DUCHAUFOR, PH., 1952. *Etude sur l'écologie et la sylviculture du Melèze*. Ann. Eaux et Forêts, Tome XIII, Fasc.1, 1-203.
- DUCHAUFOR, PH., 1988. *Les pessières d'altitude: physiologie de la nutrition et problèmes de régénération*. Chambéry 20-22 Septembre 1988., Université de Savoie.
- ERSAL, 2001. *Carta di orientamento pedologico per l'arboricoltura da legno della pianura lombarda*. Regione Lombardia, Azienda Regionale Foreste, 13.
- FAO, 1984. *Land evaluation for forestry*. Forestry Paper, 48, Roma.
- FAO, 1998. *Word Reference Base for Soil Resources*. Word Soil Resources Report, 84, Roma.
- FENAROLI, L., 1967. *Gli alberi d'Italia*. Martello Edit. Milano, 320.
- GIACOBBE, A., 1973. *A proposito della var. apennina Giac.dell'Abies alba*. Italia Forest. e Mont., 28, 1, 30-32.
- GIORDANO, A., 2002. *Pedologia Forestale e Conservazione del Suolo*, UTET, pagina, 600.
- GIORDANO, A., LILLELUND, H., MONDINO, G.P., 1972. *Carta della fertilità forestale per il larice, abete bianco e pino silvestre in Comune di Chiomonte, Torino*. Ann. Ist. Sper. per la Selvicoltura.
- GIORDANO, A., GIOVANETTI, G., DE VECCHI, P.G., 1988. *Definition of land types and site index of black locust coppices (Piedmont, Italy)*. EC seminar on wood technology, Munich, 14-15, April, 1987.
- GIORDANO, A., MONDINO, G.P., PALENZONA, M., ROTA, L., SALANDIN, R., 1973. *Ecologia ed utilizzazioni prevedibili nella Valle di Susa*. Ann. Ist. Sper. per la Selvicoltura, 5, 83-196.
- GIORDANO, G., 1955. *Distribuzione e caratteristiche del Larice sulle Alpi italiane*. Atti Congr. Naz. Selvicoltura, Firenze (Acc. It. Sci. For.).
- GIORDANO, G., PASSET-GROS, M., 1962. *Dizionario enciclopedico agricolo-forestale e delle industrie del legno*. Ceschina Edit, 1216.
- GREEN, R.N., TROWBRIDGE, R.L., KLINKA, K., 1993. *Towards a taxonomic classification forms of humus*. Soc. of Amer. Foresters, Bethesda, USA, 51.
- HAGGLUND, B., LUNDMARK, J.E., 1977. *Site index estimation by means of site properties. Scots pine and Norway spruce in Sweden*. Studia For. Suecica 138, Stockolm.
- HAMILTON, G.J., CHRISTIE, J.M., 1971. *Forest management tables*. Forest Commission Booklet, 34. Londra, 200.

- IPLA, 1996. *I tipi forestali del Piemonte*. Assessorato Econ. Montana e Foreste, Regione Piemonte, pagina 372.
- IPLA, 2001. *Guida alla realizzazione ed alla gestione degli impianti di arboricoltura da legno*. Assess. Economia Montana e Foreste, Regione Piemonte, 111.
- JOKELA, E.J., WHITE, E.H., BERGLUND, J.V., 1988. *Predicting Norway spruce growth from soil and topographic properties in New York* Soil Sci. Soc. Am.
- LANDON, J.R., 1984. *Booker Tropical Soil Manual*. BAI, Longman Group, England, 450.
- LARSEN, J.B., 1986. *Die geographische Variation der Weisstanne (Abies alba Mill.) Wachstumentwicklung und Frostresistenz*. Forstwiss, Centralblatten, 105, 5, 396-407.
- LE TACON, 1976. *La présence de calcaire dans le sol, influence sur le comportement de l'épicéa et du pin noir*. Thèse de Doctorat, Nancy.
- LEIBUNDGUT, H., 1967. *Untersuchungen über Ergebnisse des Lärchenbestandes im schweizerischen Mittelland* Schweizer. Zeitsc. F. Forstwesen, 118, 4, 183-208.
- LEVY, G., 1978. *Nutrition et production de l'Epicéa commune adulte sur sols hydromorphes en Lorraine: liaisons avec les caractéristiques stationnelles*. Ann. Sci. Forest., Vol. 35, n.1, 33-53.
- MAGINI, E., 1973. *Esiste sull'Appennino una varietà dell'abete bianco?* Italia Forest. e Montana, 28, 5, 173-175.
- MANCINI, F., 1959. *I terreni della foresta di Paneveggio (TN)*. Ann. Acc. It. Sci. Forest., Vol. VIII, 373-454.
- MAYER, H., OTT, E., 1991. *Gebirgswaldbau Schutzwaldpflege*. Fischer, Berlin.
- MORIONDO, F., 1989. *Introduzione alla Patologia Forestale*. UTET, 251.
- MOTTA, R., DOTTA, A., 1995. *Les mélèzeins des Alpes Occidentales: un paysage à défendre*. Rev. For. Franç., XLVII, 329-342.
- OZENDA, P., 1985. *La végétation de la chaîne alpine*. Masson, Parigi.
- PAGANUCCI, L., 1989. *Sperimentazione sulla densità di impianto delle abetine di Vallombrosa*. Italia Forest. e Montana, 44, 1, 30-44.
- PAVARI, A., 1916. *Studio preliminare sulla coltura delle specie forestali esotiche in Italia*. Annali Regio Istituto Superiore Forestale Nazionale, I, 159-379.
- PAVARI, A., 1951. *Esperienze e indagini sulle provenienze e razze dell'abete bianco (Abies alba Mill.)*. Staz. Sperim. di Selvicoltura, Pubbl. 8, 96.
- PAVARI, A., 1952. *Abete bianco*. Voce dell'Enciclopedia Agricola REDA, Roma.
- PIGNATTI, S., 1982. *Flora d'Italia*. Edagricole, Bologna.
- PIUSSI, P., 1986. *La rinnovazione delle peccate subalpine*. Le Scienze, 37, 215, 58-67.
- PURCELEAN, S., 1970. *Importanza dello studio della vegetazione e della stazione forestale per la valutazione della produzione potenziale delle foreste*. Acc. It. Sc. For. XIX, 305-328.
- SALA, G., 1969. *Larice*. Voce dell'Enciclopedia Agraria REDA, Roma.
- SCHMIDT-VOGT, H., 1977. *Die Fichte*. Vol. I, P. Parey, 647.
- SINDOU, C., MADESCLAIRE, A., 1986. *Le mélèze d'Europe sur les plateaux calcaires de Lorraine*. Rev. For. Franç. XXXVIII 5, 439-449.
- SMALLEY, G.W., 1982. *Classification and evaluation of forest sites on the Mid Cumberland Plateau*. Exp. Stn., New Orleans, US.
- SMALLEY, G.W., 1991. *Classification and evaluation of forest sites on the Natchez trace State Forest*. USDA South. For. Exp. Stn, New Orleans, US.

- SPIECKER, H., 1986. *Das Wachstum der Tannen und Fichten im Plenterwald, Versuchflächen des Schwarzwaldes in der Zeit von 1950bis 1984*. Allgemeine Forst und Jagd Zeitung, 157, 8, 152-164.
- STEELE, R., COOPER, S.V., ONDOV, D.M., ROBERTS, D.W., PFISTER, R.D., 1983. *Forest habitat type of Eastern Idaho, Western Wyoming*. Tech. Rep. INT 144, Intermountain Forest and Range Exp. Stn, Ogden US.
- SUSMEL, L., 1966. *Metodi di stima della fertilità stazionale nei climi temperati*. Monti e Boschi, 4, 3-19.
- TOLEMAN, R.D.L., 1975. *National Soil Classification*. Forestry Commission Research and Development Division, U.K.
- USDA, 1998. *Keys to soil taxonomy*. Natural Resources Conservation Service, Washington, D.C.
- WILDE, S.A., 1958. *Forest Soils*. Ronald Press, New York, 538.
- WILDE, S.A., IYER, J.G., TANZER, C., TRAUTMANN, W.L., WATTERSON, K.G., 1965. *Growth of Wisconsin coniferous plantations in relation to soils*. Research Bulletin 262, Univ. of Wisconsin.

Ministero delle Politiche Agricole, Alimentari e Forestali
Osservatorio Nazionale Pedologico e per la Qualità del Suolo Agricolo e Forestale

In collaborazione con:
International Union of Soil Sciences
Società Italiana della Scienza del Suolo
Commissione VI - Uso e Conservazione del Suolo

BALDACCINI, P., VACCA, A., 2006. *Attitudine dei suoli al pascolo*. In: Costantini, E.A.C. (Ed.), *Metodi di valutazione dei suoli e delle terre*, Cantagalli, Siena, pp. 922.

Collana dei metodi analitici per l'agricoltura diretta da Paolo Sequi, vol. 7

CRA - Consiglio per la Ricerca e la Sperimentazione in Agricoltura
Istituto Sperimentale per lo Studio e la Difesa del Suolo, Firenze

39. Attitudine dei suoli al pascolo

Paolo Baldaccini¹, Andrea Vacca²

39.1. Introduzione	2
39.2. Principi generali.....	2
39.3. I fattori funzionali.....	3
39.3.1. Livello di produzione primaria	3
39.3.2. Livello di produzione secondaria	4
39.4. Esempi d'applicazione in Italia	5
Bibliografia	10

39.1. Introduzione

I pascoli, intesi come superfici coperte da vegetazione erbacea spontanea utilizzate solamente mediante il pascolamento e che non vengono mai, o quasi mai, falciate, si riscontrano in Italia in una grande varietà di situazioni geografiche, ecologiche e socio-economiche. Basti pensare alle notevoli differenze esistenti tra i pascoli alpini, quelli appenninici e quelli dell'Italia Meridionale ed Insulare, per avere un quadro, anche sintetico, delle diversità nel clima, nella flora pabulare, nei suoli, nel tipo d'allevamento e nella produttività dei pascoli. È chiaro, quindi, che la valutazione delle terre per il pascolo risente notevolmente, e forse in maggior misura che per altre utilizzazioni, di tale situazione; di conseguenza, le indicazioni che verranno date saranno inevitabilmente generali.

39.2. Principi generali

I principi generali enunciati in questo paragrafo sono in gran parte tratti dalle linee guida della FAO (1991), impostate sui concetti di base comuni a tutti i tipi di valutazione (FAO, 1976). Tali principi generali, riferiti al pascolo estensivo, sono stati comunque ritenuti validi anche per i pascoli italiani, anche se la loro

¹ Già Università degli Studi di Sassari

² Università degli Studi di Cagliari

rilevanza relativa deve essere riferita alla molteplicità delle realtà locali presenti nel nostro territorio.

Rispetto ad altri tipi di valutazione, in quella per il pascolo assumono rilevanza alcune considerazioni specifiche:

- all'intensità dell'allevamento, da quello estensivo, di tipo brado, a quello più intensivo, corrispondono requisiti territoriali diversi;
- l'intensità del rilevamento pedologico e della conseguente valutazione del territorio è generalmente più bassa rispetto a quella relativa ad usi più intensivi;
- la valutazione per il pascolo deve considerare sia il livello di produzione primaria, riferito alla capacità del pascolo di produrre foraggio, sia quello di produzione secondaria, riferito ai prodotti dell'allevamento;
- la pianificazione del numero di capi pascolanti nel tempo per unità di superficie (carico di bestiame), può variare in funzione della quantità di foraggio disponibile nello spazio e nel tempo;
- i capi di bestiame hanno necessità alimentari (cibo ed acqua) relativamente costanti nelle diverse stagioni.

Pertanto, per tutti i tipi d'utilizzazione a pascolo, devono essere considerati quattro gruppi di requisiti territoriali, relativi a:

- crescita e composizione della flora pabulare, al livello di produzione primaria;
- tipo d'allevamento (specie, razza, ecc.), al livello di produzione secondaria;
- caratteri territoriali che influenzano l'allevamento;
- conservazione del territorio attraverso una gestione sostenibile del pascolamento.

39.3. I fattori funzionali

39.3.1. Livello di produzione primaria

Fattori che influenzano la crescita della flora pabulare

I fattori che influenzano la crescita della flora pabulare sono riconducibili alle condizioni climatiche (radiazione solare, temperatura, umidità, gelo), alle condizioni pedologiche (drenaggio ed aerazione, contenuto in nutrienti, radicabilità, salinità, sodicità, tossicità), a quelle ambientali (incendio ed inondazione) ed al potenziale genetico della vegetazione spontanea. Le condizioni climatiche possono essere stimate attraverso l'analisi della radiazione totale, delle ore d'insolazione, della pendenza, dell'esposizione, dell'altitudine, della classe climatica, delle medie annuali e stagionali e dei valori estremi di precipitazioni, temperature ed evapotraspirazione. Particolare attenzione andrà posta sulla possibilità di gelate precoci o tardive. Le condizioni pedologiche possono essere stimate attraverso l'analisi di caratteri

morfologici del suolo (rocciosità, pietrosità, spessore, presenza d'orizzonti limitanti, tipo d'orizzonti), caratteri fisici del suolo (tessitura, struttura, consistenza, velocità d'infiltrazione, permeabilità, capacità di ritenzione idrica) e caratteri chimici del suolo (pH, cationi scambiabili, saturazione in basi, capacità di scambio cationico, carbonio organico, azoto, fosforo disponibile, potassio scambiabile ed altri nutrienti, microelementi, conduttività elettrica dell'estratto di saturazione, contenuto in sali solubili, grado di saturazione in sodio del complesso di scambio, eccesso di alluminio, carbonato di calcio, gesso ed altre sostanze tossiche).

Fattori che influenzano la gestione

I fattori che influenzano la gestione sono: la facilità di decespugliamento, la lavorabilità del suolo e la possibilità di meccanizzazione. Tali fattori possono essere stimati attraverso l'analisi delle seguenti caratteristiche: pendenza, lunghezza del pendio, rocciosità, pietrosità superficiale, densità di drenaggio, aspetti morfologici superficiali.

Fattori che influenzano la conservazione

I fattori che influenzano la conservazione sono: il rischio d'erosione, la tolleranza del suolo al calpestamento e la tolleranza della vegetazione alla degradazione. Il rischio d'erosione può essere stimato in funzione delle seguenti caratteristiche: intensità delle piogge, pendenza, lunghezza del pendio, erodibilità del suolo, tasso di copertura vegetale ed eventuale presenza di movimenti di massa. Per quanto concerne la tolleranza del suolo al calpestamento, i caratteri da prendere in considerazione nella stima sono: la tessitura del suolo, la classe di drenaggio e la stabilità strutturale. La tolleranza della vegetazione alla degradazione può essere stimata in funzione del tipo e delle condizioni della vegetazione stessa.

39.3.2. Livello di produzione secondaria

Fattori che influenzano la crescita

I fattori che influenzano la crescita sono: la disponibilità di foraggio e d'acqua potabile, i rischi sanitari, le limitazioni climatiche, l'accessibilità, la possibilità di fienagione e d'insilamento. La disponibilità d'acqua potabile può essere stimata in funzione delle seguenti caratteristiche: *surplus* o *deficit* idrico, variabilità delle precipitazioni, presenza e regime di sorgenti e corsi d'acqua, idrologia sotterranea, profondità della falda, presenza di acquiferi e qualità dell'acqua potabile. I rischi sanitari possono essere stimati in funzione dell'incidenza osservata di piante ed insetti nocivi e di malattie e loro vettori. Le limitazioni climatiche sono correlabili alla radiazione totale e solare, alle ore

d'insolazione, alle temperature estreme, all'incidenza del gelo, all'umidità relativa ed alla velocità del vento. L'accessibilità del bestiame è influenzata dall'altitudine, dalla pendenza, dalla rocciosità, dalla pietrosità superficiale, dalla densità e dal tipo di copertura vegetale, dalla frequenza e severità delle inondazioni e dalla morfologia del territorio. Le condizioni per possibilità di fienagione e d'insilamento dipendono dalla variabilità delle precipitazioni, dal *surplus* idrico, dall'umidità relativa, dalla velocità del vento, dalla composizione botanica, dal tipo d'assimilazione dei carboidrati e delle altre componenti della razione alimentare e dalla tipologia floristica della vegetazione.

Fattori che influenzano la gestione

I fattori che influenzano la gestione sono la facilità di recinzione e la distanza dai mercati. La facilità di recinzione dipende principalmente dalla profondità del suolo, dalla presenza d'affioramenti rocciosi e dalla pietrosità superficiale.

39.4. Esempi d'applicazione in Italia

Le esperienze italiane relative all'applicazione della valutazione dell'idoneità dei suoli al pascolo, di cui si abbia conoscenza e che siano state pubblicate, sono basate sui principi fondamentali enunciati dalla FAO (1976; 1991). In particolare, tali esperienze sono state maturate in Sardegna (Aru et al., 1989; Madrau, 1992; 1993; Baldaccini et al., 1995; Baldaccini e Madrau, 1996; Madrau et al., 1998; Baldaccini et al., 2002), in Lombardia (Comolli, 1996) ed in Molise (Litterio et al., 1993). In tutti i casi citati, i risultati conseguiti non sono frutto di sperimentazione ma costituiscono piuttosto dei tentativi d'interpretazione delle diverse realtà geografiche analizzate, secondo l'esperienza e la sensibilità dei singoli Autori, nonché l'utilizzo di informazioni bibliografiche, ai fini di una più corretta e razionale gestione del pascolo. Comolli (1996) propone uno schema di riferimento per la determinazione del grado d'attitudine dei suoli di un alpeggio della Val Gerola (Valtellina) al pascolo bovino (tabella 39.1). Le caratteristiche considerate sono quelle che influenzano gli aspetti tecnici relativi alla gestione del pascolo (pendenza, rocciosità e pietrosità), alla produzione di foraggio (caratteri pedologici e climatici) ed alla degradazione del suolo (erosione e calpestamento). La stima dell'attitudine produttiva delle aree a pascolo del Molise è stata condotta con procedure automatiche di incrocio ed elaborazione dei dati dei diversi strati informativi relativi ai principali fattori ambientali (clima, suolo e vegetazione) che determinano l'attitudine produttiva (Litterio et al., 1993). Sono state prese in considerazione le qualità del territorio che influenzano il livello qualitativo e quantitativo delle produzioni (rischio di aridità stagionale, profondità utile alle radici), quelle che influenzano le tecniche di gestione (possibilità di meccanizzazione) e quelle legate alla conservazione (rischio di erosione idrica diffusa, rischio di franosità).

Tabella 39.1. Schema di riferimento per la determinazione del grado d'attitudine dei suoli al pascolo bovino (Comolli, 1996).

Caratteristiche	S1 molto adatto	S2 adatto	S3 marginalmente adatto	N1 temporaneamente inadatto	N2 permanentemente inadatto
Pendenza (%)	0 - 20	20 - 40	40 - 60	60 - 80	> 80
Rocciosità – pietrosità (%)	0 - 10	10 - 30	30 - 60	60 - 80	> 80
Spessore del suolo (cm)	> 50	25 - 50	25 - 50	10 - 25	< 10
Scheletro (%)	0 - 15	15 - 35	35 - 70	70 - 85	> 85
Tessitura	F	FS, FL, FA, FLA, FSA	SF, AL, SA	S, A, L	
Fertilità chimica *	ottima	buona	scarsa	molto scarsa	
Idromorfia	scarsa nulla	moderata	forte	molto forte	
Deficit idrico **	nullo	moderato	forte	molto forte	
Pericolo di erosione	nullo	moderato	forte	molto forte	estremo

* Il concetto di fertilità chimica tiene in conto quantità di sostanza organica, reazione e dotazione in P assimilabile e K assimilabile. I valori limite delle classi di fertilità chimica sono stati determinati secondo i seguenti criteri (comunicazione personale di Comolli, 2005):

pH in H₂O (valutato per il topsoil) Sostanza organica (valutata per il topsoil)

S1: pH > 5,6

S1: SO > 5%

S2: 5,1 < pH ≤ 5,6

S2: 3,5% < SO ≤ 5%

S3: 4,4 < pH ≤ 5,1

S3: 2% < SO ≤ 3,5%

N1: pH ≤ 4,4

N1: SO ≤ 2%

P assimilabile (valutato per il topsoil col metodo Olsen, espresso in mg kg⁻¹)

S1: P > 15

S2: 10 < P ≤ 15

S3: 5 < P ≤ 10

N1: P < 5

K scambiabile (valutato per il topsoil, espresso in percentuale rispetto alla CSC)

S1: K > 2,5

S2: 2 < K ≤ 2,5

S3: 1,5 < K ≤ 2

N1: K < 1,5

** Il deficit idrico è determinato dal confronto tra ETR ed EPT (sensu Thornthwaite) (comunicazione personale di Comolli, 2005). I valori limite delle classi di deficit idrico sono:

S1: ETR > 0,9 ETP

S2: 0,8 ETP < ETR ≤ 0,9 ETP

S3: 0,7 ETP < ETR ≤ 0,8 ETP

N1: 0,5 ETP < ETR ≤ 0,7 ETP

N2: ETR ≤ 0,5 ETP

Per la stima del rischio d'aridità stagionale (tabella 39.2), gli Autori hanno tenuto conto della capacità in acqua disponibile del suolo e della durata del periodo di carenza idrica, definito, secondo le indicazioni FAO (1983), come il periodo nel quale le precipitazioni sono inferiori alla metà dell'evapotraspirazione reale. La possibilità di meccanizzazione è stata stimata utilizzando lo schema proposto dalla FAO (1983), opportunamente adattato agli ambienti della regione Molise, prendendo in considerazione l'acclività, la presenza d'affioramenti rocciosi e la pietrosità superficiale (tabella 39.3). Lo schema interpretativo finale è riportato in tabella 39.4.

Tabella 39.2. Schema interpretativo messo a punto per la stima del rischio di aridità (Litterio et al., 1993).

Capacità in acqua disponibile del suolo (mm)	Durata del periodo di carenza idrica (gg)	Rischio d'aridità (classe)
< 100	< 70	moderato
	70 - 110	severo
	> 110	molto severo
100 - 200	< 70	basso
	70 - 110	moderato
	> 110	molto severo
> 200	< 70	basso
	70 - 110	moderato
	> 110	severo

Tabella 39.3. Schema interpretativo utilizzato per la valutazione della possibilità di meccanizzazione delle operazioni colturali e di sfalcio (Litterio et al., 1993).

CARATTERISTICHE DEL TERRITORIO	Possibilità di meccanizzazione (classe)			
	Elevata	Moderata	Bassa	Molto bassa
Acclività (%)	0 - 20	20 - 35	35 - 50	> 50
Rocciosità (% della superficie)	0 - 2	2 - 10	10 - 25	> 25
Pietrosità (pietre > 7,5 cm, % della superficie)	0 - 3	3 - 15	15 - 50	> 50

Il modello per la valutazione dell'attitudine dei suoli della Sardegna al pascolo ed al suo miglioramento (Madrau et al., 1998) riprende, con opportune integrazioni, gli schemi pubblicati precedentemente da Aru et al. (1989), che, tenendo conto della grande variabilità dei pascoli dell'isola, erano differenziati per le diverse unità di paesaggio presenti nel territorio sardo. Tale modello presenta pertanto differenti schemi di valutazione per le 8 unità di paesaggio che nell'isola sono interessate dai pascoli. Le unità di paesaggio considerate, discriminate in funzione del substrato pedogenetico, sono: formazioni metamorfiche paleozoiche, complesso intrusivo paleozoico, calcari marnosi, marne arenacee, calcari cristallini e dolomie del Paleozoico e del Mesozoico, tufi ed ignimbriti in alternanza con rioliti e trachiti, basalti e basalti andesitici,

alluvioni, terrazzi e glaci del Pleistocene, alluvioni recenti. A titolo di esempio, viene presentato in questa sede lo schema relativo al complesso intrusivo paleozoico (tabella 39.5). Le differenze tra gli schemi proposti sono relative alle classi di profondità del suolo, di tessitura, di saturazione in basi e di acqua utile. Inoltre, lo schema relativo alle alluvioni recenti prende in considerazione anche l'ampiezza della superficie ed il rischio di esondazione. In tabella 39.6 vengono riportati i suoli tipici, classificati a livello di Grande Gruppo, secondo le Keys to Soil Taxonomy (Soil Survey Staff, 2003), di ogni classe di attitudine al miglioramento dei pascoli per ciascuna unità fisiografica considerata in Sardegna. Tali suoli sono stati desunti dalla Carta dei suoli della Sardegna in scala 1:250.000 (Aru et al., 1990).

Tabella 39.4. Schema interpretativo finale per la valutazione dell'attitudine produttiva delle aree a pascolo (Litterio et al., 1993).

QUALITÀ DEL TERRITORIO	Classe d'attitudine produttiva			
	A Aree a pascolo ad elevata attitudine produttiva	B Aree a pascolo a moderata attitudine produttiva	C Aree a pascolo ad attitudine produttiva marginale	D Aree a pascolo di estrema marginalità
Profondità utile alle radici	elevata (> 50 cm)	moderata (30 - 50 cm)	bassa (30 - 10 cm)	molto bassa (< 10 cm)
Rischio d'aridità	da lieve a moderato	severo	molto severo	molto severo
Possibilità di meccanizzazione	elevata	moderata	bassa	molto bassa
Rischio d'erosione	da lieve a moderato (da < 10 a 50 t ha ⁻¹ anno ⁻¹)	da lieve a moderato (da < 10 a 50 t ha ⁻¹ anno ⁻¹)	severo (50 - 200 t ha ⁻¹ anno ⁻¹)	estremamente severo (> 200 t ha ⁻¹ anno ⁻¹)
Classe di dissesto	da bassa a moderata	da bassa a moderata	elevata	da molto elevata ad estremamente elevata
(% della superficie interessata da dissesto)	(0 - 2%)	(2 - 10%)	(10 - 30%)	(30 - 60%, > 60%)

Tabella 39.5. Schema di valutazione dell'attitudine al miglioramento dei pascoli relativo all'unità fisiografica "Complesso intrusivo paleozoico" della Sardegna (Madrau et al., 1998).

Caratteristica	S1	S2	S3	N1	N2
Altitudine (m s.l.m.)	< 600	600 - 800	600 - 800	800 - 1000	> 1000
Pendenza (%)	0 - 2	2 - 6	6 - 15	15 - 55	> 55
Esposizione < 1000 m s.l.m.	S	E-W	N		
Esposizione > 1000 m s.l.m.	S	E-W			N
Copertura vegetale prevalentemente arbustiva (*) (%)	< 2	2 - 10	10 - 25	25 - 50	> 50
Copertura vegetale prevalentemente arborea (%)	< 2	2 - 10	10 - 20		> 20
Rocciosità affiorante (%)	assente	< 2	2 - 5	5 - 10	> 10
Pietrosità superficiale (%)	< 0,1	0,1 - 3	3 - 15	15 - 50	> 50
Drenaggio (durata, superficie interessata da eventuali interventi di drenaggio)	assenza di ristagni o di acqua libera	ristagni o acqua libera per brevi periodi; fossi o dreni < 20% della superficie	ristagni o acqua libera per lunghi periodi; fossi o dreni 20 - 50% della superficie	ristagni o acqua libera per lunghi periodi; fossi o dreni > 50% della superficie	regime di umidità del suolo aquico in tutta o quasi tutta la superficie
Numero di giorni consecutivi in cui la MCS (**) è asciutta dopo il solstizio estivo (gg)	< 45	45 - 75	75 - 90	> 90	> 90
Gelate (durata, frequenza)	assenti	rare	rare, in più anni consecutivi	comuni, in più anni consecutivi	frequenti, in più anni consecutivi
Profondità del suolo (cm)	> 60	60 - 40	40 - 20	20 - 10	< 10
Tessitura	F, FA	FAS fine, FS	FAS grossolana	SF	S
Stabilità strutturale	molto stabile	mediamente stabile	poco stabile	scarsa struttura	assenza di struttura
Saturazione in basi (%)	> 50	50 - 30	< 30		
Acqua utile (%)	> 15	15 - 10	< 10		
Processi morfogenetici (***)	a - l	d	e - f - b	g	c - i - h - m

(*) Nel caso di una copertura mista, se la copertura arborea raggiunge il 20%, la superficie deve essere obbligatoriamente ascritta alla classe N1.

(**) MCS = moisture control section (sezione di controllo dell'umidità, sensu Soil Survey Staff, 1997).

(***) a = equilibrio stabile, b = equilibrio instabile, c = equilibrio dinamico, d = erosione laminare, e = erosione laminare e per rivoli, f = erosione per rivoli ed incanalata, g = erosione di massa, h = erosione di sponda, i = erosione di fondo, l = accumulo, m = erosione per gravità.

Tabella 39.6. Classificazione Soil Taxonomy (Soil Survey Staff, 2003), a livello di Grande Gruppo, dei suoli tipici d'ogni classe d'attitudine al miglioramento dei pascoli per ciascuna unità fisiografica considerata in Sardegna.

Unità fisiografica	S1	S2	S3	N1	N2
Formazioni metamorfiche paleozoiche e complesso intrusivo paleozoico	Typic Xerorthents Typic Haploxerepts	Dystic Xerorthents Typic Dystroxerepts Lithic Xerorthents Lithic Haploxerepts Lithic Dystroxerepts		Lithic Xerorthents Lithic Haploxerepts Lithic Dystroxerepts	Lithic Xerorthents
Calcari marnosi, marne arenacee, ecc.	Typic Haploxerepts Typic Xerorthents Typic Rhodoxeralfs Calcic Haploxerepts Typic Calcixerepts	Lithic Haploxerepts Vertic Haploxerepts Vertic Calcixerepts	Lithic Xerorthents Typic Haploxererts Entic Haploxererts	Lithic Xerorthents Lithic Haploxerepts	Lithic Xerorthents
Calcari cristallini e dolomie del Paleozoico e del Mesozoico	Typic Haploxerepts Typic Xerorthents	Lithic Xerorthents Lithic Haploxerepts Lithic Rhodoxeralfs		Lithic Xerorthents	
Tufi ed ignimbriti in alternanza con rioliti e trachiti	Typic Haploxerepts Calcic Haploxerepts Typic Xerorthents	Andic Haploxerepts Lithic Haploxerepts Vertic Haploxerepts		Lithic Xerorthents Lithic Haploxerepts	Lithic Xerorthents
Basalti e basalti andesitici	Typic Haploxerepts Typic Xerorthents	Lithic Haploxerepts	Lithic Xerorthents	Lithic Xerorthents Lithic Haploxerepts	Lithic Xerorthents
Alluvioni, terrazzi e glaci del Pleistocene	Typic Haploxeralfs Calcic Haploxeralfs	Typic Palexeralfs Calcic Palexeralfs Petrocalcic Palexeralfs	Udic Palexeralfs Aquic Haploxeralfs Aquic Palexeralfs Petrocalcic Palexeralfs	Udic Palexeralfs Aquic Palexeralfs	-
Alluvioni recenti	Typic Xerofluvents Mollic Xerofluvents	Vertic Xerofluvents	Aquic Xerofluvents Typic Haploxererts Chromic Haploxererts	Typic Fluvaquents Vertic Fluvaquents	-

Bibliografia

- ARU, A., BALDACCINI, P., LOJ, G., 1989. *I suoli: caratteristiche che determinano la loro marginalità e la loro valutazione per il pascolo*. In: L. Idda (Ed.), Sistemi Agricoli Marginali, Lo scenario Margine-Planarghia, CNR-Prog. Final. IPRA, Sassari, 29-52.
- ARU, A., BALDACCINI, P., DELOGU, G., DESSENA, M.A., MADRAU, S., MELIS, R.T., VACCA, A., VACCA, S., 1990. *Carta dei suoli della Sardegna, in scala 1:250.000*. Dipartimento Scienze della Terra, Università di Cagliari, Assessorato Regionale alla Programmazione Bilancio ed Assetto del Territorio, SELCA (Firenze).

- BALDACCINI, P., MADRAU, S., 1996. *La valutazione del territorio come base per la difesa delle aree collinari e montane. Un esempio nella Sardegna centro-settentrionale*. Atti del Convegno annuale S.I.S.S. "Contributi della Scienza del Suolo allo studio e alla difesa dei territori montani e collinari", Milano, 17-19 giugno 1996. Boll. Soc. It. Sci. Suolo, 8, 261-290.
- BALDACCINI, P., MADRAU, S., DEROMA, M.A., 1995. *I suoli del bacino del rio d'Astimini-Fiume Santo (Sardegna nord-occidentale). Valutazione della loro attitudine al miglioramento pascoli*. Atti del Convegno annuale S.I.S.S. "Il Ruolo della Pedologia nella Pianificazione e Gestione del Territorio", Cagliari, 6-10 giugno 1995, 289-298.
- BALDACCINI, P., MADRAU, S., PREVITALI, F., DESSÌ, G., DEROMA, M.A., 2002. *I suoli del bacino del rio d'Astimini-Fiume Santo (Sardegna nord-occidentale)*. Dipartimento di Ingegneria del Territorio, Nucleo Ricerca Desertificazione, Università degli Studi di Sassari, 159.
- COMOLLI, R., 1996. *Lo studio dei suoli nell'ambito della pianificazione d'utilizzo dei pascoli: il caso della Val Gerola*. Atti del Convegno annuale S.I.S.S. "Contributi della Scienza del Suolo allo studio e alla difesa dei territori montani e collinari", Milano, 17-19 giugno 1996. Boll. Soc. It. Sci. Suolo, 8, 235-256.
- FAO, 1976. *A framework for land evaluation*. FAO Soils Bulletin n.32, Rome, 72.
- FAO, 1983. *Guidelines: land evaluation for rainfed agriculture*. FAO Soils Bulletin n.52, Rome, 239.
- FAO, 1991. *Guidelines: land evaluation for extensive grazing*. FAO Soils Bulletin n.58, Rome, 158.
- LITTERIO, M., DI GENNARO, A., FRESCHI, P., LEONE, A., MOTTI, R., SANTOPOLO, A., TERRIBILE, F., 1993. *Un sistema informativo territoriale per la gestione delle aree a pascolo del territorio della regione Molise*. Genio Rurale, 6, 29-40.
- MADRAU, S., 1992. *Valutazione della attitudine al pascolo dei suoli della Sardegna. I territori comunali di Gavoi e Lodine (Nu)*. Atti dell'Istituto di Geopedologia e Geologia Applicata dell'Università degli Studi di Sassari, vol.6, 1985-1992, 125-165.
- MADRAU, S., 1993. *Valutazione della attitudine alla utilizzazione agronomica e al miglioramento pascoli dei suoli della Sardegna. Il territorio comunale di Sindia (Nu)*. Studi Sassaresi, Sez. III – Ann. Fac. Agr. Univ. Sassari (1), 35 (1°), 41-61.
- MADRAU, S., LOJ, G., BALDACCINI, P., 1998. *Modello per la valutazione della attitudine al miglioramento dei pascoli dei suoli della Sardegna*. Nucleo Ricerca Desertificazione – Università di Sassari, Ente Regionale di Sviluppo ed Assistenza Tecnica in Agricoltura, Cagliari, 51.
- SOIL SURVEY STAFF, 1997. *Keys to Soil Taxonomy, 7th edition*. USDA – Soil Conservation Service, Pocahontas Press, Inc. Blacksburg, Virginia.
- SOIL SURVEY STAFF, 2003. *Keys to Soil Taxonomy, 9th edition*. USDA – NRCS, 332.

Ministero delle Politiche Agricole, Alimentari e Forestali
Osservatorio Nazionale Pedologico e per la Qualità del Suolo Agricolo e Forestale

In collaborazione con:
International Union of Soil Sciences
Società Italiana della Scienza del Suolo
Commissione VI - Uso e Conservazione del Suolo

CALZOLARI, C., GUERMANDI, M., ARAMINI, G., COLLOCA, C., COREA, A.M.,
PAONE, R., TAMBURINO, V., ZIMBONE, S.M., ANDILORO, S., 2006.
Attitudine dei suoli allo spandimento dei reflui. In: Costantini, E.A.C. (Ed.), Metodi di
valutazione dei suoli e delle terre, Cantagalli, Siena, pp. 922.

Collana dei metodi analitici per l'agricoltura diretta da Paolo Sequi, vol. 7

CRA - Consiglio per la Ricerca e la Sperimentazione in Agricoltura
Istituto Sperimentale per lo Studio e la Difesa del Suolo, Firenze

40. Attitudine dei suoli allo spandimento dei reflui

Costanza Calzolari¹, Marina Guermandi², Giovanni Aramini³, Caterina Colloca³, Anna Maria Corea³, Raffaele Paone³, Vincenzo Tamburino³, Santo Marcello Zimbone³, Serafina Andiloro⁴

40.1. Considerazioni generali e aspetti normativi (a cura di Costanza Calzolari).....	3
40.1.1. Effetto degli apporti di reflui sulle proprietà del suolo	3
40.1.2. Effetto degli apporti di reflui sull'inquinamento del suolo e delle acque.....	5
40.1.3. Quadro normativo	5
40.2. Proprietà che condizionano l'attitudine del suolo e dell'ambiente allo spandimento dei reflui (a cura di Marina Guermandi).....	7
40.3. Attitudine dei suoli allo spargimento delle acque di vegetazione (a cura di Giovanni Aramini, Caterina Colloca, Anna Maria Corea, Raffaele Paone, Vincenzo Tamburino, Santo Marcello Zimbone, Serafina Andiloro)	11
40.3.1. Aspetti normativi	11
40.3.2. Effetti dei reflui oleari sui suoli e sulle acque	12
40.3.3. L'attitudine dei suoli allo spargimento delle acque di vegetazione	14
40.3.4. La carta di attitudine dei suoli: il metodo dell'ARSSA - Calabria	14
40.3.5. Capacità di accettazione dei reflui senza rischi di ruscellamento superficiale (run-off).....	16
40.3.6. Capacità protettiva e depurativa dei suoli (modificata dalla permeabilità dell'insaturo).....	17
40.3.7. Capacità di ritenzione dei reflui	18
40.3.8. pH e calcare attivo.....	19
40.3.9. Drenaggio interno	19
40.3.10. Conducibilità elettrica	19
40.3.11. Classificazione della capacità protettiva e depurativa dei suoli.....	20
40.3.12. Profondità della falda	21

¹ CNR-IRPI Istituto Ricerca Protezione Idrogeologica, Unità di Firenze, Pedologia Applicata

² Regione Emilia Romagna - Servizio Geologico, Sismico e dei Suoli, Bologna

³ ARSSA Calabria - Servizio di Agropedologia

⁴ Università Mediterranea di Reggio Calabria - Dipartimento di Scienze e Tecnologie Agroforestali e Ambientali

40.3.13. Altitudine e pendenza	22
40.3.14. Attitudine dei suoli allo spargimento dei reflui.....	22
40.3.15. Prescrizioni	23
Bibliografia	25

40.1. Considerazioni generali e aspetti normativi (a cura di Costanza Calzolari)

A fronte di una crescente necessità da parte del sistema produttivo e civile nazionale di smaltire grandi quantità di reflui derivanti dal sistema agricolo, dall'agro-industria e dal ciclo di smaltimento dei rifiuti e degli scarichi urbani, c'è la necessità di difendere i suoli e le acque dal consistente pericolo di inquinamento insito in una pratica di spandimento non sostenibile. Attualmente, i diversi strumenti legislativi che regolamentano la protezione del suolo e delle acque dall'inquinamento derivante dai reflui indicano la possibilità di un utilizzo "sostenibile", la cui giustificazione risiede nell'esigenza di incrementare la quantità di sostanza organica nei suoli, da più parti indicata in decrescita e anche dalla necessità di ridurre i costi di smaltimento dei reflui. In realtà, a tutt'oggi non esiste un documento che fotografi precisamente la dotazione di SO nel suolo a livello di dettaglio, né tanto meno esistono elaborazioni sul *trend* del contenuto per aree vaste e rappresentative. Studi sono stati prodotti solo a scale molto piccole (Jones et al., 2004) o per aree limitate, come la pianura emiliano-romagnola (Ungaro et al., 2003). È tuttavia comunemente sottinteso che l'abbandono delle rotazioni agricole e della compresenza in azienda delle pratiche zootecniche con le pratiche agricole abbiano causato negli ultimi anni una notevole riduzione della dotazione media in sostanza organica nei suoli agrari italiani. È del resto indubbio che la sostanza organica contenuta nei diversi tipi di reflui possa costituire una risorsa, una volta che i reflui siano stati opportunamente trattati e stabilizzati. Numerosi studi sono stati prodotti nel corso degli ultimi anni sugli effetti, positivi o negativi, degli apporti di sostanza organica sulle diverse caratteristiche del suolo e sul rischio di inquinamento del suolo e delle acque superficiali.

40.1.1. Effetto degli apporti di reflui sulle proprietà del suolo

Molti processi di degradazione del suolo in ambiente semi arido sono collegati alla carenza in sostanza organica spesso derivata da un uso intensivo del suolo e

pratiche agronomiche inadatte (Garcia-Orenes et al., 2005). La sostanza organica nel suolo è, infatti, altamente correlata alla stabilità strutturale e alla densità apparente del suolo (Robert et al., 2004), responsabili del comportamento idrologico dei primi strati del suolo, ed in definitiva alla capacità di infiltrazione, alla resistenza all'erosione (De Ploey e Poesen, 1985) e alla capacità di ritenzione idrica, legata sia alla alta capacità di ritenzione della sostanza organica e alla sua idrofobicità, sia agli effetti sulla struttura del suolo (Robert et al., 2004). È quindi logico che si dia una grande importanza alla possibilità d'utilizzo di sostanza organica esogena (Marmo et al., 2004), derivante da diversi tipi di refluo, per migliorare le caratteristiche fisiche del suolo. Molte ricerche sono state effettuate negli ultimi anni, dimostrando l'effetto positivo dei reflui sulla predisposizione alla formazione di croste (Pagliai et al., 1983), su stabilità strutturale e densità apparente (Garcia-Orenes et al., 2005), sulla porosità (Sort e Alcaniz, 1999; Pagliai et al., 1983), sia quantitativa che qualitativa (Pagliai e Vittori Antisari, 1993), ed infine su stabilità strutturale e densità apparente (Garcia-Orenes et al., 2005). L'importanza dell'uso appropriato di reflui per la difesa dall'erosione, per l'effetto combinato su numerose proprietà legate ai processi erosivi, è infine discussa e evidenziata nei documenti di accompagnamento alla strategia tematica sul suolo a livello europeo (Crescimanno et al., 2004).

Ovviamente, anche la possibilità di utilizzare le sostanze nutritive contenute in varia percentuale e tipologia nei reflui è stata oggetto di notevole attenzione (Robert et al., 2004; Hernandez et al., 2002; Dauden e Quilez, 2004), anche se viene sottolineata la necessità di ricorrere a dosi elevate di refluo per ottenere incrementi nei contenuti in elementi nutritivi, e specialmente in azoto (Stamatiadis et al., 1999). L'uso di reflui come ammendanti, oltre ad influenzare la disponibilità in elementi nutritivi direttamente, esercita una forte influenza sull'attività biologica del suolo (Dick, 1992; Banerjee et al., 1997).

Molti degli studi citati, e molti altri ancora, sottolineano del resto che le molteplici ed interconnesse influenze esercitate dall'immissione di sostanza organica esogena nel suolo, non sempre sono positive. Molto spesso, accanto ad effetti positivi si registrano effetti negativi o comunque effetti di accumulo che suggeriscono precauzione nell'uso dei reflui, senza bisogno di arrivare a fenomeni di vero e proprio inquinamento da metalli pesanti o da patogeni. Un'eccessiva idrofobicità può essere causa di aumentato rischio di ruscellamento; caratteristiche chimiche dei reflui usati possono causare aumento della salinità o al contrario effetti deprimenti sui valori di pH; a fronte di un incremento dell'attività biologica del suolo sono segnalati anche effetti di diminuzione in termini di biodiversità. Questo porta a considerare con attenzione ogni aggiunta di sostanza organica esogena al suolo, al fine di preservarne la salute (Doran e Zeiss, 2000; Marmo et al., 2004).

40.1.2. Effetto degli apporti di reflui sull'inquinamento del suolo e delle acque

Una volta stabilito che c'è una grossa disponibilità di sostanza organica contenuta in reflui di varia origine, che in linea di principio è possibile riciclare nel suolo per tutti gli effetti positivi appena visti e in generale per un corretto equilibrio dei cicli biologici, occorre evidentemente gestire gli spandimenti al suolo in modo corretto, utile e, in una parola spesso abusata, sostenibile. Occorre quindi affrontare il problema anche da un punto di vista di valutazione del rischio (Lulli, 1997) e considerare che lo spandimento dei reflui può provocare inquinamento (organico, da metalli pesanti, da patogeni, ecc.) del suolo e delle acque profonde e superficiali, attraverso la percolazione e il ruscellamento. Per una corretta valutazione del rischio, sia pur espressa in termini di "attitudine dei suoli allo spandimento", è necessario avere chiari i seguenti punti:

- la tipologia del refluo (liquami animali, fanghi da depurazione urbana o industriale, reflui da oleifici, ecc.);
- le caratteristiche del refluo (caratteristiche chimiche, fisiche e biologiche e tipo di processo di maturazione subito);
- le caratteristiche pedologiche e ambientali;
- il quadro di riferimento legislativo.

40.1.3. Quadro normativo

In linea generale sono le Amministrazioni Regionali che normano la materia, con leggi regionali che recepiscono norme nazionali a loro volta attuative di normative europee. La prima e principale legge di riferimento è la cosiddetta Legge Merli (L. 319/1976 e modifiche introdotte con la L. 650/1979), "Norme per la tutela delle acque dall'inquinamento", che disciplina gli scarichi di qualunque tipo in tutte le acque superficiali e sotterranee, imponendo limiti di qualità (definiti nelle tabelle in appendice al testo di legge) ed individuando le responsabilità dello Stato e delle Regioni. Con il D. Lgs 99/1992, attuazione della direttiva 86/278/CEE concernente la protezione dell'ambiente, in particolare del suolo, nell'utilizzazione dei fanghi di depurazione in agricoltura, viene introdotta la possibilità di utilizzo agronomico a determinate condizioni e comunque solo con scopo di concimazione (e non di eliminazione del rifiuto). In tale decreto viene definito il termine "fanghi", come i residui derivanti dai processi di depurazione di acque reflue da insediamenti abitativi o produttivi. Vengono altresì stabiliti dei limiti per l'utilizzo vietando la somministrazione a terreni "a) allagati, soggetti ad esondazioni e/o inondazioni naturali, acquitrinosi o con falda acquifera affiorante, o con frane in atto; b) con pendii maggiori del 15% limitatamente ai fanghi con un contenuto in sostanza secca inferiore al 30%; c) con pH minore di 5; d) con C.S.C. minore di 8 meq/100 gr di suolo".

Nel decreto vengono stabilite le prerogative delle Regioni, demandate al rilascio delle autorizzazioni, che tra l'altro possono stabilire ulteriori limiti e "condizioni di utilizzazione in agricoltura per i diversi tipi di fanghi in relazione alle caratteristiche dei suoli, ai tipi di colture praticate, alla composizione dei fanghi, alle modalità di trattamento".

Con il D. Lgs. 22/1997, il cosiddetto Decreto Ronchi, vengono recepite le direttive 91/156/CEE sui rifiuti, 91/689/CEE sui rifiuti pericolosi e 94/62/CE sugli imballaggi e sui rifiuti di imballaggio. Da tale decreto vengono esplicitamente esclusi i rifiuti derivanti da "attività di trattamento degli scarti che danno origine ai fertilizzanti". Il Decreto Ronchi prevede per lo Stato "[...] l'adozione delle norme tecniche, delle modalità e delle condizioni di utilizzo del prodotto ottenuto mediante compostaggio, con particolare riferimento all'utilizzo agronomico come fertilizzante [...], del prodotto di qualità ottenuto mediante compostaggio da rifiuti organici selezionati alla fonte con raccolta differenziata [...]".

Il cosiddetto "testo unico sulle acque" o Decreto Legislativo 152/1999 (e successive integrazioni disposte con D. Lgs. 258/00), "Disposizioni sulla tutela delle acque dall'inquinamento e recepimento della Direttiva 91/271/CEE concernente il trattamento delle acque reflue urbane e della direttiva 91/676/CEE", recepisce a livello nazionale la cosiddetta "Direttiva Nitrati". Si tratta dello strumento legislativo più recente e complesso, che fra l'altro unifica sostanzialmente la disciplina in materia di spandimento di materia organica esogena. La direttiva nitrati mira a ridurre l'inquinamento delle acque causato direttamente o indirettamente dai nitrati di origine agricola e a prevenire qualsiasi ulteriore inquinamento di questo tipo, introducendo il concetto di "vulnerabilità" (vedi paragrafo sulla capacità protettiva dei suoli). La direttiva prevede inoltre che gli Stati Membri si dotino di "un codice o più codici di buona pratica agricola" (approvato in Italia con D.M. del 19 aprile 1999). Con il recepimento della direttiva, il D. Lgs. 152/99 stabilisce per le Regioni l'obbligo di individuare nel proprio territorio le "zone vulnerabili" e definire Programmi di Azione obbligatori per gli agricoltori da applicare all'interno di tali aree.

Il trattamento e l'utilizzo dei reflui oleari viene regolamentato invece da una apposita normativa, la L. 574/1996, "Nuove norme in materia di utilizzazione agronomica delle acque di vegetazione e di scarichi dei frantoi oleari", recentemente integrata, in seguito all'approvazione della 152/99, dal D.M. 6 luglio 2005. La 574/96 limita la quantità di acque di vegetazione somministrabile per anno e per ettaro a cinquanta metri cubi per acque provenienti da frantoi a ciclo tradizionale e a ottanta metri cubi per le acque di vegetazione provenienti da frantoi a ciclo continuo, riconoscendo al contempo ai reflui oleari la qualifica di ammendante. La legge 574/1996 lascia invece alla normativa precedente la fase solida (fanghi di risulta) derivata dal processo di lavorazione.

Il D.M. MiPAF 6 luglio 2005, recante i "Criteri e norme tecniche generali per la disciplina regionale dell'utilizzazione agronomica delle acque di vegetazione e degli scarichi dei frantoi oleari, di cui all'articolo 38 del decreto legislativo 11 maggio 1999, n. 152", afferma che "lo spandimento delle acque di vegetazione e delle sanse umide deve essere praticato nel rispetto di criteri generali di utilizzazione delle

sostanze nutritive ed ammendanti e dell'acqua in esse contenute che tengano conto delle caratteristiche pedogeomorfologiche, idrologiche ed agroambientali del sito". Al fine di spandere, il proprietario dei terreni deve produrre la documentazione relativa al sito di spandimento, con indicazioni sul pH dei suoli, sulla "Capacità di accettazione delle piogge" secondo la «Guida alla descrizione dei suoli in campagna e alla definizione delle loro qualità» dell'Istituto Sperimentale per lo Studio e la Difesa del Suolo di Firenze (Gardin et al., 2002) ed escludendo le classi «bassa» e «molto bassa», sulla conducibilità idrica satura e sulle condizioni morfologiche ed idrologiche.

È infine dell'aprile 2006 il Decreto Legislativo in materia ambientale 152/2006, che recepisce la nuova Direttiva Europea sulle acque, 2000/60/CE, recante "Norme in materia ambientale". Tale decreto riunifica le normative del settore abolendo tutte le leggi principali, e specificatamente la 183/99 sulla difesa del suolo e tutela delle acque, la 152/99 sulla gestione e tutela delle acque e anche la cosiddetta legge Merli, 319/76, peraltro già abrogata dalla 152/99. In questo già complesso quadro di normativa nazionale di riferimento, le diverse regioni hanno emesso leggi regionali di applicazione, spesso diverse da regione a regione e evolute nel tempo di pari passo con l'evoluzione della normativa nazionale.

Nel mondo scientifico sono stati realizzati diversi esempi di carte di attitudine allo spandimento. I primi esempi, realizzati nelle Regioni settentrionali più interessate al problema, risalgono ai primi anni '80, con le carte di attitudine allo spandimento di liquami suini (fra le altre, ERSAL, 1988; Lulli et al., 1980; Guermandi e Lulli, 1986) e dei fanghi e più recentemente con le carte per lo spandimento dei residui da oleificio (ARSSA, 2002). I diversi esempi realizzati risentono, ovviamente, oltre che della tipologia di reflu, del quadro normativo di riferimento.

40.2. Proprietà che condizionano l'attitudine del suolo e dell'ambiente allo spandimento dei reflui (a cura di Marina Guermandi)

Già i primi studi, effettuati negli anni '80 (Lulli, 1997; Lulli et al., 1980; A.A.V.V., 1989), in relazione alla pratiche di distribuzione dei reflui zootecnici, segnalavano l'importanza, nell'attività di valutazione dell'attitudine del territorio, di considerare l'insieme delle condizioni ambientali del sito o dell'area esaminate. Non solo il suolo, ma anche le condizioni morfologiche e idrogeologiche ad esso connesse. Anche se in queste analisi l'attenzione si concentra sul suolo ed alcune sue proprietà, viene sottolineata l'importanza della conoscenza del tipo di unità geologica (ad esempio, permeabilità, densità di drenaggio, ecc.), della morfologia (tipo di bacino, pendenza, ecc.), della falda.

Quindi il suolo in relazione alla litologia sottostante, al clima, alla coltura e alle pratiche colturali.

La consapevolezza della complessità dei fenomeni di traslocazione, degradazione, fissazione, che avvengono nel suolo e in cui interagiscono numerosi fattori, ha in seguito orientato verso l'individuazione di qualità del suolo complesse. Ad esempio, per descrivere la sua capacità di condizionare il moto dell'acqua di precipitazione o dei liquidi ad esso apportati, in direzione delle falde e della rete idrica superficiale, è stato proposto il "comportamento idrologico" del suolo (Guermandi et al., 1991). Per definirlo sono state chiamate in causa prioritariamente permeabilità, disponibilità d'ossigeno, acclività, che insieme definiscono la capacità del suolo di accettare le piogge, o meglio l'attitudine delle terre ad accettare le acque di pioggia e quindi anche la distribuzione di liquami, senza che si verifichino ruscellamento superficiale e/o percolazione rapida in profondità.

Concorre a definire il comportamento idrologico l'infiltrabilità, quale proprietà del suolo di essere penetrato dall'acqua in superficie. Tale proprietà risulta particolarmente importante quando si considerano i suoli agricoli. In questi essa assume valori diversi nel corso dell'anno in relazione alla successione colturale e alle pratiche di gestione. Alta, dopo la lavorazione principale (aratura), tende progressivamente a diminuire sino a raggiungere i valori minimi in prossimità della raccolta. Suoli con significativa, diversa infiltrabilità presentano di conseguenza diversa propensione a favorire le perdite idriche per scorrimento superficiale e/o il ristagno idrico superficiale.

In Emilia Romagna è stata trovata una buona correlazione tra suoli con elevato indice d'incrostamento ($> 1,6$), presenza in campo di fenomeni d'incrostamento e bassi valori di velocità d'infiltrazione all'equilibrio, misurati. Altra qualità del suolo che ne condiziona il comportamento idrologico è la capacità di ritenzione idrica, la quantità d'acqua che esso può trattenere, evitando così che quest'ultima percoli verso il basso al di fuori del volume di suolo esplorato dagli apparati radicali delle colture. Per questo generalmente viene stimata per uno spessore di 150 cm.

Altri schemi di valutazione, sempre orientati alla stima del comportamento idrologico, si sono concentrati maggiormente sui caratteri del suolo, così come vengono acquisiti nei rilevamenti effettuati per la redazione, a scopo generale, delle Carte dei suoli alle diverse scale. La maggior parte degli schemi adottati dai Servizi del Suolo operanti a livello regionale prendono in considerazione: tessitura, scheletro, caratteri vertici, talora affiancati da drenaggio, profondità della falda ipodermica, presenza di un orizzonte organico (ERSAL, 1996). Per quanto diversi tra loro e di non immediata correlazione, la maggior parte di essi si concentra sulle proprietà del suolo che controllano il rischio di degradazione delle risorse idriche superficiali e profonde. Può accadere che proprietà dei suoli e dell'ambiente rilevanti in uno schema possano non esserlo in un altro, e ciò può portare inevitabilmente a classificazioni efficaci solo nell'area in cui sono state validate. Ad esempio, la scarsa diffusione di suoli a tessitura

grossolana, può farli includere in un'unica classe di comportamento idrologico, mentre in territori dove sono presenti in maniera significativa, è possibile verificare che esistono comportamenti diversi al variare della composizione granulometrica delle sabbie, del tipo di ghiaie o della presenza di discontinuità tessiturali. Nel caso di tessiture franco-sabbiose o franche, ma con alte percentuali di sabbie molto fini, il drenaggio può risultare significativamente rallentato (Petrella, 1997).

L'uso di schemi di valutazione differenti ha reso frequentemente difficile il confronto anche in ambienti simili se non addirittura limitrofi. Metodi definiti più completi sono risultati di più complessa applicazione, esternamente agli ambiti territoriali d'origine; viceversa, altri più semplici sono risultati in parte incompleti. E forte si è manifestata l'esigenza di avere un'unica metodologia per evitare difformità di valutazione per ambienti e suoli simili (Ragazzi e Vinci, 1997).

Si può dire che ciò è ora in parte reso possibile con l'impiego di modelli matematici che vengono impiegati per descrivere i flussi idrici in uscita dal sistema suolo e di conseguenza stimarne la capacità protettiva nei confronti delle acque (vedi paragrafo sulla capacità protettiva dei suoli). Anche se questo ha favorito la confrontabilità delle valutazioni, è opportuno sottolineare l'importanza della validazioni a scala locale dei risultati ottenuti dalle elaborazioni modellistiche, possibili grazie a dati sperimentali locali o al giudizio di esperti, sempre locali. Per quanto il rischio d'inquinamento del suolo, in seguito alla distribuzione di reflui zootecnici, sia un evento ritenuto trascurabile, soprattutto in relazione al rischio di inquinamento da nitrati delle acque, in alcuni schemi di valutazione questo aspetto è stato considerato e definito. Il suolo può in effetti essere caratterizzato oltre che per un comportamento idrologico tipico, più o meno facilmente descrivibile, anche da una diversa capacità di degradare e/o fissare le sostanze ad esso apportate. Questa capacità o comportamento, denominato capacità depurativa, evidenzia il ruolo del suolo quale laboratorio naturale in cui avvengono reazioni chimiche e biologiche che conducono alla degradazione della sostanza organica, alla liberazione degli elementi nutritivi in forma assimilabile dalle colture, alla fissazione delle molecole estranee al sistema naturale suolo. A descriverlo sono state proposte le seguenti proprietà: profondità utile per le radici, scheletro, reazione, capacità di scambio cationico.

I processi subiti dai liquami all'interno del suolo avvengono, in gran parte, nell'ambito dello strato interessato dagli apparati radicali delle colture. La profondità utile alle radici è quindi un indicatore dello spessore dello "strato attivo" del suolo in grado di svolgerli. Viceversa il volume occupato dallo scheletro (particelle e frammenti di roccia aventi diametro superiore ai 2 mm) può essere considerato "inattivo" nei confronti dei processi di adsorbimento e degradazione dei liquami, che avvengono a livello della matrice del suolo. Una buona capacità del suolo di degradare la sostanza organica apportata ne massimizza l'efficienza fertilizzante e riduce le perdite inquinanti.

Anche il pH influenza l'attività microbica e quindi i processi di alterazione e degradazione della sostanza organica. A bassi valori di pH corrisponde un notevole rallentamento di tale attività. Una reazione del suolo prossima alla neutralità (valori di pH da 6,5 a 7,5) è importante per l'immobilizzazione dei metalli pesanti e dei fosfati che sono presenti nei reflui zootecnici. Così la capacità di scambio cationica, che evidenzia la maggiore o minore capacità del suolo di adsorbire tali composti a potenziale azione inquinante.

I modelli interpretativi per la valutazione dell'attitudine dei suoli allo spandimento dei reflui zootecnici, in base alle qualità e/o caratteri del suolo che ne descrivono il comportamento idrologico e, meno frequentemente, la capacità depurativa, consentono la collocazione dei tipi di suolo considerati in classi a diversa attitudine, in genere 4, secondo lo schema della *Land Suitability Classification* (FAO, 1976) che vanno dal molto adatto al non adatto.

La stima dell'attitudine dei suoli allo spandimento dei reflui contribuisce all'individuazione delle aree caratterizzate da elevata fragilità ambientale, nelle quali il suolo non è in grado di esercitare un'adeguata funzione protettiva delle acque e delle stesse colture. La comprensione del comportamento dei suoli in relazione a tale pratica può inoltre orientare le pratiche di gestione agronomica dei suoli (volumi, epoche e modalità di distribuzione) per renderle più idonee alla riduzione dei rischi d'inquinamento, all'interno dei Programmi Regionali d'Azione per le zone vulnerabili ai nitrati.

Nei metodi di valutazione di vulnerabilità degli acquiferi normalmente utilizzati, per quanto il maggior imputato sia il settore agricolo e gli apporti al suolo provenienti da questo settore, al suolo viene assegnato in genere un ruolo marginale. Risulta quindi prioritario concentrare gli sforzi per migliorare la comprensione, il rilevamento e la descrizione dei comportamenti del suolo che ne consentono la migliore gestione in termini agronomici (migliore efficienza della fertilizzazione) e che, di conseguenza, comportano minori rilasci nell'ambiente (nitrati).

L'individuazione di tipi funzionali di suolo consente di controllare o meglio definire le classi di attitudine attualmente proposte e di fornire stime, corredate di dati misurati in campagna, in merito alla permeabilità, alla ritenzione idrica, all'infiltrabilità, ai modelli di valutazione della vulnerabilità della falda all'inquinamento.

40.3. Attitudine dei suoli allo spargimento delle acque di vegetazione (a cura di Giovanni Aramini, Caterina Colloca, Anna Maria Corea, Raffaele Paone, Vincenzo Tamburino, Santo Marcello Zimbone, Serafina Andiloro)

40.3.1. Aspetti normativi

La complessa problematica della gestione delle acque reflue dei frantoi oleari nasce, sul piano normativo, con la Legge 319/76 (Legge Merli) che ha imposto precisi limiti di qualità per gli scarichi derivati da insediamenti produttivi. Sono considerati tali i frantoi oleari che lavorano meno dei 2/3 delle olive prodotte in azienda, tipologia nella quale rientrano gran parte di quelli operanti. I limiti imposti dalla "tabella 1" della suddetta legge, imponevano, di fatto, la depurazione delle acque di vegetazione, risultando molto elevata la loro carica organica. Il problema posto dalla normativa ha stimolato, negli anni successivi, un'intensa attività di ricerca e di sperimentazione di soluzioni tecnologiche di depurazione dei reflui oleari. I trattamenti proposti, basati su processi chimico-fisici (chiariflocculazione, ecc.), biologici (aerobici, anaerobici, ecc.) o su processi di concentrazione delle acque stesse (osmosi inversa, ultrafiltrazione, evaporazione, ecc.) si sono spesso rivelati non sostenibili dal punto di vista economico oppure scarsamente efficaci dal punto di vista ambientale. In una situazione di estremo disagio per il comparto, con quasi tutti gli operatori in difficoltà a rispettare la norma, risulta evidente la necessità di pensare alle acque di vegetazione come risorsa per il loro valore fertilizzante e di disciplinarne la distribuzione sul suolo. Il refluo, infatti, pur presentando un elevatissimo carico organico ed alti valori di sostanze fenoliche ad azione biocida, che ne proibiscono la destinazione in corpi idrici superficiali o profondi, comporta modesti problemi igienico-sanitari, grazie alla sua scarsa carica microbica. È evidente, tuttavia, che la distribuzione sul suolo debba essere condizionata dalla necessità di non degradare le risorse naturali e di non danneggiare le colture in atto.

Un primo tentativo di regolamentazione della materia può essere identificato nella Legge 19/87 che, di fatto prorogata fino all'approvazione della 574/96, consentì, in via provvisoria, lo smaltimento su suolo prescindendo dai limiti imposti dalla Legge Merli e a seguito di specifica autorizzazione da parte del sindaco.

Con la Legge 574/96 si consolida il concetto che vede le acque reflue olearie come risorsa piuttosto che come rifiuto da smaltire. Nella norma si fa riferimento, infatti, all'utilizzazione agronomica di tali acque, seppur condizionata dalla necessità di contenere l'impatto ambientale. In particolare, la legge impone limiti quantitativi, modalità di stoccaggio e spandimento ed esclude talune categorie di terreni. Il carico idraulico è fissato in $50 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$

anno⁻¹ per le acque di vegetazione provenienti da frantoi a ciclo tradizionale e 80 m³ ha⁻¹ anno⁻¹ per quelle provenienti da frantoi a ciclo continuo.

Lo stoccaggio può essere effettuato per un termine non superiore a 30 giorni in silos, cisterne e vasche, previa comunicazione al sindaco del luogo ove ricadono. Lo spandimento deve essere realizzato assicurando un'ideale distribuzione ed incorporazione delle sostanze nei terreni ed evitando fenomeni di ruscellamento. Lo spandimento delle acque di vegetazione è vietato, in ogni caso, nelle seguenti situazioni:

- terreni situati a distanza inferiore a trenta metri dalle aree di salvaguardia delle captazioni di acque potabili;
- terreni situati a distanza inferiore a duecento metri da centri abitati;
- terreni in cui siano localizzati falde site ad una profondità inferiore a dieci metri;
- terreni gelati, innevati, saturi di acqua ed inondati.

L'utilizzazione agronomica delle acque di vegetazione è subordinata alla comunicazione preventiva al sindaco del Comune in cui sono ubicati i terreni. La comunicazione deve essere accompagnata da una relazione tecnica relativa agli aspetti pedogeomorfologici, idrologici, e più in generale, alle caratteristiche dell'ambiente ricevitore.

L'autorità competente può chiedere ulteriori accertamenti o disporre direttamente controlli e verifiche. Qualora vi sia effettivo rischio di danni all'acqua, al suolo, al sottosuolo o alle risorse ambientali, il sindaco può sospendere la distribuzione delle acque di vegetazione oppure ridurre i limiti quantitativi.

Particolare interesse riveste il Piano di smaltimento delle acque di vegetazione (art. 7 della L. 574/96) che le Regioni possono redigere sulla base della valutazione delle diverse situazioni territoriali. Il Piano costituisce un concreto strumento di pianificazione degli interventi nel settore e deve riguardare aree omogenee individuate con riferimento alle caratteristiche delle produzioni olivicole, degli impianti di molitura ed in particolare deve tenere conto delle caratteristiche specifiche dell'ambiente ricevitore (pedoambiente). Il Piano deve essere trasmesso al Ministero delle Politiche Agricole e Forestali. Fermo restando quanto stabilito dalla Legge 574/96, le Regioni, secondo quanto previsto dall'art. 38 del Decreto Legislativo 258/2000, disciplinano l'utilizzazione agronomica delle acque reflue sulla base di criteri generali adottati con il D.M. MiPAF 6 luglio 2005.

40.3.2. Effetti dei reflui oleari sui suoli e sulle acque

L'utilizzazione agronomica delle acque di vegetazione attraverso lo spargimento sul suolo è stata oggetto, negli ultimi decenni, di numerose ricerche scientifiche volte ad accertare il loro effetto sulle caratteristiche fisico-

chimiche dei suoli stessi, sulle colture in atto e, non ultimo, sulla falda freatica. Dall'ampia bibliografia disponibile emerge, in estrema sintesi che:

- la distribuzione delle acque di vegetazione sul suolo svolge un'azione fertilizzante, in particolare per gli alti contenuti in potassio (Saviozzi et al., 1993; Pagliai et al., 2001);
- la momentanea acidificazione che fa seguito allo spargimento delle acque viene generalmente recuperata dopo qualche settimana o nel giro di pochi mesi (Alianello, 2001);
- il contenuto in sostanze fenoliche, dopo un incremento iniziale tende a rientrare nei valori normali nel medio periodo;
- la distribuzione delle acque riduce temporaneamente la velocità di infiltrazione e la conducibilità idraulica del suolo. Tale effetto aumenta all'aumentare delle dosi distribuite ed è funzione anche della tipologia delle acque stesse. Il fenomeno viene attribuito alla presenza di sostanze grasse idrorepellenti nei reflui, che vengono adsorbite negli strati superficiali. Tuttavia il fenomeno tende a scomparire nei mesi estivi per la mineralizzazione della sostanza organica (Pagliai et al., 2001);
- l'attività microbica subisce una stasi a seguito dello spargimento dei reflui, causata probabilmente dalla presenza di prodotti batteriosintetici o battericidi. Dopo poche settimane l'attività microbica torna a valori normali; tale azione risulta più prolungata nei suoli a granulometria fine;
- per quanto concerne i rischi di inquinamento della falda freatica, le indagini condotte evidenziano l'azione filtrante del suolo che tuttavia varia nei diversi suoli in dipendenza di diversi parametri, tra cui in particolare la granulometria; sotto questo aspetto sono da preferire suoli a granulometria fine provvisti di orizzonti argillici (De Simone, 2001);
- lo spargimento delle acque di vegetazione su colture arboree non sembra presentare particolari controindicazioni (Briccoli Bati et al., 1991);
- la somministrazione a colture erbacee in atto può determinare effetti fitotossici con generalizzati cali produttivi (Bonari et al., 2001, Bonari e Ceccarini, 1993).

Dall'esame di lavori proposti dal mondo della ricerca su questa tematica risultano due evidenti elementi di criticità:

- insufficiente considerazione della variabilità pedologica con prove realizzate spesso su suoli caratterizzati limitatamente all'orizzonte superficiale, scarso confronto fra suoli significativamente differenti per aspetti genetici, organizzazione in orizzonti, caratteristiche fisiche, chimiche ed idrologiche;
- limitato monitoraggio dei suoli trattati; infatti, in pochissimi casi si dispone di dati relativi al medio o lungo periodo nelle diverse situazioni pedologiche.

40.3.3. L'attitudine dei suoli allo spargimento delle acque di vegetazione

Sulla base delle conoscenze disponibili, scopo della valutazione in termini di attitudine allo spargimento è quello di fornire elementi essenziali affinché lo spargimento delle acque di vegetazione (A.V.) possa essere subordinato alle peculiarità pedoambientali o, come recita all'art. 7 la già citata Legge 574/96, alle caratteristiche dell'"ambiente ricevitore". Il raggiungimento di questo obiettivo è, evidentemente, legato alla definizione di uno schema interpretativo dei caratteri e delle qualità dei suoli funzionali allo scopo. La valutazione dell'attitudine dei suoli allo spargimento dei reflui oleari dovrà tenere conto:

- delle conoscenze fornite dal mondo della ricerca e della sperimentazione;
- delle indicazioni e limitazioni presenti nella normativa in materia;
- dalla scala di lavoro.

La valutazione dovrà, inoltre, seguire un approccio prudenziale che potremmo definire di attesa, al fine di compensare gli elementi di criticità relativamente alla conoscenza finora acquisita. Pur non essendone obbligatoria la produzione, una valutazione dei suoli in termini di attitudine allo spargimento delle acque di vegetazione può essere di grande utilità per definire un quadro generale di riferimento per la redazione del "Piano di spandimento" delle acque di vegetazione (art. 7 L. 574/96) che le Regioni sono chiamate ad elaborare.

Nella regione Calabria è stata prodotta la "Carta di attitudine dei Suoli" in scala 1:250.000 da parte dell'ARSSA. Questa prima suddivisione del territorio in aree omogenee dal punto di vista della loro attitudine allo spargimento dei reflui potrà costituire la base per lavori di maggiore dettaglio. Infine, sulla base di questo lavoro, potrà essere avviato il monitoraggio di medio e lungo periodo per tipologie pedologiche a differente attitudine allo spargimento.

40.3.4. La carta di attitudine dei suoli: il metodo dell'ARSSA - Calabria

La valutazione dell'attitudine dei suoli allo spargimento dei reflui oleari ha avuto come riferimento lo schema di classificazione in termini di attitudine della FAO (1976). Nell'individuazione dei parametri che influenzano le relazioni acque di vegetazione - suolo (inteso quest'ultimo nella sua accezione più ampia di terre) si è tenuto conto delle caratteristiche che determinano la potenziale fitotossicità dei reflui connessa a elevato contenuto in sostanza organica grezza con alti valori di COD e BOD, elevato contenuto salino, presenza di sostanze biotossiche (polifenoli). I caratteri delle terre che rivestono valenza discriminante sono ascrivibili ad aspetti pedologici, idrologici e morfometrici (Marrara et al., 2004; Pagliai et al., 2001; Favi et al., 1993). A tale scopo si è tenuto conto:

- della “capacità di accettazione dei reflui senza rischi di ruscellamento superficiale (*run-off*)”;
- della “capacità protettiva e depurativa”;
- della “profondità della falda superficiale”;
- dell’ “altitudine” e della “ pendenza”.

Le informazioni di base necessarie sono state desunte in gran parte dalla banca dati della "Carta dei Suoli della Calabria in scala 1:250.000" (ARSSA, 2004). La morfometria è stata ricavata da un DTM con passo a 40 metri, mentre lo strato informativo relativo alla profondità della falda è derivato da rielaborazioni di dati contenuti nelle “Carte piezometriche e della qualità delle acque”, realizzate nell'ambito del Progetto Speciale 26 della Cassa per il Mezzogiorno (CASMEZ, 1970).

Trattandosi di un lavoro a scala di riconoscimento, non sono stati evidenziati, per difficoltà di rappresentazione cartografica, alcuni fattori discriminanti contemplati dalla Legge 574/96, ed in particolare:

- distanza inferiore a trenta metri dalle aree di salvaguardia delle captazioni di acque destinate al consumo umano;
- distanza inferiore a duecento metri da centri abitati.

In considerazione delle fonti informative utilizzate, le unità elementari di valutazione sono state fatte coincidere con le unità cartografiche della suddetta “Carta dei Suoli”. Il sistema è generalmente applicato considerando tre livelli gerarchici: ordini, classi e sottoclassi, secondo il consueto schema. Gli ordini sono due e separano le terre adatte da quelle non adatte. Le classi delineano il grado di attitudine e, nell'ambito delle terre adatte indicano i suoli senza limitazioni (S1), i suoli con limitazioni moderate (S2), i suoli con limitazioni elevate (S3) ed infine i suoli con limitazioni severe (S4). Le sottoclassi specificano i tipi di limitazione. Il processo di valutazione muove dal concetto di uso sostenibile delle risorse naturali che, nel caso specifico, può essere sintetizzato nella necessità di:

- evitare il degrado del suolo; a tale scopo le caratteristiche fisico-chimiche del suolo (disponibilità di ossigeno, pH, calcare attivo, conducibilità elettrica) devono favorire i processi di degradazione delle sostanze apportate con le acque reflue limitando i rischi di accumulo delle stesse;
- evitare l'inquinamento della falda, che potrebbe conseguire ad una percolazione profonda attraverso strati di suolo e sottosuolo senza adeguate capacità depurative;
- evitare l'inquinamento dei corpi idrici legato al ruscellamento superficiale;
- evitare danni alle colture;
- valorizzare un sottoprodotto di sicuro interesse fertilizzante, con particolare riferimento all’elevato contenuto in potassio delle acque di vegetazione.

40.3.5. Capacità di accettazione dei reflui senza rischi di ruscellamento superficiale (run-off)

Il ruscellamento delle acque di vegetazione costituisce uno dei principali rischi d'inquinamento da cui la normativa intende tutelare i corpi idrici superficiali, anche distanti dall'area trattata. La valutazione del rischio di ruscellamento è effettuata in funzione della pendenza e dell'infiltrabilità. Come si evince dalla matrice di valutazione riportata in tabella 40.1, la capacità di accettazione dei reflui senza rischio di ruscellamento superficiale aumenta all'aumentare dell'infiltrabilità ed al diminuire della pendenza.

L'infiltrabilità è stata classificata in base alla conducibilità idraulica a saturazione ed al rischio d'incrostamento secondo quanto riportato nella tabella 40.2.

Sia la conducibilità idraulica a saturazione che il rischio d'incrostamento sono stati desunti dalle informazioni contenute nel database della "Carta dei Suoli". Il rischio di incrostamento è stato valutato con l'indice:

$$I_c = (1,5Z_f + 0,5Z_c)/(C+10 \text{ OM}) \quad (1)$$

dove:

Z_f = % limo fine

Z_c = % limo grosso

C = % argilla

OM = % sostanza organica

Tabella 40.1. Classificazione della capacità di accettazione dei reflui senza rischio di ruscellamento superficiale.

PENDENZA %	INFILTRABILITÀ					
	Molto alta	Alta	Moderat. alta	Moderat. bassa	Bassa	Molto bassa
<i>Concavità</i>	Molto alta	Molto alta	Molto alta	Molto alta	Molto alta	Molto alta
<i>< 1</i>	Molto alta	Molto alta	Alta	Alta	Moderata	Moderata
<i>1-5</i>	Molto alta	Alta	Alta	Moderata	Moderata	Bassa
<i>6-12</i>	Alta	Alta	Moderata	Moderata	Bassa	Bassa
<i>13-20</i>	Alta	Moderata	Moderata	Bassa	Bassa	Molto bassa

Tabella 40.2 Classificazione dell'infiltrabilità.

Conducibilità idraulica a saturazione K_s (cm h ⁻¹)	Rischio incrostamento I_c		
	< 1,2	1,2-1,6	> 1,6
> 35	Molto alta	Molto alta	Alta
3,5-35	Molto alta	Alta	Moderatamente alta
0,35-3,5	Alta	Moderatamente alta	Moderatamente bassa
0,035-0,35	Moderatamente alta	Moderatamente bassa	Bassa
0,0035-0,035	Moderatamente bassa	Bassa	Molto bassa
< 0,0035	Bassa	Molto bassa	Molto bassa

40.3.6. Capacità protettiva e depurativa dei suoli (modificata dalla permeabilità dell'insaturo)

Il suolo annovera tra le proprie funzioni quella di barriera protettiva nei confronti di potenziali inquinanti. Nel caso specifico dello spargimento dei reflui oleari, il suolo svolge tale azione trattenendo e successivamente degradando per ossidazione biologica le sostanze organiche in essi contenute (figura 40.1).

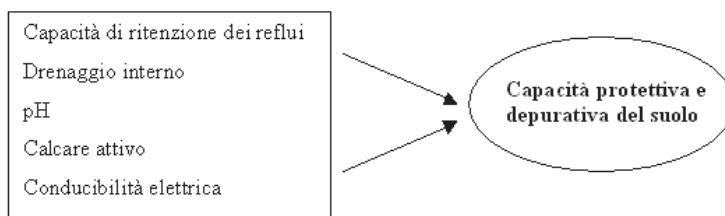


Figura 40.1. Schema di valutazione della capacità protettiva e depurativa del suolo.

La capacità protettiva e depurativa è funzione delle proprietà fisiche, chimiche e biologiche dei diversi suoli. Un suolo a drenaggio rapido, ad esempio, presenta una buona capacità di "metabolizzazione" della sostanza organica apportata, ma al contempo può essere facilmente attraversato da potenziali inquinanti. Al contrario, un suolo a drenaggio impedito svolge molto bene l'azione di barriera nei confronti degli acquiferi sottostanti, ma la bassa disponibilità di ossigeno rallenta la degradazione delle sostanze organiche

contenute nei reflui. Nell'ambito di questo approccio viene effettuata la lettura combinata della capacità protettiva e depurativa in considerazione del fatto che entrambe sono necessarie ai fini dello spargimento dei reflui. Tale valutazione è stata effettuata considerando: capacità di ritenzione di reflui, pH, calcare attivo, drenaggio interno, conducibilità elettrica. Alcuni di tali parametri, in particolare la conducibilità elettrica, sono anche indicativi delle attitudini dei suoli a ricevere acque reflue olearie senza degradarsi sotto il profilo agronomico.

40.3.7. Capacità di ritenzione dei reflui

Il rischio di percolazione del refluo apportato viene minimizzato da una buona capacità di ritenzione. La valutazione di tale capacità riveste grande importanza in considerazione del fatto che lo spargimento dei reflui avviene generalmente in un periodo in cui si registra un bilancio idrico positivo con surplus di apporti. In caso, quindi, di suoli con bassa capacità di ritenzione, esiste il rischio di una rapida percolazione profonda. La capacità di ritenzione dei reflui varia in funzione della tessitura e del contenuto in scheletro dei diversi orizzonti (che condizionano la capacità di ritenzione idrica per unità di volume), nonché in funzione della profondità del suolo.

Nel caso specifico è stato ritenuto funzionale considerare le “famiglie granulometriche” definite dalla Soil Taxonomy (USDA) sulla base della tessitura, del contenuto in scheletro e della successione di orizzonti. Le “famiglie granulometriche” relative ai suoli della Calabria sono state desunte dalla già citata “Carta dei Suoli della Calabria”. La capacità di ritenzione dei reflui aumenta all'aumentare della profondità e al diminuire dell'incidenza delle componenti grossolane, come si evince dallo schema riportato in tabella 40.3.

Tabella 40.3. Classificazione della capacità di ritenzione dei reflui.

Profondità del suolo (cm)	Famiglia granulometrica		
	Molto fine, fine, limoso fine, franco fine, limoso grossolano, franco, argilloso scheletrico, mediale	Franco grossolano, franco scheletrico più tutte le classi fortemente contrastanti, comprese quelle su sabbioso, sabbioso scheletrico e frammentale in cui il primo termine sia fine, molto fine o limoso fine	Sabbioso, sabbioso scheletrico e frammentale più tutte le rimanenti classi su sabbioso, sabbioso scheletrico e frammentale ed ancora tutte le classi fortemente contrastanti il cui primo termine sia sabbioso, sabbioso scheletrico e frammentale
> 100	Alta	Alta	Moderata
100-50	Alta	Moderata	Bassa
50-25	Moderata	Bassa	Bassa
< 25	Molto bassa	Molto bassa	Molto bassa

In presenza di percolazione idrica profonda, un'ulteriore protezione delle falde sotterranee viene assicurata dalla rimozione dalla fase liquida delle

sostanze trasportate (che vengono trattenute dal terreno per filtrazione meccanica, adsorbimento, ecc.). Tale azione, di difficile modellazione, è comunque correlata ai parametri utilizzati per valutare la capacità di ritenzione dei reflui.

40.3.8. pH e calcare attivo

La reazione del suolo è un parametro solitamente utilizzato nella valutazione della capacità protettiva in quanto condiziona la mobilità degli elementi. Nel caso dello spargimento di reflui, il pH si riflette in maniera diretta sull'attività microbica, condizionando il biochimismo di ossidazione della sostanza organica. Valori prossimi alla neutralità vengono considerati ottimali per la gran parte dei microrganismi presenti nel suolo. Le acque di vegetazione presentano un pH acido, variabile tra 4 e 5,5 che determina, nella maggior parte dei casi, un'acidificazione dei suoli trattati, anche se limitata ad un arco temporale di pochi mesi.

Coerentemente con i modelli di valutazione dell'attitudine dei suoli allo spargimento dei reflui oleari proposti dalla bibliografia, anche nell'ambito di questo lavoro il pH è stato considerato una discriminante che determina un uso cautelativo di suoli acidi o subacidi quali ricettori dei reflui stessi.

La presenza di calcare attivo garantisce un'azione tampone rispetto alla reazione acida dei reflui oleari ed inoltre, svolgendo un'azione positiva sui processi di strutturazione del suolo, favorisce sia l'infiltrazione che l'ossigenazione degli strati superficiali.

40.3.9. Drenaggio interno

Il drenaggio interno esprime la durata e la frequenza dei periodi durante i quali il suolo è parzialmente o totalmente saturo d'acqua. A questo parametro è legata la disponibilità d'ossigeno e conseguentemente l'attività microbica del suolo ed i processi ossidativi che in esso si svolgono. Ad un buon drenaggio corrisponde una buona disponibilità d'ossigeno; d'altra parte, un drenaggio eccessivamente rapido aumenta il rischio che vengano veicolate in profondità sostanze organiche non ancora degradate negli strati superficiali di suolo. La valutazione è stata effettuata, pertanto, penalizzando i suoli che presentano difficoltà di drenaggio oppure risultano eccessivamente drenati.

40.3.10. Conducibilità elettrica

La conducibilità elettrica, che esprime il contenuto in sali solubili del suolo, è stato considerato fattore discriminante nel processo di valutazione a causa dell'elevata salinità dei reflui oleari. L'utilizzo ripetuto delle acque di vegetazione su suoli che manifestano una tendenziale difficoltà di lisciviazione

di sali, potrebbe riflettersi negativamente sulle caratteristiche chimico-fisiche dei suoli stessi con particolare riguardo ai processi di destrutturazione.

40.3.11. *Classificazione della capacità protettiva e depurativa dei suoli*

Sulla base dei caratteri e delle qualità del suolo indicati (capacità di ritenzione dei reflui, pH, calcare attivo, drenaggio interno, conducibilità) sono state definite le classi di capacità protettiva e depurativa, secondo la matrice riportata in tabella 40.4.

Tabella 40.4. Classificazione della capacità protettiva e depurativa del suolo.

	Capacità di ritenzione dei reflui	pH	Calcare attivo %	Drenaggio interno	Conducibilità (mS cm ⁻¹)
Alta	4 - Alta	> 6,4	Presente	Buono Mediocre	< 0,5
Moderata	3 - Moderatamente alta	6,4-5,6	Assente	Buono Mediocre	0,5-1
Bassa*	2 - Bassa	6,4-5,6	Assente	Lento, rapido, molto lento	1-2
Molto bassa**	1 - Molto bassa	< 5,6	Assente	Impedito	> 2

* La classe diventa moderata nel caso di insaturo non permeabile.

** La classe diventa bassa nel caso di insaturo non permeabile. Questa condizione è valida solo nel caso in cui l'attribuzione della classe di capacità protettiva e depurativa (bassa o molto bassa) è determinata dalla capacità di ritenzione dell'acqua e ritenzione-degradazione della sostanza organica o dal drenaggio.

Nel caso di suoli scarsamente protettivi per bassa o molto bassa capacità di ritenzione o per drenaggio rapido viene considerata l'azione attenuante dell'insaturo. Se il suolo, infatti, costituisce la prima "barriera" rispetto al rischio d'inquinamento degli acquiferi, anche l'insaturo, inteso come parte del sottosuolo compresa tra la base del suolo e la zona satura dell'acquifero, svolge una funzione protettiva. Nel caso specifico, i risultati della valutazione della capacità protettiva e depurativa sono modificati in funzione della permeabilità dell'insaturo come indicato nella tabella precedente. Allo scopo è stato utilizzato lo strato informativo già prodotto nell'ambito del lavoro "Carta della vulnerabilità da nitrati di origine agricola della Regione Calabria" (ARSSA, 2002). Tale lavoro suddivide le diverse litologie in due classi: "non permeabile" e "permeabile", secondo lo schema del modello Sintacs (Civita e De Maio, 2001) semplificato, riportato in tabella 40.5.

Tabella 40.5. Azione di mitigazione delle rocce componenti l'insaturo e relativi punteggi – Modello Sintacs (Civita e De Maio, 2001), modificato.

CARATTERISTICHE INSATURO	NON PERMEABILE					PERMEABILE				
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Alluvioni grossolane (<i>Coarse alluvial deposit</i>)								X	X	
Calcarei carsificati (<i>Karstified limestone</i>)									X	X
Calcarei fessurati (<i>Fractured limestone</i>)						X	X	X	X	X
Dolomie fessurate (<i>Fissured Dolomite</i>)		X	X	X						
Alluvioni medio-fini (<i>Medium-fine alluvial dep.</i>)			X	X						
Complessi sabbiosi (<i>Sand complex</i>)						X	X			
Arenarie, Conglomerati (<i>Sandstone, Conglomerate</i>)						X	X	X		
Plutoniti fessurate (<i>Fissure plutonic rock</i>)			X	X						
Altenzanze (flysh) (<i>Turbidic sequence</i>)		X	X	X						
Marne, Argilliti (<i>Marl, Claystone</i>)	X									
Argille, Limi, Torbe (<i>Clay, Silt, Peat</i>)	X									
Piroclastiti diverse (<i>Pyroclastic rock</i>)		X	X	X						
Metarmofiti fessurate (<i>Fissured metamorphic rock</i>)		X	X	X						

40.3.12. Profondità della falda

Per la valutazione relativa alla presenza ed alla profondità dell'acquifero libero o in connessione idraulica con la superficie, è stato utilizzato uno strato informativo ottenuto dalle “Carte piezometriche e della qualità delle acque”, realizzate nell'ambito del Progetto Speciale 26 della Cassa per il Mezzogiorno. Tale lavoro realizzato nel decennio 1970-1980, rappresenta uno studio organico delle risorse idriche della Calabria. Dati puntiformi molto più recenti dimostrano un generale abbassamento della falda avvenuto negli ultimi decenni. Ciò conferma, tra l'altro, l'approccio prudentiale seguito nell'ambito del presente lavoro.

La Legge 574/96 esclude la possibilità di spargimento dei reflui oleari in suoli con falda inferiore ai 10 m di profondità. Tale limite è stato adottato nella

valutazione dei suoli che si propone con questo studio. Tuttavia, secondo molti autori, tale limite risulta estremamente cautelativo determinando l'esclusione dallo spargimento di gran parte delle pianure alluvionali.

40.3.13. Altitudine e pendenza

In considerazione dell'areale di diffusione dell'olivicoltura in Calabria, è stato posto, nel processo di valutazione, il limite altimetrico di 800 m s.l.m., escludendo in tal modo le aree di alta collina e di montagna non interessate, per la elevata distanza dai frantoi, alla problematica della gestione dei reflui. Il limite di pendenza del 20% deriva dalla difficoltà di distribuzione con mezzi ordinari dei reflui stessi, oltre che per gli aspetti legati allo scorrimento superficiale.

40.3.14. Attitudine dei suoli allo spargimento dei reflui

Per ciascuno dei parametri considerati (capacità di ritenzione dei reflui, capacità protettiva e depurativa, profondità della falda, altitudine e pendenza) è stata elaborata la relativa carta tematica, gestita in ambiente GIS.

Tabella 40.6. Matrice di valutazione.

Classe di attitudine	Capacità accettazione dei reflui	Capacità protettiva e depurativa modificata da permeabilità insaturo	Profondità della falda (m)	Altitudine (m)	Pendenza (%)
Suoli senza limitazioni (S1)	Alta Molto alta	Alta	> 10	< 800	< 20
Suoli con limitazioni moderate (S2)	Moderata	Moderata	> 10	< 800	< 20
Suoli con limitazioni elevate (S3)	Bassa	Bassa	> 10	< 800	< 20
Suoli con limitazioni severe (S4)	Molto bassa	Molto bassa	> 10	< 800	< 20
Suoli non idonei (N)			< 10	> 800	> 20

La lettura combinata dei parametri fin qui esaminati, secondo la matrice di valutazione riportata in tabella 40.6, ha consentito la definizione delle diverse classi d'attitudine dei suoli allo spargimento di reflui oleari e l'elaborazione della relativa carta in scala 1:250.000.

La distribuzione territoriale dei suoli potenzialmente idonei all'utilizzazione agronomica di reflui coincide in larga misura con i principali areali olivicoli calabresi. Un'indicazione estremamente interessante deriva dall'esame del rapporto tra il volume annuo delle acque di vegetazione e la superficie adatta allo spargimento. Nel caso della Calabria tale dato, che oscilla intorno a $1,5 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ (tabella 40.7), evidenzia come la gestione dei reflui può trovare una soluzione sostanzialmente semplice in ambito regionale.

Tabella 40.7. Rapporto tra il volume annuo delle acque di vegetazione e la superficie adatta allo spargimento.

Classi di attitudine	Superficie (ha)	A.V. disponibili (m^3)	A.V./suoli adatti ($\text{m}^3 \text{ ha}^{-1}$)	A.V./suoli S1+S2 ($\text{m}^3 \text{ ha}^{-1}$)
Suoli non adatti				
N	963.826	902.266		
Suoli adatti				
S1	6.164			3,72
S2	236.302	902.266	1,66	
S3	198.851			
S4	99.610			

40.3.15. Prescrizioni

Il sistema di valutazione utilizzato consente di suddividere il territorio regionale in ordini, classi e sottoclassi d'attitudine allo spargimento. Nell'ambito dell'ordine dei suoli adatti, le classi indicano il grado di limitazione che risultano assenti in S1, moderate in S2, elevate in S3 e severe in S4. Le limitazioni crescenti devono essere intese come crescente rischio di degrado del sistema ambiente, suolo ed acqua in primo luogo. È evidente, tuttavia, che il tipo e l'intensità delle limitazioni possono essere poste alla base delle strategie di gestione dei reflui oleari e/o dei suoli su cui effettuare lo spandimento. In molti casi, infatti, l'adozione di particolari tecniche o azioni di monitoraggio consentono di far fronte alle limitazioni poste dall'ambiente fisico. Nello specifico sono state definite, per ciascun "tipo di limitazione" e sulla base delle crescenti intensità delle limitazioni stesse, una serie di possibili "prescrizioni" sintetizzate nella tabella 40.8. Nel caso di limitazioni legate al rischio di ruscellamento superficiale (*run-off*) l'adozione di tecniche di lavorazione trasversali alle linee di massima pendenza con attrezzi che evitano l'eccessivo affinamento del suolo e massimizzano la rugosità possono consentire l'utilizzo delle acque di vegetazione senza particolari rischi ambientali.

In alternativa, allo scopo di favorire l'infiltrazione, è necessario non superare $40 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ di reflui oleari per singola somministrazione ad intervalli superiori a 15 giorni. Un'adeguata copertura vegetale del suolo con vegetazione

spontanea e/o con residui di potatura attenua significativamente i rischi di ruscellamento. L'adozione combinata di dette misure può consentire lo spargimento dei reflui oleari anche in caso d'elevato rischio di scorrimento superficiale (classe S3). Le limitazioni legate alla capacità di ritenzione dei reflui dipendono dalla tessitura e dalla profondità del suolo; classi tessiturali grossolane e scarsa profondità condizionano negativamente lo spargimento dei reflui stessi. In questo caso sarà necessario agire sulle dosi massime e sui tempi delle singole somministrazioni, limitando nei casi estremi i livelli quantitativi a $20 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ ad intervalli superiori a 30 giorni.

Stesso discorso può essere fatto per le limitazioni legate al drenaggio, che esprime la capacità del suolo di “metabolizzare” la componente organica delle acque di vegetazione. In quest'ultimo caso, tuttavia, è necessario intervenire anche sulla disponibilità di ossigeno favorendo l'aereazione con interventi agronomici.

Nel caso di limitazioni legate al basso pH, un costante monitoraggio dei principali parametri chimici del suolo potrà evidenziare *trend* indicativi di fenomeni di degrado ed eventualmente suggerire la sospensione dello spargimento. Allo stato delle conoscenze attuali si rende comunque opportuno limitare le dosi sulla base dei valori di pH. Il problema della reazione del suolo non si pone nel caso di neutralizzazione preventiva delle acque reflue.

Infine, la presenza di calcare attivo nel suolo garantisce un'azione tampone rispetto alla reazione acida delle acque di vegetazione. In caso di suoli non calcarei, il monitoraggio periodico dei principali parametri chimici costituisce una valida misura precauzionale. In tutti i casi va evidenziato che l'interrimento dei reflui rappresenta una valida soluzione alla iniziale impermeabilizzazione superficiale dei suoli, che fa seguito allo spargimento a causa dell'azione idrofobica dei grassi e all'otturazione dei pori da parte dei solidi in sospensione.

Tabella 40.8. Prescrizioni per classe d'attitudine e per tipo di limitazione.

Tipo di limitazione	PRESCRIZIONI		
	S2 - Limitazioni moderate	S3 - Limitazioni elevate	S4 - Limitazioni severe
r capacità di accettazione dei reflui senza che ci sia <i>run-off</i>	Dosi massime di 40 m ³ ha ⁻¹ per singole somministrazioni ad intervalli superiori a 15 giorni oppure lavorazioni meccaniche lungo le curve di livello con attrezzi che massimizzano la rugosità oppure adeguata copertura vegetale del suolo (> 50%) con erbe infestanti e/o residui di potatura	Dosi massime di 40 m ³ ha ⁻¹ per singole somministrazioni ad intervalli superiori a 15 giorni e lavorazioni meccaniche lungo le curve di livello con attrezzi che massimizzano la rugosità oppure dosi massime come sopra e adeguata copertura vegetale del suolo (> 50%) con erbe infestanti e/o residui di potatura	Sottoclasse non presente
t capacità di ritenzione dei reflui	Dosi massime di 40 m ³ ha ⁻¹ per singole somministrazioni ad intervalli superiori a 15 giorni	Dosi massime di 40 m ³ ha ⁻¹ per singole somministrazioni ad intervalli superiori a 30 giorni	Dosi massime di 20 m ³ ha ⁻¹ per singole somministrazioni ad intervalli superiori a 30 giorni
d drenaggio interno	Sottoclasse non presente	Somministrazione frazionata delle a.v. con dosi per singole somministrazioni inferiori a 40 m ³ ha ⁻¹ ed intervalli superiori ad 1 mese e interventi agronomici volti a favorire il drenaggio.	Sottoclasse non presente
p pH	Dosi massime di 40 m ³ ha ⁻¹ per singole somministrazioni ad intervalli superiori a 15 giorni e monitoraggio dei principali parametri chimici dell'orizzonte superficiale del suolo almeno ogni 3 anni. In alternativa neutralizzazione delle acque di vegetazione con CaO.	Sottoclasse non presente	Dosi massime di 20 m ³ ha ⁻¹ per singole somministrazioni ad intervalli superiori a 30 giorni e monitoraggio dei principali parametri chimici dell'orizzonte superficiale del suolo almeno ogni 2 anni. In alternativa neutralizzazione delle acque di vegetazione con CaO.
c calcare attivo	Monitoraggio dei principali parametri chimici dell'orizzonte superficiale del suolo almeno ogni 3 anni.	Monitoraggio dei principali parametri chimici dell'orizzonte superficiale del suolo almeno ogni 3 anni.	Monitoraggio dei principali parametri chimici dell'orizzonte superficiale del suolo almeno ogni 3 anni.

Bibliografia

A.A. V.V., 1989. *Val di Chiana Senese. Valutazione dell'attitudine dei suoli allo spandimento dei liquami suini*. Regione Toscana, Dipartimento Agricoltura e Foreste.

- ALIANELLO, F., 2001. *Effetti della somministrazione di acque reflue di frantoi oleari sulle caratteristiche chimiche e biochimiche del suolo*. Progetto Panda MIPAF (Ed.), L'informatore Agrario, Verona.
- ARSSA, 2002. *Utilizzazione agronomica delle acque reflue olearie*. Progetto POM Misura 2.
- ARSSA, 2004. *I suoli della Calabria - Carta dei suoli della regione Calabria in scala 1:250.000*.
- ARSSA, 2005. *Carta di attitudine dei suoli allo spargimento delle acque di vegetazione della Regione Calabria in scala 1:250.000*.
- BANERJEE, M.R., BURTON, D.L., DEPOE, S., 1997. *Impact of sewage sludge application on soil biological characteristics*. Agriculture, Ecosystems and Environment, 66, 241-249.
- BONARI, E., Giannini, C., Ceccarini, L., Silvestri, N., Tonini, M., Sabbatici, T., 2001. *Spargimento delle acque di vegetazione dei frantoi oleari sul terreno agrario*. Inf. Agr., suppl. 50, 8-12.
- BONARI, E., CECCARINI, L., 1993. *Sugli effetti dello spargimento delle acque di vegetazione sul terreno agrario: risultati di una ricerca sperimentale*. Genio Rurale n.5, Edagricole, Bologna.
- BRICCOLI BATI, C., GRANATA, R., LOMBARDO, N., 1991. *Valutazione del pericolo di inquinamento delle falde acquifere in seguito allo spandimento di acque di vegetazione su terreno agrario*. Patron Editore, Bologna.
- CASSA PER IL MEZZOGIORNO, 1970-1980. *Carte Piezometriche e della qualità della Acque*. Progetto Speciale, 26.
- CIVITA, M., DE MAIO, M., 2001. *Valutazione e cartografia automatica della vulnerabilità degli acquiferi all'inquinamento con il sistema parametrico SINTACS R5*. Pitagora (Ed.), Bologna, 248.
- CRESCIMANNO, G., LANE, M., OWENS, P.N., RYDEL, B., JACOBSEN, O.H., DÜWEL, O., BÖKEN, H., BERÉNYI-ÜVEGES, J., CASTILLO, V., IMESON, A., 2004. *Soil Erosion. Task Group 5 on Links with Organic Matter and Contamination, Working Group and Secondary Soil Threats*. Vol.2, Soil Erosion, European Commission, Brussels, Belgium.
- DAUDÉN, A., QUILEZ, D., 2004. *Pig slurry versus mineral fertilization on corn yield and nitrate. Leaching in a Mediterranean irrigated environment*. European Journal of Agronomy 21, 7-19.
- DE SIMONE, C., 2001. *Effetti fitotossici dei reflui oleari*. Progetto Panda MIPAF (Ed.), L'informatore Agrario, Verona.
- DICK, R.P., 1992. *A review: long-term effects of agricultural systems on soil biochemical and microbial parameters*. Agriculture, Ecosystems & Environment, 40, 1-4, 25-36.
- DORAN, J.W., ZEISS, M.R., 2000. *Soil health and sustainability: managing the biotic component of soil quality*. Applied Soil Ecology 15, 3-11.
- ERSAL, 1988. *Progetto "Carta pedologica". I suoli della bassa pianura bresciana fra i fiumi Mella e Chiese*. SSR 1, Milano, pagina, 112.
- ERSAL, 1996. *Progetto "Carta pedologica". I suoli del Trevigliese*. S.S.R.18, Milano, 56-59.
- F.A.O., 1976. *A framework for land evaluation*. Soil Bulletin, n.32, Roma.
- FAVI, E., FOSSI, F., GIOVANNELLI, P., 1993. *Lo spargimento delle AA.VV.: indicazioni agronomiche e caratteristiche pedologiche*. Genio Rurale n.5, 1993, Edagricole, Bologna.
- GARCÍA-ORENES, F., GUERRERO, C., MATAIX-SOLERA, J., NAVARRO-PEDREN, J., GOMEZ, I., MATAIX-BENEYTO, J., 2005. *Factors controlling the aggregate stability and bulk density in two different degraded soils amended with biosolids*. Soil & Tillage Research, 82, 65-76.
- GARDIN, L., COSTANTINI, E.A.C., NAPOLI, R., 2002. *Guida dei suoli in campagna e descrizione delle loro qualità*. Istituto Sperimentale per lo Studio e la Difesa del Suolo, Regione Toscana, 101. <http://www.soilmaps.it/download/atr-guidasuoliRT02.pdf>.

- GUERMANDI, M., LULLI, L., 1986. *Capacità dei terreni della Bassa Pianura Ravennate alla utilizzazione dei liquami zootecnici*. In: "I suoli della Bassa Pianura Ravennate", Regione Emilia Romagna, Servizio Informativo e Statistica, 28-34.
- GUERMANDI, M., DI GENNARO, A., FILIPPI, N., 1991. *Evaluation of the pollution risk to surface waters and groundwaters arising from the application of potential pollutants to the soil*. Mem. Descr. Carta Gel. d'It., XLVI, 89-101.
- HERNANDEZ, T., MORAL, B., PEREZ-ESPINOSA, A., MORENO-CASELLES, J., PEREZ-MURCIA, M.D., GARCIA, C., 2002. *Nitrogen mineralisation potential in calcareous soils amended with sewage sludge*. Bioresource Technology 83, 213-219.
- JONES, R.J.A., YLI-HALLA, M., DEMETRIADES, A., LEIFELD, J., ROBERT, M., 2004. *Task Group 2 Status and Distribution of Soil Organic Matter in Europe*. In: Van -Camp, L., Bujarrabal, B., Gentile, A.R., Jones, R.J.A., Montanarella, L., Olazabal, C., Selavaradjou, S.K., 2004. Reports of the Technical Working Groups Established under the Thematic Strategy for Soil Protection. EUR 21319 EN/3, 827, Office for Official Publications of the European Communities, Luxembourg, Vol.3, Organic Matter and Biodiversity.
- LULLI, L., 1997. *Esperienze sul problema dei reflui zootecnici. criteri e logiche*. Seminario AIP, "L'utilizzazione agronomica dei reflui zootecnici: il contributo della pedologia.", Bologna, ottobre 1997.
- LULLI, L., LORENZONI, P., LEONI, G., DELOGU, F., 1980. *Un esempio di cartografia pedologica applicata alla pianificazione territoriale. I suoli, la loro capacità d'uso, la loro attitudine alla edificabilità e la zonizzazione per l'allevamento suinicolo del comune di Sorbolo (Parma)*. Annali Ist. Sper. Studio Difesa Suolo, Vol. XI, 97-120.
- MARMO, L., FEIX, I., BOURMEAU, E., AMLINGER, F., BANNICK, C.G., DE NEVE, S., FAVOINO, E., GENDEBIEN, A., GILBERT, J., GIVELET, M., LEIFERT, I., MORRIS, R., RODRIGUEZ CRUZ, A., RÜCK, F., SIEBERT, S., TITTARELLI, F., 2004. *Task Group 4 Exogenous Organic Matter*. In: Van- Camp, L., Bujarrabal, B., Gentile, A.R., Jones, R.J.A., Montanarella, L., Olazabal, C., Selavaradjou, S.K., 2004. Reports of the Technical Working Groups Established under the Thematic Strategy for Soil Protection. EUR 21319 EN/3, pagina, 827, Office for Official Publications of the European Communities, Luxembourg, Vol. 3 Organic Matter and Biodiversity.
- MARRARA, G., TAMBURINO, V., ZIMBONE, S.M., 2004. *"Prove di accumulo di acque reflue olearie". Valorizzazione di acque reflue olearie e sottoprodotti dell'industria agrumaria e olearia*. Laruffa Editore, Reggio Calabria.
- PAGLIAI, M., PELLEGRINI, S., VIGNOZZI, N., PAPINI, R., MIRABELLA, A., PIOVANELLI, C., GAMBA, C., MICLAUS, N., CASTALDINI, M., DE SIMONE, C., PINI, R., PEZZAROSSA, B., SPARVOLI, E., 2001. *Influenza dei reflui oleari sulla qualità del suolo*. Informatore Agrario, Supplemento 50/2001, Verona.
- PAGLIAI, M., VITTORI ANTISARI, L., 1993. *Influence of waste organic matter on soil micro and macrostructure*. Bioresource Technology, 43.
- PAGLIAI, M., BİSDOM, E.B.A., LEDIN, S., 1983. *Changes in surface structure (crusting) after application sludge and pig slurry to cultivated agricultural soils in northern Italy*. Geoderma, 30, 35-53.

- PETRELLA, F., 1997. *Il contributo della pedologia nell'assistenza tecnica alla regione Piemonte per la predisposizione di criteri e norme tecniche per lo spandimento dei liquami zootecnici*. Seminario AIP, "L'utilizzazione agronomica dei reflui zootecnici: il contributo della Pedologia.", Bologna, ottobre 1997.
- RAGAZZI, F., VINCI, I., 1997. *L'attitudine dei suoli allo spargimento dei liquami zootecnici: aspetti normativi e confronti tra diverse metodologie su alcuni suoli della bassa pianura veneta*. Seminario AIP "L'utilizzazione agronomica dei reflui zootecnici: il contributo della pedologia", Bologna, ottobre 1997.
- ROBERT, M., NORTCLIFF, S., YLI-HALLA, M., PALLIÈRE, C., BARITZ, R., LEIFELD, J., GERHARD BANNICK, C., CHENU, C., 2004. *Task Group 1 Functions, Roles and Changes in SOM*. In: Van- Camp, L., Bujarrabal, B., Gentile, A.R., Jones, R.J.A., Montanarella, L., Olazabal, C., Selavaradjou, S.K., 2004. Reports of the Technical Working Groups Established under the Thematic Strategy for Soil Protection. EUR 21319 EN/3, pagina, 827. Office for Official Publications of the European Communities, Luxembourg, Vol.3 Organic Matter and Biodiversity.
- SAVIOZZI, A., LEVI MINZI, R., RIFFALDI, R., 1993. *Effetto dello spargimento delle acque reflue dei frantoi oleari su alcune proprietà del terreno agrario*. Genio Rurale n.5, 1993, Edagricole, Bologna.
- SORT, X., ALCANIZ, J.M., 1999. *Modification of soil porosity after application of sewage sludge*. Soil & Tillage Research. 49, 337-345.
- STAMATIADIS, S., DORAN, J.W., KETTLER, T., 1999. *Field and laboratory evaluation of soil quality changes resulting from injection of liquid sewage sludge*. Applied Soil Ecology 12, 263-272.
- UNGARO, F., CALZOLARI, C., TAROCCO, P., GIAPPONESI, A., SARNO, G., 2003. *Soil organic matter in the soils of the Emilia-Romagna Plain (Northern Italy): knowledge and Management policies*. Pagine, 113-126. In: Smith, C.A.S. (Ed.) Soil Organic Carbon and Agriculture: Developing Indicators for Policy Analyses. Proceedings of an OECD expert meeting, Ottawa Canada. Agriculture and Agri-Food Canada, Ottawa and Organisation for Economic Co-operation and Development, Paris, 329.

Ministero delle Politiche Agricole, Alimentari e Forestali
Osservatorio Nazionale Pedologico e per la Qualità del Suolo Agricolo e Forestale

In collaborazione con:
International Union of Soil Sciences
Società Italiana della Scienza del Suolo
Commissione VI - Uso e Conservazione del Suolo

BINI, C., 2006. *Soil restoration: recupero e valorizzazione dei suoli contaminati*. In: Costantini, E.A.C. (Ed.), *Metodi di valutazione dei suoli e delle terre*, Cantagalli, Siena, pp. 922.

Collana dei metodi analitici per l'agricoltura diretta da Paolo Sequi, vol. 7

CRA - Consiglio per la Ricerca e la Sperimentazione in Agricoltura
Istituto Sperimentale per lo Studio e la Difesa del Suolo, Firenze

41. Soil restoration: recupero e valorizzazione dei suoli contaminati

Claudio Bini¹

41.1. Introduzione	3
41.2. Il quadro normativo italiano	5
41.3. Metodologie di bonifica dei suoli.....	8
41.3.1. Metodologie di confinamento.....	8
41.3.2. Metodologie di trattamento.....	8
41.4. Phytoremediation.....	10
41.4.1. Fitostabilizzazione.....	11
41.4.2. Fitostimolazione	12
41.4.3. Fitoestrazione.....	12
41.4.4. Fitoestrazione assistita.....	13
41.4.5. Fitodegradazione	14
41.4.6. Fitovolatilizzazione.....	14
41.4.7. Rizofiltrazione.....	15
41.5. Situazione attuale e prospettive: vantaggi e svantaggi della phytoremediation.....	15
41.6. Aspetti applicativi.....	17
41.6.1. Fitoestrazione di Zn e Cd.....	20
41.6.2. Fitoestrazione di piombo.....	21
41.6.3. Fitoestrazione del rame	22
41.6.4. Casi di studio	23
41.7. Conclusioni.....	25
Bibliografia	26

¹ Università di Venezia - Dipartimento di Scienze Ambientali

41.1. Introduzione

Il recupero dei suoli contaminati è tra le più importanti problematiche ambientali attuali. Il degrado di origine chimica colpisce il 12% della superficie dei suoli considerati degradati (complessivamente 2 miliardi di ettari, Adriano et al., 1995). L'inquinamento del suolo non è solo un problema di ordine sociale e sanitario, ma anche economico, poiché comporta dei costi in termini di calo della produttività, della qualità del prodotto e del valore della proprietà. Inoltre, il costo per la bonifica dei suoli contaminati, in particolare per i metalli pesanti, è ingentissimo, tanto che ancora pochi paesi, tutti industrializzati (USA, Gran Bretagna, Olanda, Germania, Australia, ecc.), hanno avviato azioni di recupero, mentre molti Paesi in Via di Sviluppo si trovano in gravi difficoltà. Negli Stati Uniti, la spesa per la bonifica dei soli siti individuati dalla National Priority List del 1986 ammonterebbe a 7 miliardi di dollari (Salt, 1995); queste aree rappresentano il 40% dei 1.000 siti riconosciuti come pericolosi per la salute umana, e tra queste il 70% è contaminata da più di un metallo. Il costo aggiuntivo per la bonifica dei siti contaminati da metalli e composti organici ammonta, secondo la stessa fonte, a 35 miliardi di dollari. In Svizzera sono 100.000 gli ettari di terreno con tenori di Zn superiori ai limiti consentiti, 300.000 ettari presentano valori elevati di Cd e Pb, 50.000 ettari di Cu. Una ricerca condotta in cinque Paesi europei (tabella 41.1) ha individuato 8.900 siti industriali contaminati (pari allo 0,2% del territorio) che richiedono un immediato intervento per salvaguardare la salute pubblica, o che comunque hanno severe limitazioni d'uso imposte dalla contaminazione. Altri 14.000 siti richiedono ulteriori indagini per appurare il rischio effettivo.

Tabella 41.1. Numero di siti contaminati in alcuni Paesi (Adriano et al., 1995).

Paese	Siti contaminati (totale)	Siti contaminati in condizioni critiche
Germania	32.500	10.000
Belgio	8.300	2.000
Italia	5.600	2.600
Olanda	5.000	4.000
Danimarca	3.600	3.600

Anche in Italia, come in gran parte dei paesi industrializzati, la problematica della caratterizzazione e della bonifica dei siti contaminati sta acquisendo una crescente rilevanza nel campo della salvaguardia e della tutela del suolo e dell'ambiente in generale, anche per la accresciuta sensibilità della popolazione. Si stima che il numero delle aree inquinate che richiedono interventi di bonifica sia attualmente superiore a 10.000 (fonte: Ministero dell'Ambiente). Le aree precedentemente occupate da industrie altamente inquinanti, come Porto Marghera (VE), Bagnoli (NA) o i poli conciarci di

Arzignano (VI) e S. Croce sull'Arno (PI), presentano livelli di forte contaminazione sia di sostanze organiche che inorganiche. Molte delle sostanze organiche che vanno ad inquinare gli ecosistemi sono assai nocive per la salute dell'uomo e degli altri esseri viventi. Analogamente, molti metalli, se presenti a determinati livelli di concentrazione, sono tossici e possono distribuirsi tra i vari organismi viventi attraverso la catena alimentare. La valutazione del rischio per la salute umana sta quindi assumendo un'importanza sempre più rilevante nella soluzione dei problemi connessi alla bonifica dei suoli: viene, infatti, impiegata per identificare e classificare i siti in base alla priorità d'intervento, per stabilire gli obiettivi e gli standard di disinquinamento, per la scelta della tecnologia più adatta alla specifica situazione. Per le aree sottoposte a forte inquinamento, i rischi diretti e indiretti per la salute rendono urgente la bonifica e accettabili i costi da sostenere, a prescindere dalla strategia scelta per il recupero dell'area. In altri casi, come per terreni con livelli di contaminazione non rischiosi, o per i quali i costi siano eccessivi rispetto ai benefici ottenuti, gli interventi di bonifica possono eliminare o ridurre i rischi per l'ambiente, consentendo il recupero e la valorizzazione per usi produttivi, per servizi pubblici e per aree verdi, di ambienti degradati altrimenti inutilizzabili. La scelta della tecnologia di bonifica deve essere valutata anche in relazione agli effetti che essa determina sulla qualità del suolo. Molti processi, infatti, determinano notevoli cambiamenti nelle caratteristiche del suolo, come variazioni di pH, potenziale redox e di fertilità, perdita di struttura, sterilizzazione ed annullamento delle attività biologiche. Le misure di ripristino di aree degradate devono quindi tenere conto dei costi della tecnica di bonifica e della gestione dell'area per la messa in sicurezza, dei rischi derivanti dal sito e dalla tecnica di bonifica stessa, dei benefici derivanti dal recupero dell'area (Barbafieri, 2001).

La persistenza della contaminazione da metalli e la scarsa conoscenza dell'interazione metalli-suolo e dei meccanismi che regolano l'assorbimento degli inquinanti da parte degli organismi viventi, rendono particolarmente difficile e costosa la bonifica dei terreni inquinati. Attualmente non esiste nessuna tecnologia realmente efficace e non distruttiva impiegabile su vasta scala; le soluzioni più largamente utilizzate sono chiaramente insoddisfacenti per grandi superfici moderatamente contaminate, per le quali sono necessarie tecnologie "*soft*", in grado di ricostituire la fertilità del suolo per riconsegnarlo all'uso agricolo o di verde pubblico. La complessità di queste problematiche ha visto, negli ultimi anni, una notevole crescita di interesse verso questo settore, indirizzato allo sviluppo di metodologie innovative per il disinquinamento ed il recupero dei siti contaminati.

41.2. Il quadro normativo italiano

La Legge 441 del 29 ottobre 1987, recante “Disposizioni urgenti in materia di smaltimento dei rifiuti” è stato il primo regolamento italiano a pianificare gli interventi di bonifica dei suoli contaminati. Tali piani dovevano comprendere:

- l’elenco dei siti da bonificare e le caratteristiche generali dei contaminanti presenti;
- l’ordine di priorità degli interventi proposti;
- i soggetti cui competono gli interventi di bonifica;
- le modalità di bonifica e di smaltimento degli eventuali materiali da asportare;
- le possibili misure cautelari a carattere d’urgenza per la tutela dell’ambiente.

La legge non forniva però nessuna definizione di area contaminata, né indicazioni sulle procedure di analisi e campionamento e sui criteri di valutazione del rischio (Musmeci et al., 2000). Successivamente, il Ministero dell’Ambiente ha ritenuto necessario emanare il D.M. 185 del 16 maggio 1989, che definiva “Criteri e linee guida per l’elaborazione e la predisposizione, con modalità uniformi da parte di tutte le Regioni e Province autonome, dei Piani di Bonifica”. Il decreto individuava i soggetti competenti coinvolti nella redazione dei piani regionali di bonifica (cioè le amministrazioni provinciali, regionali e il Ministero dell’Ambiente), le varie fasi con cui si dovevano sviluppare tali piani, e i criteri per identificare i siti potenzialmente contaminati. In particolare, venivano considerate contaminate quelle aree contenenti una o più sostanze tra quelle riportate nell’allegato al DPR 915/82 (sostanze tossiche o nocive) in concentrazioni uguali o superiori ai limiti di soglia fissati.

Il quadro normativo è stato poi aggiornato attraverso l’emanazione del Decreto Ministeriale 25 ottobre 1999, n. 471 “regolamento recante criteri, procedure e modalità per la messa in sicurezza, la bonifica ed il ripristino ambientale dei siti inquinati, ai sensi dell’art. 17 del D.L. 5 febbraio 1997, n. 22, e successive modifiche ed integrazioni”, definendo:

1. i limiti di accettabilità della contaminazione dei suoli, delle acque superficiali e delle acque sotterranee in relazione alla specifica destinazione d’uso dei siti, e criteri di accettabilità per le acque superficiali;
2. le procedure di riferimento per il prelievo e l’analisi dei campioni;
3. i criteri generali per gli interventi di messa in sicurezza d’emergenza, bonifica ed il ripristino ambientale dei siti inquinati;
4. i criteri generali per le misure di sicurezza e messa in sicurezza permanente;
5. criteri per gli interventi in cui si faccia ricorso a batteri, ceppi batterici mutanti e stimolanti di batteri normalmente presenti nel suolo;
6. criteri generali per la redazione del progetto di bonifica;
7. schema di modello da adottare per la certificazione di avvenuta bonifica/messa in sicurezza permanente.

Sono stati inoltre attivati i criteri per individuare i siti da bonificare ritenuti di interesse nazionale. In particolare, un sito viene definito inquinato (secondo l'art. 2 del suddetto decreto) nel caso in cui questo presenti livelli di contaminazione o alterazioni chimiche, fisiche o biologiche del suolo o del sottosuolo o delle acque superficiali o sotterranee, tali da determinare un pericolo per la salute pubblica o per l'ambiente naturale o costruito. In pratica, si definisce tale un sito nel quale anche uno solo dei valori di concentrazione delle sostanze inquinanti risulti superiore ai valori di concentrazione limite accettabili stabiliti dal presente regolamento (tabella 41.2); risulta così inevitabile l'obbligo di bonifica, ovvero l'insieme degli interventi atti ad eliminare le fonti di inquinamento e le sostanze inquinanti o a ridurre le concentrazioni delle sostanze inquinanti presenti nel suolo, nel sottosuolo, nelle acque superficiali o sotterranee ad un livello uguale o inferiore ai valori limite accettabili.

Costituisce complemento degli interventi di bonifica, nei casi in cui sia richiesto, il ripristino ambientale, cioè gli interventi di riqualificazione ambientale e paesaggistica che consentono di recuperare il sito all'effettiva e definitiva fruibilità per la destinazione d'uso conforme agli strumenti urbanistici in vigore, assicurando la salvaguardia della qualità delle matrici ambientali. Esiste pertanto la necessità di definire il progetto di bonifica, come indicato nell'allegato 4 del D.M. 471.

La messa in sicurezza d'emergenza comprende invece gli interventi necessari ed urgenti per rimuovere le fonti d'inquinanti, contenere la diffusione degli inquinanti e impedire il contatto con le fonti inquinanti presenti nel sito, in attesa di interventi di bonifica. Qualora in un sito inquinato i valori di concentrazione limite accettabili definiti nell'allegato 1 non possano essere raggiunti neppure con l'applicazione delle migliori tecnologie di bonifica disponibili a costi sopportabili, devono essere previste apposite misure di sicurezza, ovvero interventi e specifici controlli per impedire danni alla salute pubblica o all'ambiente, misure di monitoraggio ed eventuali limitazioni rispetto alle previsioni degli strumenti urbanistici. Per messa in sicurezza permanente s'intendono invece gli interventi atti ad isolare in modo definitivo le fonti inquinanti rispetto alle matrici ambientali circostanti.

Un altro aspetto rilevante del suddetto decreto è rappresentato dagli interventi di bonifica e ripristino ambientale mirati a privilegiare tecniche che favoriscono la riduzione della movimentazione, il trattamento nel sito ed il riutilizzo del suolo, del sottosuolo e dei materiali di riporto sottoposti a bonifica.

L'emanazione del Decreto legislativo 5 febbraio 1997, n. 22, ha quindi il merito di aver elaborato dei criteri di valutazione dei suoli contaminati univoci per tutto il territorio nazionale e di aver definito le procedure tecniche ed amministrative per adottare le operazioni di bonifica.

Tabella 41.2. Valori di concentrazione limite accettabile nel suolo e nel sottosuolo riferiti alla specifica destinazione d'uso dei siti da bonificare (all.1 D.M. 471).

	Siti ad uso verde pubblico privato e residenziale	Siti ad uso commerciale e industriale
	mg kg ⁻¹ ss	mg kg ⁻¹ ss
Composti inorganici		
Antimonio	10	30
Arsenico	20	50
Berillio	2	10
Cadmio	2	15
Cobalto	20	250
Cromo totale	150	800
Cromo VI	2	15
Mercurio	1	5
Nichel	120	500
Piombo	100	1.000
Rame	120	600
Selenio	3	15
Stagno	1	350
Tallio	1	10
Vanadio	90	250
Zinco	150	1.500
Cianuri	1	100
Fluoruri	100	2.000
Composti organici		
Benzene	0,1	2
Etilbenzene	0,5	50
Stirene	0,5	50
Toluene	0,5	50
Xilene	0,5	50
Benzo(a)antracene	0,5	10
Benzo(a)pirene	0,1	10
Benzo(b)fluorantene	0,5	10
Benzo(k) fluorantene	0,5	10
Crisene	0,5	50
Dibenzo(a)pirene	0,1	10
Dibenzo(a,h)antracene	0,1	10
Indenopirene	0,1	50
Pirene	5	10

41.3. Metodologie di bonifica dei suoli

Le tecniche per il trattamento del terreno contaminato possono essere suddivise in due categorie: metodologie di confinamento e metodologie di trattamento.

41.3.1. Metodologie di confinamento

Queste metodologie comprendono le tecniche d'ingegneria civile che hanno come obiettivo quello di rimuovere o isolare le sorgenti dei contaminanti oppure modificarne il percorso o le vie di migrazione. Tali metodologie comprendono:

- lo scavo con smaltimento sia all'interno che all'esterno del sito;
- barriere costruite nel terreno;
- sistemi di incapsulamento;
- misure idrauliche di pompaggio e trattamento.

Importanti fattori per l'adozione di tali tecniche sono:

- la disponibilità di spazio all'interno dell'area;
- studi geologici ed idrogeologici;
- disponibilità di materiali di rivestimento naturali;
- disponibilità di materiali di copertura adatti;
- il possibile impatto degli scavi e degli elementi di disturbo;
- la sterilizzazione di aree per interventi immobiliari.

41.3.2. Metodologie di trattamento

Il trattamento dei siti contaminati si basa su processi che hanno come finalità la rimozione, la stabilizzazione o distruzione degli inquinanti.

- Rimozione dei contaminanti attraverso alcuni processi di mobilitazione e accumulo degli inquinanti (lisciviazione e assorbimento), alcuni processi di concentrazione e raccolta degli inquinanti (attraverso separazioni fisiche) o una combinazione di processi (piante accumulatrici).
- Stabilizzazione del contaminante *in situ*, che viene reso meno mobile o meno tossico attraverso una combinazione di processi chimici, fisici e biologici.
- Distruzione, attraverso la degradazione chimico-fisica e/o biologica dei contaminanti, ad esempio con un trattamento termico.

I processi di trattamento possono essere descritti secondo dove vengono effettuati, ovvero:

- *ex-situ*, interventi effettuati su terreni rimossi dal sito inquinato;
- *in-situ*, interventi effettuati senza rimozione o movimentazione del suolo inquinato;

- on site, con movimentazione e rimozione di materiali e suolo inquinato, ma con trattamento nell'area del sito stesso (può essere sia *in-situ* che *ex-situ*);
- off site, con movimentazione e rimozione di materiali e suolo inquinato fuori dal sistema stesso, per avviare i materiali ed il suolo agli impianti di trattamento o in discarica.

Trattamenti chimici

Comprendono la distruzione o la rimozione del contaminante attraverso:

- a) ossidazione: la valenza chimica dei composti è aumentata. Molti composti organici, ad esempio, vengono ossidati a CO₂;
- b) riduzione: la valenza chimica dei composti viene ridotta. Ad esempio, il cromo (VI) viene ridotto con opportuni reagenti chimici a cromo (III), meno tossico e meno mobile;
- c) immobilizzazione: la mobilità del contaminante viene ridotta attraverso la precipitazione come complesso insolubile, attraverso l'assorbimento su matrice solida, ecc.;
- d) estrazione: utilizzando vari estraenti (solventi organici, acidi, tensioattivi), il contaminante viene estratto e quindi separato dal suolo. Il percolato può essere raccolto e trattato;
- e) sostituzione: alcuni gruppi chimici del contaminante vengono sostituiti da altri, che lo rendono meno tossico (ad esempio, dealogenazione di un solvente clorurato).

Trattamenti fisici

Separano il contaminante dalla matrice del suolo, sfruttando le differenze che esistono tra il contaminante ed il suolo (ad esempio, la volatilità o il magnetismo), o le differenze che esistono tra il contaminante e le particelle del suolo non contaminate (ad esempio, la densità). I trattamenti fisici includono processi quali l'elettrolisi, l'elettro-osmosi, l'elettroforesi, lo strippaggio, l'estrazione.

Trattamenti termici

Queste tecnologie utilizzano temperature elevate per ottenere processi chimici e fisici come la volatilizzazione, l'incenerimento, la pirolisi, permettendo così una rimozione, distruzione dell'inquinante o un'immobilizzazione nelle particelle del suolo. Esistono essenzialmente due tipi di trattamenti termici:

- a) desorbimento termico: le temperature di lavoro sono comprese fra 100° e 800°C, a seconda del contaminante;
- b) incenerimento: le temperature sono comprese fra 800° e 2.500°C, per distruggere l'inquinante.

Quando il contaminante viene volatilizzato dal suolo può successivamente essere rimosso dalla fase gassosa attraverso una combustione o condensazione.

Trattamenti biologici

Queste tecnologie sono note anche come *bioremediation*, definita come “l'utilizzo di organismi viventi per ridurre o eliminare gli inquinanti ambientali” (Adriano et al., 1999). I trattamenti biologici comprendono uno o più dei seguenti processi:

- a) degradazione: decomposizione biochimica dell'inquinante attraverso l'azione dei micro organismi presenti nel suolo (batteri, funghi, attinomiceti);
- b) trasformazione: conversione biochimica del contaminante per renderlo meno tossico e/o meno mobile;
- c) accumulo: dei contaminanti organici ed inorganici nei tessuti delle piante;
- d) mobilizzazione: del contaminante in una soluzione che verrà poi separata dal suolo contaminato.

I microrganismi possono potenzialmente detossificare numerosi ambienti inquinati e ripristinarli al loro stato originario. Oltre ai microrganismi anche le piante possono essere utilizzate per rimuovere alcuni inquinanti dai suoli e dalle acque. In questo caso si preferisce parlare di *phytoremediation* o fitorimediazione, proprio per indicare in modo preciso e univoco che ad essere utilizzate sono le piante. Questa tecnologia, più recente, potenzialmente poco distruttiva e meno costosa, ed inoltre, al contrario delle precedenti, applicabile ad ampie porzioni di territorio inquinato, sarà illustrata dettagliatamente di seguito.

41.4. Phytoremediation

La *phytoremediation* consiste “nell'utilizzo delle piante per rimuovere, eliminare, contenere o rendere meno pericolosi i contaminanti ambientali (metalli pesanti, inquinanti organici ed inorganici, elementi radioattivi, prodotti esplosivi) presenti nel suolo o nelle acque” (Barbafieri, 2001). La tecnica si basa su alcuni processi naturali che vengono svolti dalle piante, tra i quali:

- assorbimento diretto di metalli e di alcuni composti organici moderatamente idrofobici;
- accumulo o trasformazione delle stesse sostanze chimiche attraverso la lignificazione, metabolizzazione, volatilizzazione;
- utilizzo di enzimi rilasciati dalle piante per catalizzare la degradazione dei composti organici inquinanti;
- rilascio di essudati nella rizosfera, che apportano carbonio al suolo, modificano il pH e stimolano l'attività microbica per la degradazione dei contaminanti.

Le numerose tecniche utilizzate nella *phytoremediation* si basano sui processi sopra descritti; possono essere riassunte in fitostabilizzazione, fitostimolazione, fitoestrazione, fitodegradazione, fitovolatilizzazione e rizofiltrazione.

41.4.1. Fitostabilizzazione

Consiste nell'utilizzare piante tolleranti l'effetto tossico d'elevate concentrazioni di metalli, che immobilizzano il contaminante all'interfaccia suolo-radice. Si può avere assorbimento, precipitazione, complessazione dei contaminanti, in modo da ridurre la mobilità ed impedirne la migrazione nelle falde o l'ingresso nella catena alimentare. Le piante perciò attraverso l'assorbimento radicale, la complessazione, la precipitazione, la riduzione dei metalli, l'umificazione o l'alterazione nella rizosfera delle caratteristiche chimico-fisiche del substrato, modificano la mobilità dei soluti, aumentano la stabilità dei metalli e riducono l'effetto di diffusione derivante dagli agenti atmosferici. L'effetto stabilizzante delle piante è anche idoneo per terreni nei quali i metalli sono stati preventivamente immobilizzati con altri metodi. Si può avere stabilizzazione:

- nella zona radicale: le proteine prodotte dalla pianta vengono rilasciate nella rizosfera dalle radici. Questi prodotti hanno come bersaglio i contaminanti presenti nel suolo circostante e provocano la precipitazione e immobilizzazione del contaminante nella zona radicale;
- sulle pareti cellulari: le proteine direttamente associate con le pareti delle cellule radicali possono legare e stabilizzare il contaminante all'esterno della cellula radicale. Questo impedisce che il contaminante possa essere trasportato all'interno della pianta (effetto barriera);
- nelle cellule radicali: le proteine presenti sulle membrane radicali possono facilitare il trasporto del contaminante all'interno della cellula. Qui il contaminante viene sequestrato nel vacuolo.

Le piante legnose si mostrano più adatte di quelle erbacee per questa tecnica, a causa delle diverse modalità di assorbimento e mobilità dei metalli negli organi della pianta. Fra le piante legnose, alcune ornamentali come alloro, pittosporo ed oleandro si sono dimostrate perfettamente funzionali nella fitostabilizzazione (Carratù et al., 2001). Fra le piante erbacee, le monocotiledoni, sia spontanee (*Lolium perenne*), sia coltivate (*Zea mays*, *Avena sativa*) sembrano più promettenti delle dicotiledoni (Argese et al., 2001).

La fitostabilizzazione è particolarmente indicata nei siti dove è indispensabile mantenere i metalli in forma non mobile, per evitarne la dispersione, come nel caso del cromo (Bini et al., 2000). Inoltre, quando la concentrazione è molto elevata, i processi di fitoestrazione richiederebbero tempi troppo lunghi per il raggiungimento degli obiettivi della bonifica.

41.4.2. Fitostimolazione

Consiste nello stimolo della degradazione microbica o fungina attraverso il rilascio di essudati ed enzimi nella rizosfera (Schnoor et al., 1995). Gli essudati radicali (alcoli, acidi organici, zuccheri) hanno un effetto stimolante sull'attività microbica. Viene in tal modo incrementata la capacità di biodegradazione di alcuni ceppi batterici e funghi, come osservato da Mehannavaz et al., (2001) per i PCB ad opera dei batteri della specie *Sinorhizobium meliloti* presenti nella rizosfera.

La fitostimolazione è una relazione simbiotica tra le piante ed i microrganismi del suolo. Le piante forniscono i nutrienti ai microrganismi, mentre i microrganismi provvedono a decontaminare il suolo, favorendo lo sviluppo radicale.

41.4.3. Fitoestrazione

Alcune piante hanno un'elevata capacità di accumulo di inquinanti (metalli, radionuclidi) e sono dette per questo iperaccumulatrici (Baker et al., 2000). Queste piante estraggono i contaminanti dal suolo e li concentrano nella porzione epigea (foglie, fusto). Alla fine del ciclo vegetativo, o comunque una volta cessato l'assorbimento, la pianta potrà essere raccolta, ed il contaminante allontanato dal terreno ed eventualmente recuperato per distillazione o altro trattamento. Le piante iperaccumulatrici sono in grado di accumulare quantità di metalli fino a 500 volte maggiori delle quantità presenti nelle piante non accumulatrici (Lasat, 2002), raggiungendo concentrazioni di metalli nelle foglie anche superiori al 5% del peso secco (Mc Grath, 1998). Una pianta iperaccumulatrice può accumulare più di 10 ppm di Hg, 100 ppm di Cd, 1.000 ppm di Cu, Cr, Pb, 10.000 ppm di Zn. Finora sono state individuate oltre 400 piante iperaccumulatrici appartenenti a 45 famiglie (Baker et al., 2000), delle quali la più rappresentata è quella delle Brassicacee (Marchiol et al., 2004).

Non tutti i metalli sono però accumulati dalle piante nello stesso modo e nella stessa misura: alcune sono in grado di assorbire un solo metallo, altre più metalli; di alcuni metalli, come il tallio, non si conosce ancora una pianta accumulatrice, di altri, come l'arsenico, si sono scoperte recentemente specie accumulatrici, come la felce *Pteris vittata* (Ma et al., 2001; Tu et al., 2004). Come regola generale, metalli quali Cu, Cd, Zn, Ni, Pb, Se sono facilmente accumulati, mentre As, Co, Cr, Mn, Fe, U non sono facilmente accumulati.

L'efficienza della fitoestrazione dipende da vari fattori:

- natura e concentrazione del contaminante (stato di ossidazione, tipo di legame, biodisponibilità, ecc.);
- caratteristiche chimico-fisiche del suolo o del sedimento (pH, tessitura, CSC, ecc.);

- caratteristiche morfologiche e fisiologiche della pianta (tipo di apparato radicale, capacità di assorbimento, sinergia o antagonismo fra metalli, ecc.).

Un parametro utilizzato per valutare l'efficacia della fitoestrazione è il Coefficiente d'Assorbimento Biologico (BAC) (1), ovvero il rapporto fra la quantità di metallo nella pianta e nel suolo (Ferguson, 1992):

$$\text{BAC} = \text{ppm (pianta)} / \text{ppm (suolo)} \dots (1)$$

L'ammontare totale di contaminante rimosso è il risultato del prodotto fra la quantità di biomassa raccolta e la concentrazione media dell'inquinante nella stessa.

Come già accennato, una volta cessati l'assorbimento e la traslocazione del metallo dalla radice alle parti aeree (per fine del ciclo fenologico, per raggiungimento di concentrazione massima o per indisponibilità ulteriore del metallo) le piante possono essere raccolte ed eliminate in discarica, mentre il sito potrà essere sottoposto a cicli successivi di coltivazione, fino ad abbassare la concentrazione del metallo a livelli accettabili, o nel migliore dei casi eliminarlo del tutto. Recentemente si è esaminata anche l'opportunità di recuperare il metallo assorbito dalla pianta, mediante trattamenti di distillazione (Cunningham e Berti, 1997). La tecnica si è dimostrata interessante, al punto che negli Stati Uniti sono sorte alcune "Companies", per lo sfruttamento economico di questi "giacimenti minerari" a basso costo (Chaney et al., 1997). Una delle specie sperimentate è *Thlaspi caerulescens*, nota accumulatrice di Zn e Cd. Occorre tuttavia rilevare che, per questa come per molte piante accumulatrici la ridotta produzione di biomassa non consente rilevanti asporti di metalli. Per ovviare a quest'aspetto, che renderebbe poco remunerativa la tecnica, si stanno sviluppando ricerche nel campo dell'ingegneria genetica (Raskin, 1996; Mcnair, 1997; Prasad, 2003) per creare piante con un'elevata produzione di biomassa, e perciò in grado di rimuovere dal suolo maggiori quantità di metallo.

41.4.4. Fitoestrazione assistita

Uno dei limiti maggiori nell'utilizzazione delle piante per decontaminare i suoli è la scarsa produzione di biomassa, soprattutto nei nostri climi. Per ovviare a tale limite, molte ricerche mirano attualmente ad individuare piante, anche non iperaccumulatrici, ma semplicemente metallo-tolleranti, che siano però in grado di produrre una rilevante biomassa epigea e con un rapido tasso di crescita. Si cerca inoltre di sviluppare la capacità d'accumulo dei metalli pesanti in piante d'elevata biomassa e normalmente coltivate (ad esempio, mais, tabacco, girasole, frumento).

Un secondo fattore limitante l'efficacia della fitoestrazione è la biodisponibilità del contaminante nel suolo, ovvero la capacità che le piante

hanno di estrarre un metallo dal suolo. La biodisponibilità dipende dalle condizioni chimico-fisiche del suolo, dalla presenza di batteri, funghi e piante che possono influenzare queste condizioni (Ernst, 1996), dalla formazione di complessi organici e dalla precipitazione di composti inorganici (carbonati, ossidi, fosfati) che rendono i metalli indisponibili per l'assorbimento. Con la fitoestrazione chelante assistita si aumenta la biodisponibilità del metallo mediante l'applicazione al suolo di chelanti sintetici, come EDTA, HEDTA, NTA, DTPA. L'EDTA risulta essere il più efficiente nell'aumentare la fitoestrazione di Ni e Pb ad opera di varie piante (Kramer, 1996; Blaylock et al., 1997).

La fitoestrazione assistita da chelanti risulta però una tecnica ad alto impatto ambientale, per il rischio di lisciviazione del chelante verso il sottosuolo e quindi alle falde idriche. Inoltre, la crescita della pianta può essere influenzata dal trattamento con il chelante, se viene raggiunta la soglia di tossicità (Mc Grath, 1998). Alternative recenti all'uso dei chelanti nella fitoestrazione sono la somministrazione di microrganismi per incrementare la flora batterica nella rizosfera (Whiting, 2001), e l'applicazione d'ammendanti come le zeoliti (Zaccheo et al., 2001), la fosforite ed il compost (Rossi et al., 2001), che rendono il substrato più ospitale per la pianta, favorendone la crescita e lo sviluppo iniziale.

41.4.5. Fitodegradazione

La fitodegradazione è un meccanismo molto efficace nella decontaminazione del suolo da inquinanti organici moderatamente idrofobi. Consiste nella trasformazione di molecole organiche complesse in molecole semplici e nell'eventuale accumulo di cataboliti non tossici nei tessuti vegetali. Le piante trasformano il contaminante organico attraverso vari processi metabolici interni aiutati da vari enzimi, degradandoli a molecole semplici immagazzinate nei vacuoli o incorporate nei tessuti vegetali. Dipende da diversi fattori quali la composizione del contaminante, la sua concentrazione, le proprietà del suolo ed il tipo di pianta (Cho et al., 2002).

Idrocarburi aromatici, solventi clorurati (TCE, PCE), esplosivi (TNT, DNT), alcuni idrocarburi alifatici ed alcuni pesticidi, come il Trifluralin ed il Lindano, possono essere assorbiti dalle piante (Li et al., 2002).

41.4.6. Fitovolatilizzazione

Questa tecnica consiste nella trasformazione di alcuni metalli e di alcune sostanze organiche in forme chimiche volatili, che vengono rilasciate in atmosfera. La specie chimica del contaminante può essere trasformata nella rizosfera prima di essere assorbita, oppure nella pianta dopo l'assorbimento. All'interno della pianta il contaminante o una forma modificata di esso verrà

traslocato e poi rilasciato in atmosfera attraverso la traspirazione. Esempi di contaminanti che possono essere fitovolatilizzati sono Hg, Se, As, TCE (Bargagli, 1993; Schnabel et al., 1997; Banuelos et al., 2003). Fra le piante superiori, è stato dimostrato che il pioppo è in grado di volatilizzare circa il 90% di TCE assorbito dal terreno contaminato (Barbafieri, 2001).

41.4.7. Rizofiltrazione

Questa tecnica è specifica per le acque, che possono però includere percolati del terreno. Si utilizzano piante iperaccumulatrici di metalli ad apparato radicale particolarmente diffuso, in grado di assorbire e concentrare i metalli nelle radici, nonché di promuovere la precipitazione a seguito di processi di essudazione di fosfati. Tra le piante più utilizzate vi sono la menta (*Mentha aquatica*) e la canna palustre (*Phragmites australis*).

Uno sviluppo molto interessante della rizofiltrazione è la creazione di zone umide (“*wetlands*”) per il trattamento d’acque reflue. L’acqua contaminata viene fatta passare attraverso un sistema di vasche di decantazione, analoghe ai bacini di flottazione degli sterili di miniera (Benvenuti et al., 1997) nelle quali le piante selezionate agiscono per rizofiltrazione, allontanando dalle acque i contaminanti, sia minerali che organici (Sette et al., 2001).

41.5. Situazione attuale e prospettive: vantaggi e svantaggi della phytoremediation

La *phytoremediation* è una tecnologia emergente per la bonifica dei siti contaminati che permette la rimozione di inquinanti organici ed inorganici dal suolo e dalle acque, e la stabilizzazione fisica dei suoli contaminati. Numerosi sono i vantaggi rispetto ad altre tecniche di trattamento:

- miglioramento delle proprietà chimiche, fisiche e biologiche del suolo;
- riduzione degli effetti dell’erosione;
- ridotta produzione di rifiuti;
- potenziale recupero dei metalli;
- miglioramento estetico dell’area;
- elevato consenso della popolazione;
- costi ridotti rispetto ad altre tecniche di remediation (40% in meno rispetto ad altre tecnologie *in situ* e fino al 90% rispetto ad altre tecnologie *ex situ*).

Vi sono tuttavia alcuni svantaggi:

- forte dipendenza dalle condizioni ambientali e climatiche;
- forte dipendenza dalla concentrazione e disponibilità del contaminante;
- profondità della contaminazione, comunque inferiore a 5 m;
- tempi di recupero più lunghi rispetto ad altre tecniche.

Sebbene esista una bibliografia abbastanza ampia sulla *phytoremediation*, non sono ancora del tutto chiari i meccanismi fisiologici che regolano i processi sopra elencati, anche perché molti di questi meccanismi sono sito-specifici. Tale specificità dipende prima di tutto dal tipo d'inquinante, dalla sua composizione e dalla possibile evoluzione, e quindi dalla specie vegetale che potrà essere utilizzata. Occorrono perciò ulteriori indagini volte a chiarire sia i meccanismi coinvolti che la scelta delle piante da utilizzare, eventualmente con l'applicazione delle tecniche di ingegneria genetica per migliorare la produzione di biomassa. L'utilizzo della *phytoremediation* è particolarmente vantaggioso quando il grado di contaminazione è basso e diffuso su un'area estesa, la profondità della contaminazione è limitata alla rizosfera o alla zona interessata dagli apparati radicali delle piante e quando non vi sono limiti temporali all'intervento. Si calcola, infatti, che, con le piante iperaccumulatrici attualmente utilizzabili, occorrono almeno 3-5 anni per avere risultati apprezzabili nel risanamento di un suolo moderatamente contaminato (Mc Grath, 1998). Con riferimento allo zinco, Mc Grath (1995) ha calcolato che il numero di raccolti di *Thlaspi caerulescens* necessario a diminuire la concentrazione di Zn da 444 a 300 mg kg⁻¹ nel suolo (limite fissato dalla direttiva CEE 1986) è di soli 9 raccolti annuali, contro 2046 raccolti necessari impiegando una pianta non accumulatrice, come il radicchio. La stessa *Thlaspi caerulescens* e *Cardaminopsis halleri* sono in grado di rimuovere, con un solo raccolto, gli apporti di Cd dovuti a decine di anni di applicazione di fertilizzanti fosfatici, con un tasso di rimozione di 150g ha⁻¹ anno⁻¹ e 34g ha⁻¹ anno⁻¹, rispettivamente (Mc Grath e Dunham, 1997).

Una delle prerogative più interessanti della *phytoremediation*, insieme con il basso impatto ambientale, è la relativa economicità rispetto alle altre tecniche utilizzabili. Black (1995) ha stimato un costo di soli 80 dollari m⁻³ di suolo bonificato tramite fitoestrazione, contro un costo di 250 dollari m⁻³ per il “*soil washing*”. Secondo Cunningham e Berti (1997) il costo di fitodepurazione per ettaro ammonterebbe a 100.000 dollari, mentre il semplice costo di scavo e collocamento in discarica è di 500.000 dollari e le tecniche tradizionali di trattamento *in situ* hanno costi oscillanti fra 500.000 e 1.000.000 dollari per ettaro. Tuttavia, i costi effettivi possono essere altamente variabili e saranno calcolabili meglio solo quando la tecnica sarà affermata. Attualmente infatti la scarsità di applicazioni di pieno campo (“*full scale*”) rende difficile fornire indicazioni precise su tempi e costi del ripristino. Nella tabella 41.3 è presentato un confronto dei costi di varie tecniche di bonifica. Occorre precisare che molti dei trattamenti *ex-situ* richiedono l'utilizzo combinato di diverse voci indicate in tabella, ed i costi complessivi risultano perciò elevati.

Tabella 41.3. Costi di varie tecniche di bonifica per unità di suolo trattato.

Trattamenti in-situ	Costi (U.S. \$ m ⁻³)
Soil flushing	50-80
Bioremediation	50-100
Phytoremediation	10-35
Trattamenti ex-situ	
Escavazione e trasporto in discarica	30-50
Smaltimento in discarica controllata	100-500
Incenerimento o pirolisi	200-1.500
Solil washing	150-200
Bioremediation	150-500
Solidificazione	100-150
Vetrificazione	Fino a 250

41.6. Aspetti applicativi

La verifica delle possibilità d'impiego della *phytoremediation* per il recupero dei suoli contaminati, avviata agli inizi degli anni '80, ha fatto significativi passi in avanti nell'ultimo decennio, consentendo di individuare come punti fondamentali per la sua applicazione:

- ricerche di laboratorio per approfondire la conoscenza dei processi che regolano l'assorbimento dei metalli da parte delle piante;
- ricerca di nuove specie vegetali che abbiano capacità d'accumulo di contaminanti nei loro organi, anche con tecniche di ingegneria genetica;
- prove di laboratorio o a scala pilota per individuare le condizioni più adatte all'uso delle varie tecniche di *phytoremediation*;
- prove *full scale* e di pieno campo, per verificare la reale possibilità di impiego di queste tecniche, in ordine alla bonifica dei suoli contaminati secondo criteri di sostenibilità ambientale e di economicità (rapporti costi/benefici).

Le difficoltà che s'incontrano nello stabilire in modo univoco la biodisponibilità di un elemento nel suolo sono legate sia alla definizione del concetto stesso, sia alla dipendenza di questo parametro da numerosi fattori. Per biodisponibilità s'intende, infatti, la disponibilità del metallo per un organismo specifico nelle specifiche condizioni ambientali (Adriano et al., 1995); è evidente quindi che le caratteristiche del suolo da un lato, e della pianta dall'altro, controllano l'effettiva accessibilità del metallo. I meccanismi attraverso cui questo controllo si esercita sono però lontani dall'essere completamente chiariti, e spesso i fattori fisiologici, compreso il trasporto dei

metalli attraverso le membrane, vengono trascurati nella valutazione della biodisponibilità.

In generale, la concentrazione dei metalli è assai più elevata nelle radici che nella parte aerea, ma si può verificare anche il contrario. Si ritiene che l'accumulo derivi dalla compartimentalizzazione e dalla complessazione vacuolare, come osservato in vacuoli isolati da protoplasti di cellule di tabacco che hanno accumulato elevati livelli di Cd e Zn (Barbafieri, 2001).

L'assimilazione di metalli, sia essenziali che non, in concentrazioni anche superiori a quelle del suolo, è un fenomeno tipico e diffuso nelle piante (Streit e Strumm, 1993). Si possono tuttavia classificare le piante secondo tre comportamenti distinti per quanto riguarda l'accumulo di metalli nei tessuti aerei (Baker, 1981):

- piante che escludono i metalli (*excluder plants*): queste specie sono in grado di limitare l'assunzione o la traslocazione dei metalli nelle parti aeree, mantenendo una concentrazione indipendente da quella del substrato, fino a che non compaiono sintomi di tossicità. In molti casi, il metallo è concentrato nella radice, che agisce come barriera contro la traslocazione alle parti aeree;
- piante indicatrici (*indicator plants*), in cui le concentrazioni dei metalli nei tessuti riflettono quelle del suolo;
- piante accumulatrici (*accumulator plants*), che sono in grado di assorbire e concentrare attivamente i metalli nelle parti aeree, sia nel caso di basse che di alte concentrazioni nel suolo.

Tra le piante che tollerano alte concentrazioni di metalli nei tessuti, sono considerate iperaccumulatrici quelle che mostrano una tendenza naturale ad accumulare quantità molto elevate di metalli (da 10 a 500 volte di più della quantità assorbita da una normale pianta). Baker e Brooks (1989) hanno identificato come iperaccumulatrici piante che presentano concentrazioni di almeno 1 mg g^{-1} di Ni, Cu, Co, Cr, Pb, e 10 mg g^{-1} di Mn e Zn. Spesso però ci si riferisce più semplicemente a concentrazioni eccezionalmente alte, senza riferimento ad una soglia precisa di concentrazione.

Attualmente sono conosciute oltre 400 specie di piante accumulatrici, ed una grande quantità di specie indicatrici, di grande utilità nella valutazione della qualità ambientale. Nella tabella 41.4 è riportato un elenco, non esaustivo, di piante accumulatrici note nella letteratura internazionale, con l'indicazione del metallo, o dei metalli, accumulati.

In letteratura si trovano quasi quotidianamente nuove segnalazioni di piante accumulatrici o indicatrici, nel tentativo di migliorare la potenzialità di questa *green technology*, sfruttando ad esempio la maggiore biomassa delle piante, come in *Phragmites australis* (Massacci et al., 2001) e *Cannabis sativa* (Kos e Lestan, 2004)

Tabella 41.4. Elenco delle principali specie vegetali accumulatrici di metalli (con riferimento bibliografico).

PIANTA	METALLO	RIFERIMENTI
<i>Aeollanthus biformifolius</i>	Co, Cu	8
<i>Agrostis capillaris</i> , <i>A. tenuis</i>	Pb, Cr	7,8,12
<i>Altermathera sessilis</i>	Al	1
<i>Alyssum bertoloni</i> , <i>A. murale</i>	Ni	2,3,14
<i>Arenaria patula</i>	Zn	8
<i>Armeria maritima</i>	Cu	2,7
<i>Astragalus</i> sp.	Se	2,8,11
<i>Atriplex</i> sp.	Se	8,11
<i>Becium homblei</i>	Cu	2,7
<i>Berkeyia coddii</i>	Ni	8
<i>Bonmullera</i> sp.	Ni	8
<i>Brassica jucea</i> , <i>B. napus</i>	Pb,Se	11
<i>Buxus</i> sp.	Ni	8
<i>Calendula arvensis</i> , <i>C. officinalis</i>	Cr	15
<i>Cardaminopsis halleri</i>	Zn	8,11
<i>Eichornia crassipes</i>	Cr, As, Cd, Hg, Pb	1,8
<i>Elodea canadensis</i>	As, Co, Cu, Ni	8
<i>Equisetum arvense</i>	Cu, Zn	8
<i>Festuca arundinacea</i> , <i>F. ovina</i>	Se, Cu, Zn, Cr, Ni, Pb	7,11,13
<i>Haumaniastrum robertii</i>	Co, Cu	8
<i>Hordeum vulgare</i>	Hg	5
<i>Hybanthus floribundus</i>	Ni	8
<i>Ipomea alpina</i> , <i>I. carnea</i>	Cr, Zn, Cu, Pb, Cd	1,8
<i>Lemna minor</i>	Cr, Cd, Cu, Ni, Pb, Se	1,12
<i>Lolium perenne</i>	Cu, Zn, Cr, Ni, Pb	13
<i>Minuartia verna</i>	Cu, Co	2,7,8
<i>Myriophyllum verticillatum</i>	As, Co, Cu, Mn	8
<i>Phyllanthus</i> sp.	Ni	8
<i>Picea abies</i>	U, Hg	4,9
<i>Pinus nigra</i> , <i>P. silvestris</i>	U, Hg (Pb, Zn)	4,9,10
<i>Plantago lanceolata</i>	Cu, Cd, Pb, Zn	16
<i>Populus nigra</i>	Pb, Zn, Cu, Cr, Cd	4
<i>Potamogeton ricardsonii</i>	Co, Cu, Pb, Zn	8
<i>Raphanus sativus</i>	Cd, Zn	14
<i>Salix viminalis</i>	Cd, Zn	14
<i>Sambucus nigra</i>	U	4,9
<i>Saxifraga</i> sp.	Ni	8
<i>Senecio coronatus</i>	Ni	8
<i>Silene vulgaris</i> , <i>S. cobalticola</i>	Cu, Co	2,7

<i>Taraxacum officinale</i>	Cu, Cd, Pb, Cr	17
<i>Thlaspi alpestre</i>	Cu, Co, Zn	8
<i>Thlaspi caerulescens</i>	Zn, Cd	3,8,11,14
<i>Thlaspi calaminare</i>	Zn	3,8
<i>Thlaspi rotundifolium</i>	Zn, Pb	7
<i>Typha angustata</i>	Cr	1
<i>Trifolium pratense</i>	Cd, Zn	6
<i>Viola calaminaria</i>	Zn	3,8
<i>Viscaria alpina</i>	Cu	2
<i>Zea mays</i>	Cd, Zn	14

1. Mhatre and Pankhurst (1997); 2. Pandolfini et al., (1997); 3. Baker and Brooks (1989); 4. Wagner (1993); 5. Panda et al., (1992); 6. Kabata-Pendias et al., (1993); 7. Ernst (1996); 8. Brooks (1998); 9. Teubing and Haneke (1993); 10. Bargagli (1993); 11. Mc Grath (1998); 12. Zayed et al., (1998); 13. Pichtel and Salt (1998); 14. Felix (1998); 15. Bini et al., (2000a); 16. Zupan et al., (1995); 17. Bini et al., (2000b).

41.6.1. Fitoestrazione di Zn e Cd

Zinco e cadmio sono due elementi con elevata affinità chimica e si ritiene che possano venire accumulati dalle stesse specie vegetali, seppur con meccanismi non identici (Brooks, 1998), anche se Zn è un micronutriente essenziale, e Cd è tossico sia per le piante che per gli animali e l'uomo. Le piante note per la capacità di iperaccumulare Zn sono molte; la maggior parte di esse appartiene al genere *Thlaspi*; tra queste, le concentrazioni maggiori (fino a 3,96%) sono state riscontrate in *T. calaminare*. Anche *Cardaminopsis halleri*, *Viola calaminaria* e *Haumaniastrum katangense* presentano concentrazioni di Zn superiori a 10.000 mg kg⁻¹, ma solamente *Thlaspi caerulescens* è considerata un'iperaccumulatrice di cadmio, oltrepassando la soglia di 100 mg kg⁻¹ sul peso secco (Mc Grath, 1998).

Altre piante, come *Brassica juncea*, pur non superando la soglia definita per l'iperaccumulo, rimuovono efficacemente il cadmio dai suoli, anche grazie ad un'elevata biomassa (Kumar et al., 1995). È da rilevare tuttavia che il numero di iperaccumulatrici note dipende anche dagli sforzi prodotti nella ricerca; è probabile che le specie iperaccumulatrici di Cd siano in realtà più numerose di quelle attualmente identificate.

Thlaspi caerulescens ha una richiesta nutrizionale minima di Zn nettamente superiore alla media delle piante non iperaccumulatrici, presumibilmente intorno a 1.000 µg g⁻¹ nel suolo. Le concentrazioni di Zn nei tessuti sono molto alte rispetto alle altre piante, anche in condizioni di deficienza di Zn (300-500 µg g⁻¹ contro un valore normale di 15-20 µg g⁻¹), probabilmente perché i meccanismi responsabili della straordinaria tolleranza operano già a bassi livelli di metallo nel substrato. Ciò limita la possibilità di una diffusione accidentale di questa specie nell'ambiente circostante il sito contaminato, e assicura il

mantenimento di livelli adeguati alla crescita di altre specie al termine del trattamento. Nella tabella 41.5 sono riportati i risultati di prove sperimentali di accumulo di Zn in piante accumulatrici (Mc Grath, 1998).

Tabella 41.5. Accumulo di zinco in *Thlaspi caerulescens* e *Cardaminopsis halleri* (Mc Grath, 1998).

Anno/specie	Concentrazione Kg t ⁻¹	Resa t ha ⁻¹	Rimozione Kg ha ⁻¹
1991			
<i>Thlaspi caerulescens</i>	10,63	5,4	57,4
<i>Cardaminopsis halleri</i>	5,21	2,7	14,1
1992			
<i>Thlaspi caerulescens</i>	2,70	8,6	23,2
<i>Cardaminopsis halleri</i>	1,55	8,8	13,6
1993			
<i>Thlaspi caerulescens</i>	3,78	9,9	37,4
<i>Cardaminopsis halleri</i>	1,93	2,4	4,6

41.6.2. Fitoestrazione di piombo

La fitoestrazione di Pb è complicata dalla forte ritenzione del metallo da parte della sostanza organica e dei minerali del suolo e dalla scarsa traslocazione nelle parti aeree; inoltre sono tuttora note solo poche specie in grado di iperaccumulare piombo, tra cui *Thlaspi rotundifolium*, che può contenerne fino a 8.200 µg g⁻¹. Altri contenuti di Pb nei tessuti potrebbero derivare anche da assorbimento foliare, una via sempre piuttosto importante per questo metallo, e non essere quindi rilevati in termini di fitoestrazione. Per ottenere una decontaminazione efficace in tempi relativamente brevi sono necessarie piante con una concentrazione di circa 10.000 µg g⁻¹ ed una biomassa superiore a 20 t ha⁻¹ anno⁻¹ espressa come peso secco (Mc Grath, 1998). Kumar et al., (1995) hanno condotto uno studio sull'assorbimento di Pb ad opera di diverse varietà di Brassica, riscontrando i valori più elevati per un cultivar di *Brassica juncea* in grado di accumulare Pb fino al 3,5% sul peso secco. Brassica è inoltre in grado di produrre circa 18 t ha⁻¹ di biomassa; potenzialmente è dunque possibile rimuovere con un solo raccolto circa 630 kg ha⁻¹ di Pb. Tuttavia è probabile che i coefficienti di fitoestrazione ottenibili in campo, senza che siano adottate pratiche agricole specifiche, peraltro ancora sconosciute, siano sensibilmente più bassi di quelli ottenuti in condizioni controllate. Huang e Cunningham (1996) hanno studiato l'assorbimento di Pb in diverse specie, sia accumulatrici che non. I risultati sono presentati in tabella 41.6.

Il metodo più promettente per la fitoestrazione di Pb sembra essere l'uso di chelanti sintetici (fitoestrazione assistita) per incrementare l'assimilazione del metallo da parte delle piante. Huang e Cunningham (1996) hanno sperimentato l'effetto di diversi chelanti, ottenendo i risultati migliori con EDTA. In questo

modo è possibile migliorare l'assimilazione e la traslocazione di Pb anche in piante non naturalmente accumulatrici, ottenendo coefficienti di fitoestrazione fino a 1.000 volte più alti. In questo caso le piante cominciano piuttosto presto ad esibire sintomi di fitotossicità e vanno quindi raccolte prima della senescenza o della morte. Secondo gli stessi autori, se si utilizzasse *Zea mays*, con una resa ipotetica di $25 \text{ t}^{-1} \text{ h}^{-1}$ raccolto per due raccolti annuali ed una concentrazione di $10.500 \mu\text{g g}^{-1}$, sarebbe possibile ridurre il contenuto di Pb nel suolo da 2.500 a $600 \mu\text{g g}^{-1}$ in soli sette anni.

Tabella 41.6. Concentrazione di Pb ($\mu\text{g g}^{-1}$) nei fusti di varie specie coltivate e selvatiche (da Huang & Cunningham, 1996).

Specie (cultivar)	Coltura idroponica	Coltura su suolo
<i>Zea mays</i>	375	225
<i>Brassica juncea</i> (211000)	347	129
<i>Brassica juncea</i> (531268)	241	97
<i>Thlaspi rutundifolium</i>	226	79
<i>Triticum aestivum</i>	139	12
<i>Ambrosia artemisiifolia</i>	96	75
<i>Brassica juncea</i> Cern.	65	45
<i>Thlaspi caerulenses</i>	64	58

Nel caso di utilizzo di chelanti, il piano di disinquinamento deve naturalmente comprendere un sistema di contenimento delle acque di percolazione, per evitare la contaminazione delle acque di falda. Inoltre, nel caso di Pb sarebbe probabilmente necessaria una fertilizzazione a base di fosforo, somministrata per via foliare. Infatti, la precipitazione del fosforo come fosfato insolubile è un fenomeno diffuso nei suoli contaminati da questo metallo e provoca spesso carenze nutrizionali.

41.6.3. Fitoestrazione del rame

Esistono solo pochi esempi di piante che iperaccumulano rame; tutte provengono dai depositi di rame e cobalto dello Zaire (Brooks, 1998). In questa zona sono presenti moltissime specie endemiche caratterizzate da una straordinaria tolleranza verso questi due metalli; alcune sono anche iperaccumulatrici e raggiungono concentrazioni di rame o cobalto superiori a 1%. Sono state individuate 26 iperaccumulatrici di cobalto e 24 di rame, di queste 9 iperaccumulano entrambi i metalli (Tabella 41.7).

La concentrazione più alta di Cu in una fanerogama (1,37% del peso secco dell'intera pianta) è stata registrata in *Aolleantus biformifolius* e in *A. subacaulis* var. *linearis*. Tuttavia, non esiste alcuna dimostrazione di un possibile impiego di queste piante nella depurazione dei suoli (Mc Grath, 1998). Brooks e

Robinson (1998) hanno condotto uno studio sulla possibilità di utilizzare le specie iperaccumulatrici per lo sfruttamento commerciale dei depositi minerali superficiali (*phytomining*), ed hanno stimato per *H. katangense* un potenziale di rimozione di 0,015 t ha⁻¹ di Cu e Co, assumendo di poter ottenere una biomassa di 7,5 t ha⁻¹ tramite un'opportuna fertilizzazione.

Tabella 41.7. Iperaccumulatrici di rame e cobalto (µg g⁻¹) (Brooks 1998).

SPECIE	Rame	Cobalto
<i>Aeollanthus biformifolius</i>	3.920	2.820
<i>Anisopappus davyi</i>	2.889	2.650
<i>Buchnera henriquesii</i>	3.520	2.435
<i>Bulbostylis mucronata</i>	7.783	2.130
<i>Gutembergia cupricola</i>	5.095	2.309
<i>Haumaniastrum katangense</i>	8.356	2.240
<i>Haumaniastrum robertii</i>	2.070	10.200
<i>Lindernia perennis</i>	9.322	2.300
<i>Pandiaka metallorum</i>	6.260	2.139

41.6.4. Casi di studio

Numerose sperimentazioni sono state condotte negli ultimi anni, sia in laboratorio che in pieno campo, con lo scopo di verificare l'efficacia della *phytoremediation*, e di implementarne le potenzialità, in una prospettiva di sfruttamento economico oltre che di ripristino ambientale dei suoli contaminati. Blaylock et al., (1997) hanno sviluppato una tecnologia che combina la capacità di una pianta accumulatrice di Pb ad elevata produzione di biomassa, *Brassica juncea*, con la normale fertilizzazione di un ampio distretto densamente popolato, ed in cui si registravano numerosi casi di avvelenamento da Pb nei bambini. Dopo un ciclo di coltivazione, la zona più contaminata, che all'origine presentava oltre 1.000 mg kg⁻¹ di Pb, era ridotta dal 25% al 11%, e la concentrazione di Pb era scesa a 800 mg kg⁻¹. Un simile risultato è riportato da Shen et al., (2001) in una sperimentazione condotta applicando EDTA ad un suolo di un'area mineraria, e coltivato con *Brassica napus*. Fra le piante erbacee, *Plantago lanceolata* e *Taraxacum officinale* sono state lungamente testate come specie indicatrici/accumulatrici di metalli, a diversi livelli di contaminazione (Zupan et al., 1995; 2003; Bini et al., 2000b).

Alcune piante, come *Mentha aquatica*, *Pteris vittata* e *Phragmites australis*, grazie all'elevata biomassa epigea ed ipogea, si sono rivelate particolarmente utili nella rizofiltrazione di metalli pesanti, ed in particolare As, in ambiente idromorfo (aree palustri, suoli sommersi). Sette et al., (2001) hanno condotto un'indagine in un'area palustre limitrofa ad una miniera di Sb-As abbandonata,

ed hanno trovato che *Mentha aquatica* è in grado di accumulare nella radice fino ad oltre 8.900 mg kg⁻¹ di As, mentre la traslocazione al fusto ed alle foglie è molto ridotta (rispettivamente 13 e 177 mg kg⁻¹). Anche le felci, in particolare *Pteris vittata*, producono sufficiente biomassa epigea, e si sono dimostrate in grado di accumulare notevoli quantità (fino a 4.300 mg kg⁻¹) di As (tabella 41.8; Blaylock et al., 2003; Caille et al., 2003), con un elevato coefficiente di trasferimento (As pianta/As suolo = 9).

Tabella 41.8. Accumulo di As in tre specie di felce (da Blaylock 2003).

Specie	Concentrazione Mg kg ⁻¹	Resa Kg ha ⁻¹	Rimozione Mg kg ⁻¹
<i>Pteris vittata</i>	900	13.050	5,9
<i>Pteris mayii</i>	2.013	6.100	6,1
<i>Pteris parerii</i>	1.416	5.050	3,6

Anche *Phragmites australis* si è dimostrata una buona accumulatrice di metalli in numerose sperimentazioni (Yez et al., 1997; Massacci et al., 2001b), oltre ad essere correntemente utilizzata negli impianti di fitodepurazione di scarichi domestici ed acque reflue, per la rimozione di nitrati e fosfati. Uno degli aspetti più interessanti di questa pianta è la somiglianza genetica con piante cerealicole di diffuso uso agronomico (Massacci et al., 2001a), e che potrebbero essere impiegate nella *phytoremediation*, come mais e Triticale.

La sperimentazione di piante accumulatrici nel campo delle specie coltivate non è ancora troppo sviluppata, anche se di recente si è notato un incremento delle ricerche in questo settore. Una delle piante più indagate, insieme con il già citato mais, è il girasole (*Helianthus annuus*). Questa pianta, cresciuta su un suolo altamente inquinato da metalli e sottoposta a trattamento con EDTA (fitoestrazione assistita), ha mostrato notevoli capacità di accumulo nei tessuti (Quartacci et al., 2001). In particolare, dopo 30 giorni dalla semina la pianta accumulava 2.500 µg di Zn, circa 500 µg di Cu, Cd e Pb, e 100 µg di Cr, tutti concentrati in gran parte (oltre il 50%) nella radice: solo Zn mostrava notevole capacità di trasferimento alle parti aeree (oltre 50% nel fusto e 25% nelle foglie). Un'ulteriore sperimentazione con girasole (Sacchi et al., 2001) ha tuttavia mostrato notevoli limiti nell'applicazione della fitoestrazione assistita di Pb: l'applicazione della dose massima di chelante determinava incrementi di Pb non proporzionali rispetto alla dose inferiore, con concentrazioni massime di 600 mg kg⁻¹ di Pb nelle foglie. Secondo gli autori citati, considerata una produzione di biomassa di 10 t ha⁻¹, ciò comporterebbe la rimozione di circa 6 kg ha⁻¹ di Pb dal terreno inquinato in tempi largamente superiori ai 100 anni, e per di più con elevati costi di somministrazione del chelante. Inoltre, si potrebbero porre seri rischi ambientali per la probabile lisciviazione del metallo nel sottosuolo e verso le falde idriche.

Le piante arboree hanno ricevuto minore attenzione di quelle erbacee, anche se la loro elevata biomassa potrebbe costituire un importante elemento a

favore del loro impiego nella *phytoremediation*. In effetti, negli ultimi anni la sperimentazione sulle piante arboree si è moltiplicata, mostrando interessanti risultati. Una delle specie maggiormente sperimentate è il salice (*Salix viminalis*, *S. caprea*, *S. rubens*, *S. fragilis*). Greger e Landberg (2003) hanno dimostrato che c'è una correlazione molto stretta fra biomassa di *Salix viminalis* e rimozione di metalli dal suolo (figura 41.1), mentre Wieshammer et al., (2003) hanno trovato nelle foglie di salice concentrazioni di 326 mg kg⁻¹ di Cd, 2.413 mg kg⁻¹ di Zn e 70 mg kg⁻¹ di Pb, con incrementi fino a 54% per Zn, 39% per Cd e 21% per Pb, in piante micorrizzate ed inoculate con batteri metallo-tolleranti.

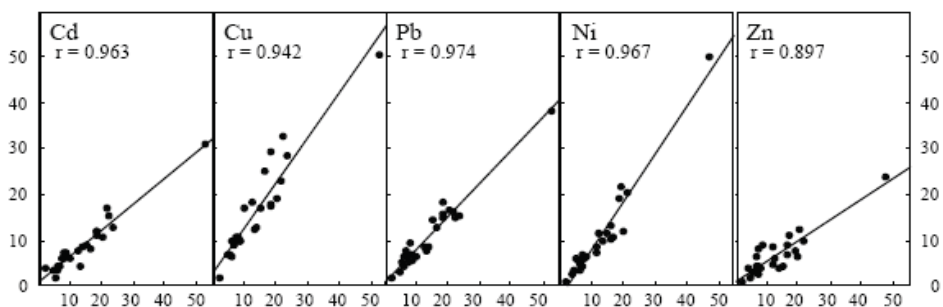


Figura 41.1. Relazioni tra biomassa di *Salix viminalis* e rimozione di metalli nel suolo (da M. Greger e T. Landberg, 2003).

In ordinate è riportata la riduzione percentuale della concentrazione dei metalli (%), in ascisse la produzione di biomassa (ton ha⁻¹).

Un'indagine condotta in un parco urbano dell'Inghilterra (Lepp e Dickinson, 2003) ha dimostrato che 50 anni dopo la piantagione di betulla (*Betula sp.*), acero (*Acer pseudoplatanus*) e salice (*Salix caprea*) su un'area fortemente degradata ed inquinata, la copertura vegetale erbacea si era ricostituita naturalmente, dimostrando la resilienza potenziale della vegetazione naturale per il recupero di suoli contaminati.

41.7. Conclusioni

La *phytoremediation* è una tecnologia di disinquinamento promettente, che offre numerosi vantaggi:

- costi competitivi rispetto alle tecnologie attualmente utilizzate;
- impatti molto modesti sulla qualità ambientale dei siti bonificati;
- basso rischio di contaminazioni secondarie dovute alla movimentazione del suolo;
- possibilità di impiego su vaste aree anche accidentate.

Tuttavia sono necessarie ulteriori ricerche per individuare specie in grado di accumulare numerosi metalli con un'alta efficienza e per trovare le tecniche colturali più opportune per ciascuna pianta. Occorre inoltre risolvere il problema dello smaltimento delle biomasse una volta raccolte, ma soprattutto sono necessarie ulteriori prove dell'efficacia del metodo, ottenibili solo da sperimentazioni in campo, mentre finora la maggior parte dei dati disponibili deriva da prove sui microcosmi. Nonostante ci sia parecchio lavoro da fare prima di un'eventuale commercializzazione di questo metodo, Glass et al., (1997) ritengono che la *phytoremediation* possa conquistare una notevole fetta del mercato del disinquinamento nel prossimo futuro, come evidenziato dalla tabella seguente.

Tabella 41.9. Stima del mercato della *phytoremediation* negli Stati Uniti (milioni di dollari).

Phytoremediation per categorie di siti	1997	2000	2005
Acque sotterranee inquinate da composti organici	2-3	6-12	20-45
Suoli inquinati da metalli pesanti	1-2	10-20	40-80
Suoli inquinati da radionuclidi	0-0,5	4-10	25-30
Acque reflue inquinate da metalli pesanti	0,1-1	1-2	3-5
Altro	0-1,4	3-6	12-20
Mercato totale americano	3-7	24-50	100-200

Bibliografia

- ADRIANO, D.C., CHLOPECKA, A., KAPLAND, D.I., CLIJSTERS, H., VANGROSVELT, J., 1995. *Soil contamination and remediation philosophy, science and technology*. In: Contaminated Soils (R. Prost Ed.) INRA, Paris, 466-504.
- ADRIANO, D.C., BOLLAG, J.M., FRANKEMBERGER, W.T., SIMS, R.C., 1999. *Biodegradation of contaminated soils*. Agronomy Monograph, 372, Soil Science Society of America, 772.
- ARGESE, E., DELANEY, E., AGNOLI, F., FARAON, F., SORGANO, A., CACCO, G., 2001. *Variazione di parametri morfo-fisiologici di piante di orzo ed avena allevate in microcosmi trattati con metalli pesanti*. Boll.Soc. It. Sci. Suolo, 50, 3, 709-722.
- BAKER, A.J.M., 1981. *Accumulators and excluders strategies in the response of plants to heavy metals*. J. Of Plant Nutrition, 3, 643-654.
- BAKER, A.M.J., BROOKS, R.R., 1989. *Terrestrial higher plants which hyperaccumulate metallic elements – A review of their distribution, ecology and phytochemistry*. Biorecovery, 1, 81-126.
- BAKER, A., MC GRATH, S., REEVES, R., SMITH, J., 2000. *Metal hyperaccumulator plants: a review of the ecology and physiology of a biological resource for phytoremediation of metal-polluted soils*. In: Phytoremediation of contaminated soils (Terry, N. and Banuelos, G. Ed.), Lewis Publisher, London, 85-107.

- BANUELOS, G.S., LIN, Z.Q., TERRY, N., ARROYO, I., 2003. *Managing toxic levels of soluble selenium in drainage sediment with phytoremediation*. Proc VII ICOBTE Uppsala Sv.
- BARBAFIERI, M., 2001. *Applicabilità e limiti della fitodepurazione*. In: Siti contaminati: indagini, analisi di rischio e tecniche di bonifica (a cura di L. Bonomo), Politecnico di Milano, 699-717.
- BARGAGLI, R., 1993. *Plant leaves and lichens as biomonitors of natural or anthropogenic emissions of mercury*. In: B. Markert (Ed.) *Plants as biomonitors*, Weinheim WCH, 468 – 484.
- BENVENUTI, M., MASCARO, I., CORSINI, F., LATTANZI, P., PARRINI, P., TANELLI, G., 1997. *Mine waste dumps and heavy metal pollution in abandoned mining district of Boccheggiano (southern Tuscany, Italy)*. Environ. Geol., 30, 238 – 243.
- BINI, C., MALECI, L., GABBRIELLI, L., PAOLILLO, A., 2000a. *Biological perspectives in soil remediation with reference to chromium*. In: *Bioremediation of contaminated soils*, D.Wise Ed. Marcel Dekker Inc., N.Y., 663 – 675.
- BINI, C., CASARIL, S., PAVONI, B., 2000b. *Fertility gain and heavy metal accumulation in plants and soils*. Tox. Environ. Chem., 77, 131 – 142.
- BLACK, H., 1995. *Absorbing possibilities: phytoremediation*. Environmental health perspectives, 103, 12, 1 – 6.
- BLAYLOCK, M.J., ELLES, M.P., NUTTAL, C.Y., ZDIMAL, K.L., LEE, C.R., 2003. *Treatment of As contaminated soil and water using Pteris vittata*. Proc VI ICOBTE, Uppsala, Sv.
- BLAYLOCK, M.J., SALT, D.E., DUSHENKOV, S., ZAKHAROVA, O., GUSSMAN, C., KAPULNOK, Y., ENSLEY, B.D., RASKIN, I., 1997. *Enhanced accumulation of Pb in Indian Mustard by soil-applied chelating agents*. Environ. Sci & Technol., 31, 3, 860-865.
- BROOKS, R.R., 1998. *Phytochemistry of hyperaccumulator*. In: *Plants that hyperaccumulate heavy metals: their role in phytoremediation, microbiology, archaeology, mineral exploration and phytomining* (R. Brooks Ed.), CAB International, U.K., 15-53.
- BROOKS, R.R., ROBINSON, B.H., 1998. *The potential use of hyperaccumulators and other plants for phytomining*. In: *Plants that hyperaccumulate heavy metals: their role in phytoremediation, microbiology, archaeology, mineral exploration and phytomining* (R. Brooks Ed.), CAB International, U.K., 327-356.
- CAILLE, N., SWANWICK, S., ZHAO, F.J., MC GRATH, S., 2003. *Assessment of As phytoextraction potential of two ferns by field and pot experiments*. Proc VII ICOBTE, Uppsala, Sv.
- CARRATÙ, G., CARAFA, A.M., APRILE, G.G., 2001. *Valutazione della capacità di Pb-decontaminante di due specie ornamentali*. Boll. Soc. It. Sci. Suolo, 50, 3, 733-738.
- CHANEY, R.L., LI, Y.M., ANGLE, J.S., BAKER, A., 1997. *Converting metal hyperaccumulator wild plants into commercial phytoremediation systems: approaches and progress*. Proc IV ICOBTE, Berkeley, Cal 623 – 624.
- CHO, H.H., CHOI, J., GOLTZ, M.N., PARK, J.W., 2002. *Combined effects of natural organic matter and surfactants on the apparent solubility of polycyclic aromatic hydrocarbons*. J. Environ. Qual., 31, 275-280.
- CUNNINGHAM, S.D., BERTI, W.R., 1997. *Phytoextraction or in-place inactivation: technical, economic and regulatory consideration on the soil-lead issue*. Proc IV ICOBTE, Berkeley Cal., 627-628.
- ERNST, W.H.O., 1996. *Bioavailability of heavy metals and decontamination of soils by plants*. Applied Geochemistry, 11, 163-167.

- FELIX, H., 1998. *Field trials for in-situ decontamination of heavy metal polluted soils using crops of metal accumulating plants*. Z.Pflanzernhar. Bodenk, 160, 525-529.
- FERGUSON, J.E., 1992. *The heavy elements. Chemistry, environmental impact and health effects*. Pergamon Press, 383-397.
- GREGER, M., LANDBERG, T., 2003. *Improving removal of metals from soil by salix*. Proc VII ICOBTE, Uppsala, Sv.
- GLASS, D., ASSOCIATED, INC., ESTIMATES, 1997. *Estimated U.S. markets for phytoremediation 1997-2005*. www.dglassassociates.com.
- HUANG, J.W., CUNNINGHAM, S.D., 1996. *Lead phytoextraction: species variation in lead uptake and translocation*. New Phytol., 134, 75-84.
- KABATA-PENDIAS, A., PIOTROWSKA, M., DUDKA, S., 1993. *Trace metals in legumes and monocotyledons and their suitability for the assessment of soil contamination*. In: B. Markert (Ed.) *Plants as biomonitors*, Weinheim WCH, 485 – 494.
- KOS, B., LESTAN, D., 2004. *Soil washing of Pb, Zn, and Cd using biodegradable chelator and permeable barriers and induced phytoextraction by Cannabis sativa*. Plant and Soil, 63 1, 2, 43 -51.
- KRAMER, U., 1996. *Free histidine as a metal chelator in plants that accumulate nickel*. Nature, 379, 635-638.
- KUMAR, P.B., 1995. *Phytoextraction: the use of plants to remove heavy metals from soils*. Environ. Sci. & Technol., 29, 1232-1238.
- LASAT, M.M., 2002. *Phytoextraction of toxic metals: a review of biological mechanisms*. Environ. J. Qual., 31, 109-120.
- LEPP, N.W., DICKSON, N.M., 2003. *Natural bioremediation of metal polluted soils. A case history from the U.K.* Proc VII ICOBTE, Uppsala, Sv.
- LI, H., SHENG, G., SHENG, W., XU, O., 2002. *Uptake of trifluralin and lindane from water by ryegrass*. Chemosphere, 48, 335-341.
- MA, L.Q., KOMAR, K.M., TU, C., ZHANG, W., CAI, Y., KENNELLY, E.D., 2001. *A fern that hyperaccumulates arsenic*. Nature, 409, 579.
- MASSACCI, A., IANNELLI, M.A., PIETRINI, F., 2001. *Il fitorimedio: organismi vegetali come potenziali agenti disinguantanti*. Bol. Soc. It. Sci Suolo 50, 3, 581-588.
- MHATRE, G.N., PANKHURST, C.E., 1997. *Bioindicators to detect contamination of soils with special reference to heavy metals*. In: Pankhurst C.E. et al., *Biological Indicators of soil health*, CAB Int., Wallingford, U.K., 349- 369.
- MARCHIOL, L., SACCO, P., ASSOLARI, S., ZERBI, G., 2004. *Reclamation of polluted soils: phytoremediation potential of crop-related BRASSICA species*. Water, Air & Soil Pollution, 158, 1, 345-356.
- MC GRATH, S., 1995. *Behaviour of trace elements in terrestrial ecosystems*. In: *Contaminated Soils* (R. Prost Ed.), INRA, Paris, 35-54.
- MC GRATH, S., 1998. *Phytoextraction for soil remediation*. In: *Plants that hyperaccumulate heavy metals: their role in phytoremediation, microbiology, archaeology, mineral exploration and phytomining* (R. Brooks Ed.), CAB International, U.K., 261-287.
- MC GRATH, S., DUNHAM, S.J., 1997. *Potential phytoextraction of zinc and cadmium from soil using hyperaccumulator plants*. Proc. IV ICOBTE, Berkeley, Cal., 625-626.
- MCNAIR, M.R., 1997. *The genetics of metal tolerance and accumulation by plants*. Proc IV ICOBTE, 647-648.

- MUSMECI, L., MOTAWI, A., GIULIANO, V., 2000. *Bonifiche dei suoli: aspetti legislativi*. In: La bonifica dei suoli inquinati. Hyper (Ed.), 5-16.
- PANDA, K.K., LENKA, M., PANDA, B.B., 1992. *Monitoring and assesment of mercury pollution in the vicinity of a chloralkali plant*. Environ. Pollut., 76, 33-42.
- PANDOLFINI, T., GREMIGNI, P., GABBRIELLI, R., 1997. *Biomonitoring of soil healt by plants*. In: Pankhrust, C.E. et al., Biological Indicators of soil health, CAB Int., Wallingford, U.K., 325-348.
- PICHTEL, J., SALT, C.A., 1998. *Vegetative growth and trace metal accumulation on metalliferous wastes*. Environ. J. Qual., 27, 618-624.
- PRASAD, M.N., 2003. *Phytoextraction of metals: role of natural hyperaccumulators, transgenic plants and soil amending chelators*. Proc., VI ICOBTE, Upsala Sv.
- QUARTACCI, M.F., SGHERRI, C.L.M., NAVARI-IZZO, F., 2001. *Fitoestrazione da un suolo contaminato da più metalli: accumulo e tolleranza*. Boll. Soc. It. Sci. Suolo, 50, 3, 649 -660.
- RASKIN, I., 1996. *Plant genetic engineering may help with environmental cleanup (commentary)*. Proc. Natl. Acad. Sci. USA, 93, 3164-3166.
- ROSSI, G., FIGLIOLIA, A., SOCCIARELLI, S., 2001. *Fitoestrazione mediante Brassica napus: capacità di assorbimento nei confronti di Cd e Zn*. Boll. Soc. It. Sci. Suolo, 50, 3, 649-660.
- SACCHI, G.A., RIVETTA, A., COCUCCI, M., 1999. *Assorbimento radicale e bio accumulo di metalli pesanti nelle piante: problematiche e prospettive*. In: Impatto ambientale di metalli pesanti ed elementi in tracce. Pitagora editrice, Bologna, 65-76.
- SALT, D., 1995. *Phytoremediation: a novel strategy for the removal of toxic metals from the environment using plants*. Biotechnology, 13, 468-473.
- SCHNABEL, W.E., DEITZ, A.C., BURKEN, J.G., SCHNOOR, J.L., ALVAREZ, P.J., 1997. *Uptake and transformation of trichloroethylene by edible garden plants*. Water Res., 31, 4, 816-824.
- SCHNOOR, J.L., 1995. *Phytoremediation of organic and nutrient contaminants*. Environ. Sci. & Technol., 29, n.7.
- SETTE, B., BOSCAGLI, A., RICCOBONO, F., 2001. *Mentha aquatica L. as an arsenioc accumulator*. Proc VI ICOBTE Guelp Ont Ca 395.
- SHEN, Z.G., LI, X.D., CHEN, H.M., WANG, C.C., CHUA, H., 2001. *Phytoextraction of lead from a contaminated soil using high biomass species of plants*. Proc. 6th ICOBTE, 133.
- STREIT, B., STUMM, W., 1993. *Chemical properties of metals and the process of bioaccumulation in terrestrial plants*. In: Plants as Biomonitors (B. Markert Ed.), VCH, Weinheim, 31-62.
- TU, S., MA, L., LUONGO, T., 2004. *Root exsudates and arsenic accumulation in As hyperaccumulating Pteris vittata and non hyperaccumulating Nephrolepis exaltata*. Plant and Soil, 258,1, 9-19.
- WAGNER, G., 1993. *Large scale screening of heavy metals burdens in higer plants*. In: B. Markert (Ed.) Plants as biomonitors. Weinheim WCH, 425-434
- WHITING, S.N., 2001. *Rizosphere bacteria mobilize Zn for hyperaccumulation by Thlaspi caerulescens*. Environ. Sci & Technol., 35, 3144-3150.
- WIESHAMMER, G., SOMMER, P., GORFER, M., STRAUSS, J., WENZEL, W.W., 2003. *Bioavailable contaminant stripping of Cd and Zn using willows*. Proc VII ICOBTE, Uppsala, Sv.
- YETZ, H., BAKER, A., WONG, M.H., WILLIS, A.J., 1997. *Zinc, lead and cadmium tolerance, uptake and accumulation by fragmites australis*. Ann. Bot. 80, 363-370.
- ZACCHEO, P., CRIPPA, L., GIGLIOTTI, C., 2001. *Studio dell'efficienza del mais nella phytoremediation di un suolo contaminato da metalli pesanti*. Boll. Soc. It. Sci. Suolo, 50, 3, 685-692.

- ZAYED, A., GOWTHAMAN, S., TERRY, N., 1998. *Phytoaccumulation of trace elements by wetland plants: duckweed*. Environ., J., Qual., 27: 715 -721.
- ZUPAN, M., HUDNIK, V., LOBNIK, F., KADUNC, V., 1995. *Accumulation of Pb, Cd, Zn from contaminated soil to various plants and evaluation of soil remediation with indicator plant (Plantago lanceolata)* In: Contaminated Soils (R. Prost Ed.), INRA, Paris, 325-335.
- ZUPAN, M., KRALJ, T., GRČMAN, H., HUDNIK, V., LOBNIK, F., 2003. *The accumulation of Cd, Zn, Pb in Taraxacum officinale and Plantago lanceolata from contaminated soils*. Proc VII ICOBTE, Uppsala Sv.

Ministero delle Politiche Agricole, Alimentari e Forestali
Osservatorio Nazionale Pedologico e per la Qualità del Suolo Agricolo e Forestale

In collaborazione con:
International Union of Soil Sciences
Società Italiana della Scienza del Suolo
Commissione VI - Uso e Conservazione del Suolo

AA.VV., 2006. *Appendice: specifiche delle proprietà e qualità dei suoli*. In: Costantini, E.A.C. (Ed.), *Metodi di valutazione dei suoli e delle terre*, Cantagalli, Siena, pp. 912.

Collana dei metodi analitici per l'agricoltura diretta da Paolo Sequi, vol. 7

CRA - Consiglio per la Ricerca e la Sperimentazione in Agricoltura
Istituto Sperimentale per lo Studio e la Difesa del Suolo, Firenze

Appendice: specifiche delle proprietà e qualità dei suoli

Introduzione	3
Acqua disponibile (AWC).....	3
Capacità di scambio cationico (CSC)	4
COLE (Coefficiente di estensibilità lineare)	4
Conducibilità elettrica (salinità).....	4
Contenuto di azoto totale.....	5
Contenuto di calcare attivo	5
Contenuto di calcare totale.....	5
Contenuto di calcio scambiabile.....	6
Contenuto di carbonio organico.....	6
Contenuto di magnesio scambiabile.....	6
Contenuto di microelementi assimilabili (Fe, Mn, Cu, Zn).....	6
Contenuto di potassio scambiabile	7
Disponibilità d'ossigeno.....	7
Drenaggio interno, disponibilità d'ossigeno, comportamento idrologico	8
Fessurabilità	10
Pendenza	10
Permeabilità e conducibilità idraulica satura	11
Pietrosità superficiale	12
Profondità utile alle radici.....	12
Reazione (pH in acqua)	13
Rischio d'inondazione (inondabilità)	13
Rischio di deficit idrico	14
Rocciosità.....	14
Saturazione in basi	15

Scheletro	15
Scorrimento superficiale (run-off)	15
Stabilità strutturale (MWD - Mean Weigth Diameter).....	16
Tessitura.....	17
Valori assoluti e percentuali di sodio scambiabile sul complesso di scambio (ESP)	17
Valutazione del rapporto Mg/K.....	18
Bibliografia	18

Introduzione

Di seguito si riportano le specifiche delle proprietà e qualità dei suoli che sono state utilizzate nel presente manuale. Salvo altrimenti specificato, le fonti dalle quali sono state tratte sono: Gardin et al. (2002), Ministero delle Politiche Agricole e Forestali (2000), Sbaraglia e Lucci (1994), Servizio Geologico, Sismico e dei Suoli - Regione Emilia Romagna (2002), USDA (1993).

Acqua disponibile (AWC)

La capacità d'acqua disponibile (Available Water Capacity, AWC) è definita come la quantità d'acqua utilizzabile da una pianta di riferimento (girasole) trattenuta nella parte di suolo radicabile.

<i>Valutazione</i>	<i>Valori (mm)</i>
Molto bassa	< 50
Bassa	50 - 100
Moderata	101 - 150
Elevata	151 - 200
Molto elevata	> 200

Capacità di scambio cationico (CSC)

<i>Valutazione</i>	<i>Valori (meq 100g⁻¹)</i>
Molto bassa	< 5
Bassa	5 - 10
Moderatamente bassa	11 - 15
Moderatamente alta	16 - 24
Alta	25 - 50
Molto alta	> 50

COLE (Coefficiente di estensibilità lineare)

È dato dal rapporto dimensionale lineare tra campione umido alla capacità di campo e secco all'aria. Esprime la tendenza del suolo a rigonfiarsi e a contrarsi in seguito all'assorbimento e perdita di acqua dalle argille silicate.

<i>Valutazione</i>	<i>Valori (%)</i>
Basso	< 3,0
Moderato	3,0 - 5,9
Alto	6,0 - 9,0
Molto alto	> 9,0

Conducibilità elettrica (salinità)

<i>Valutazione</i>	<i>Valori (dS m⁻¹ - 1:2,5 a 25°C)</i>
Trascurabile	0 - 0,5
Moderata	0,6 - 1,0
Forte	1,1 - 2,0
Molto forte	2,1 - 4,0
Eccessiva	> 4,0

Contenuto di azoto totale

La fonte del dato è Giardini (1986).

<i>Valutazione</i>	<i>Valori (g kg⁻¹)</i>
Poveri	< 1,0
Mediamente dotati	1,0 - 1,5
Ben dotati	1,6 - 2,2
Ricchi	2,3 - 5,0
Eccessivamente dotati	> 5,0

Contenuto di calcare attivo

Esprime in maniera solo approssimativa la percentuale in peso dei carbonati finemente suddivisi e facilmente solubilizzabili. Più esattamente, corrisponde alla quota percentuale di ioni Ca^{++} che reagiscono con ossalato di ammonio (determinazione col metodo calcimetrico Drouineau-Gallet). In suoli ricchi di sali, in particolare di gesso, il metodo fornisce valori non attendibili.

<i>Valutazione</i>	<i>Valori (%)</i>
Basso	< 5
Medio e alto	5 - 10
Molto alto	> 10

Contenuto di calcare totale

<i>Valutazione</i>	<i>Valori (%)</i>
Non calcareo	< 0,5
Scarsamente calcareo	0,5 - 1,0
Debolmente calcareo	1,1 - 5,0
Moderatamente calcareo	5,1 - 10,0
Molto calcareo	10,1 - 20,0
Fortemente calcareo	20,1 - 40,0
Estremamente calcareo	> 40,0

Contenuto di calcio scambiabile

<i>Valutazione</i>	<i>Valori (meq 100g⁻¹)</i>
Molto basso	< 1,5
Basso	1,5 - 3,0
Medio	3,1 - 5,0
Alto	5,1 - 10,0
Molto alto	> 10,0

Contenuto di carbonio organico

<i>Valutazione</i>	<i>Valori (%)</i>
Molto scarso	< 0,45
Scarso	0,45 - 0,90
Medio	0,91 - 1,36
Elevato	1,37 - 1,81
Molto elevato	> 1,81

Contenuto di magnesio scambiabile

<i>Valutazione</i>	<i>Valori (meq 100g⁻¹)</i>
Molto basso	< 0,4
Basso	0,4 - 0,8
Medio	0,9 - 1,2
Alto	1,3 - 1,6
Molto alto	> 1,6

Contenuto di microelementi assimilabili (Fe, Mn, Cu, Zn)

<i>Valutazione</i>	<i>Fe (mg kg⁻¹)</i>	<i>Mn (mg kg⁻¹)</i>	<i>Cu (mg kg⁻¹)</i>	<i>Zn (mg kg⁻¹)</i>
Molto basso	< 2	< 1	< 0,2	< 0,5
Basso	2 - 5	1 - 3	0,2 - 1	0,5 - 1
Medio	6 - 20	4 - 20	2 - 10	2 - 10
Alto	21 - 50	21 - 50	11 - 20	11 - 20
Molto alto	> 50	> 50	> 20	> 20

Contenuto di potassio scambiabile

<i>Valutazione</i>	<i>Valori (meq 100g⁻¹)</i>
Molto basso	< 0,13
Basso	0,13 - 0,26
Medio	0,27 - 0,39
Alto	0,40 - 0,52
Molto alto	> 0,52

Disponibilità d'ossigeno

Si riferisce alla disponibilità di ossigeno per l'attività biologica nel suolo. Viene valutata in base alla presenza d'acqua libera, imbibizione capillare, tracce di idromorfia.

<i>Valutazione</i>	<i>Descrizione</i>
Buona	L'acqua è rimossa dal suolo prontamente, e/o non si verificano durante la stagione di crescita delle piante eccessi di umidità limitanti per il loro sviluppo.
Moderata	L'acqua è rimossa lentamente in alcuni periodi e i suoli sono bagnati solo per un breve periodo durante la stagione di crescita delle piante, ma abbastanza a lungo per interferire negativamente sulla crescita di piante mesofile.
Imperfetta	L'acqua è rimossa lentamente, ed il suolo è bagnato per periodi significativi durante la stagione di crescita delle piante; l'eccesso idrico limita notevolmente lo sviluppo delle piante mesofile.
Scarsa	L'acqua è rimossa così lentamente che il suolo è saturo periodicamente durante la stagione di crescita delle piante; l'eccesso idrico non permette la crescita della maggior parte delle piante mesofile.
Molto scarsa	L'acqua è rimossa dal suolo così lentamente da permanere in superficie durante la maggior parte del periodo di crescita delle piante.

Drenaggio interno, disponibilità d'ossigeno, comportamento idrologico

In funzione delle relazioni tra drenaggio interno e disponibilità d'ossigeno, viene riportata una descrizione del potenziale comportamento idrologico dei suoli nei confronti di alcune delle principali pratiche agronomiche.

<i>Valutazione</i>		<i>Descrizione comportamento idrologico</i>
<i>Drenaggio interno</i>	<i>Disponibilità di ossigeno</i>	
Eccessivamente drenato	Buona	Questi suoli hanno una conducibilità idraulica alta (da 10 a 100 $\mu\text{m s}^{-1}$) e molto alta ($>100 \mu\text{m s}^{-1}$) e un basso valore d'acqua utilizzabile (AWC bassa o molto bassa, $< 100 \text{ mm}$). Non sono adatti alle colture almeno che non vengano irrigati. Sono suoli privi di screziature.
Piuttosto eccessivamente drenato	Buona	Questi suoli hanno un'alta conducibilità idraulica (da 10 a 100 $\mu\text{m s}^{-1}$) ed un più alto valore d'acqua utilizzabile (AWC bassa o moderata, $> 50 \text{ mm}$, ma $< 150 \text{ mm}$). Senza irrigazione possono essere coltivate solo un ristretto numero di piante e con basse produzioni. Sono suoli privi di screziature.
Ben drenato	Buona	Questi suoli trattengono una quantità ottimale di acqua (AWC elevata o molto elevata, $> 150 \text{ mm}$), l'acqua è rimossa dal suolo prontamente, e/o non si verificano durante la stagione di crescita delle piante eccessi di umidità limitanti per il loro sviluppo. Sono suoli di solito privi di screziature nella zona radicata.
Moderatamente ben drenato	Moderata	Questi suoli sono abbastanza umidi in superficie per un periodo sufficientemente lungo da condizionare negativamente le operazioni d'impianto e raccolta delle colture mesofitiche, a meno che non venga realizzato un drenaggio artificiale. I suoli moderatamente ben drenati hanno comunemente uno strato a bassa conducibilità idraulica (da 0,1 a 0,01 $\mu\text{m s}^{-1}$) nel primo metro, un apporto d'acqua per infiltrazione o alcune combinazioni fra queste condizioni. Hanno figure d'ossidoriduzione comuni (più del 4-5%) almeno nella parte bassa della zona radicata.

<i>Valutazione</i>		<i>Descrizione comportamento idrologico</i>
<i>Drenaggio interno</i>	<i>Disponibilità di ossigeno</i>	
Piuttosto mal drenato	Imperfetta	Questi suoli sono abbastanza umidi in superficie o per un periodo sufficientemente lungo da ostacolare gravemente le operazioni d'impianto, di raccolta o di crescita delle piante, a meno che non venga realizzato un drenaggio artificiale. I suoli piuttosto mal drenati hanno comunemente uno strato a bassa conducibilità idraulica, un elevato stato d'umidità nel profilo, un apporto d'acqua per infiltrazione o una combinazione fra queste condizioni. Generalmente hanno figure d'ossidoriduzione da comuni ad abbondanti nella zona radicata; possono anche mostrare screziature da ristagno temporaneo dovute alla presenza di una suola d'aratura.
Mal drenato	Scarsa	Questi suoli sono generalmente umidi vicino o in superficie per una parte considerevole dell'anno, cosicché le colture a pieno campo non possono crescere in condizioni naturali. Le condizioni di scarso drenaggio sono dovute ad una zona satura, ad un orizzonte con bassa conducibilità idraulica, ad infiltrazione di acqua o ad una combinazione fra queste condizioni. Generalmente hanno figure d'ossidoriduzione da comuni ad abbondanti entro i primi 50 cm.
Molto mal drenato	Molto scarsa	Questi suoli sono umidi vicino o in superficie per la maggior parte del tempo. Sono abbastanza umidi da impedire la crescita d'importanti colture (ad eccezione del riso), a meno che non vengano drenati artificialmente. Generalmente hanno screziature con chroma ≤ 2 abbondanti fin dalla superficie del suolo.

Fessurabilità

Descrive la tendenza del suolo a dar luogo a fessurazioni o crepacciature in seguito al succedersi di cicli d'essiccazione-contrazione e inumidimento-espansione. I suoli che fessurano hanno elevati quantitativi di argille a reticolo espandibile.

<i>Valutazione</i>	<i>Descrizione</i>
Forte	Suoli interessati da movimenti vertici (dovuti a cicli successivi e ripetuti d'espansione e contrazione delle argille) con intensità e frequenza tali da danneggiare gravemente gli apparati radicali e i manufatti.
Media	Suoli interessati da movimenti vertici (dovuti a cicli successivi e ripetuti d'espansione e contrazione delle argille) con intensità e frequenza tali da danneggiare moderatamente gli apparati radicali e i manufatti..
Bassa	Suoli non interessati da movimenti vertici oppure interessati da movimenti vertici con intensità e frequenza tali da non interferire significativamente con le radici delle piante e gli eventuali manufatti.

Pendenza

<i>Valutazione</i>	<i>Valori (%)</i>
Superficie pianeggiante	< 0,2
Superficie subpianeggiante	0,2 - 2
Superficie a pendenza debole	3 - 5
Superficie a pendenza moderata	6 - 13
Superficie a pendenza rilevante	14 - 20
Superficie a pendenza forte	21 - 35
Superficie a pendenza molto forte	36 - 60
Superficie a pendenza scoscesa	61 - 90
Superficie a pendenza ripida	> 90

Permeabilità e conducibilità idraulica satura

S'intende per permeabilità la stima in campagna della conducibilità idrica satura, che invece viene misurata in laboratorio.

Permeabilità	Codice	Classe di conducibilità idraulica satura Ksat ($\mu\text{m/s}$)	Proprietà dell'orizzonte
Elevata	1	molto alta > 100	Classe granulometrica frammentale, cineritica o pomicea. Molti pori verticali, medi o più grandi, che si estendono attraverso lo strato.
	2	alta (100-11)	Classe granulometrica mediale pomicea, scheletrico mediale, pomicea cenerosa, scheletrico cenerosa, idro-pomicea, che sia molto friabile, friabile, soffice o sciolta. Con suolo moderatamente umido o bagnato, struttura granulare moderatamente o fortemente sviluppata, poliedrica fortemente sviluppata di ogni dimensione o prismatica più piccola della molto grossolana, senza facce di pressione o slickensides. Pori verticali comuni, medi o più grandi, che si estendono attraverso lo strato.
Media	3	moderatamente alta (10-1,1)	Struttura poliedrica o prismatica molto grossolana e nessuna faccia di pressione o slickensides. Argilla uguale o maggiore del 35%, consistenza soffice, debolmente duro, friabile o molto friabile, senza facce di pressione o slickensides. L'argilla è "subactive" dopo aver sottratto dalla CSC la quantità = 2 (C.O. 1,7).
Media	4	moderatamente bassa (1,0-0,2)	Poche facce di pressione e/o slickensides. Massivo e molto o estremamente resistente, o debolmente cementato. Moderatamente cementato.
Bassa	5	bassa (0,1-0,01)	Facce di pressione e/o slickensides molte o comuni.
	6	molto bassa (< 0,01)	Indurito o molto fortemente cementato

Pietrosità superficiale

Frammenti litoidi superiori a 75 mm di diametro, presenti sulla superficie del suolo.

<i>Valutazione</i>	<i>Valori (%)</i>
Assente	0
Molto scarsa	0,1 - 0,3
Scarsa	0,4 - 1,0
Comune	1,1 - 3,0
Frequente	3,1 - 15,0
Abbondante	15,1 - 50,0
Molto abbondante	50,1 - 90,0
Affioramento di pietre	> 90,0

Profondità utile alle radici

Indica la profondità a strati impenetrabili alle radici. Si assume come orizzonte impenetrabile quello che presenta una radicabilità del 30% o inferiore. La radicabilità è stimata in funzione della compattezza, distribuzione dimensionale dei pori, aerazione, capacità di trattenere l'umidità, condizioni chimiche.

<i>Valutazione</i>	<i>Valori (cm)</i>
Molto scarsa	< 25
Scarsa	25 - 50
Moderatamente elevata	51 - 100
Elevata	101 - 150
Molto elevata	> 150

Reazione (pH in acqua)

<i>Valutazione</i>	<i>Valori</i>
Estremamente acida	< 4,5
Fortemente acida	4,5 - 5,0
Moderatamente acida	5,1 - 6,0
Debolmente acida	6,1 - 6,5
Neutra	6,6 - 7,3
Debolmente alcalina	7,4 - 7,8
Moderatamente alcalina	7,9 - 8,4
Fortemente alcalina	8,5 - 9,0
Estremamente alcalina	> 9,0

Rischio d'inondazione (inondabilità)

Frequenza e durata

L'inondazione è la temporanea ricopertura della superficie del suolo da parte d'acqua fluitata da ogni tipo di sorgente. L'acqua poco profonda stagnante o fluitante per molto o poco tempo dopo una pioggia è esclusa da questa definizione. L'acqua ferma o che forma una copertura permanente viene esclusa da questa definizione. Le classi riportate di seguito esprimono la probabilità dell'evento nell'arco di 100 anni (si considera il tempo di ritorno sulla base di serie storiche documentate o in base alla testimonianza orale degli abitanti).

<i>Valutazione</i>	<i>Descrizione</i>
Assente	evento non prevedibile o con frequenza ed intensità irrilevante per l'uso agro-forestale
Lieve	1-5 volte 100 anni ⁻¹
Moderato	6-50 volte 100 anni ⁻¹
Alto	>50 volte 100 anni ⁻¹
Comune	le classi (2) e (3) per certi scopi possono essere raggruppate
Sconosciuto	dato non disponibile

<i>Valutazione</i>	<i>Durata</i>
Estremamente breve	< 4 h
Molto breve	4 - 48 h
Breve	2 - 7 gg
Lunga	7 gg - 1 mese
Molto lunga	> 1 mese

Rischio di deficit idrico

Si riferisce al rischio di periodi di deficit idrico nel suolo, in relazione alle caratteristiche interne e stazionali.

CLASSE	FENOMENI
Molto severo	Suoli sottili, pendenti e con esposizione meridionale e/o suoli con capacità idrica molto bassa ($AWC \leq 50$ mm)
Forte	Suoli poco profondi, pendenti e con esposizione meridionale e/o suoli con bassa capacità idrica ($50 < AWC \leq 100$ mm). Tollerato dalle specie più xerofile
Moderato	Suoli moderatamente profondi, in pendenza, o con moderata capacità idrica ($100 < AWC \leq 150$ mm). Tollerato più o meno bene da tutte le specie ma si verificano episodi di deficit idrico
Lieve	Suoli profondi con alta capacità idrica ($150 < AWC \leq 200$ mm), eventualmente con falda o falda sospesa profonda o molto profonda
Assente	Suoli molto profondi con capacità idrica molto alta ($AWC \leq 200$ mm), oppure suoli con falda o falda sospesa da poco profonda a più superficiale

Rocciosità

Rappresenta la percentuale di copertura degli affioramenti rocciosi (materiale con diametro > 500 mm), non rimuovibile con le normali lavorazioni.

<i>Valutazione</i>	<i>Valori (%)</i>
Assente	0
Scarsamente roccioso	0,1 – 2,0
Roccioso	2,1 – 10,0
Molto roccioso	10,1 – 25,0
Estremamente roccioso	25,1 – 90,0
Roccia affiorante	> 90

Saturazione in basi

<i>Valutazione</i>	<i>Valori (%)</i>
Molto bassa	< 35
Bassa	35 - 50
Media	51 - 60
Alta	61 - 75
Molto alta	> 75

Scheletro

Frammenti litoidi superiori a 2 mm di diametro, presenti nel profilo.

<i>Valutazione</i>	<i>Valori (%)</i>
Assente	0
Scarso	0,1 - 5,0
Comune	5,1 - 15,0
Frequente	15,1 - 35,0
Abbondante	35,1 - 70,0
Molto abbondante	> 70,0

Scorrimento superficiale (run-off)

Lo scorrimento superficiale (detto anche “drenaggio esterno” o “runoff”) si definisce come perdita d’acqua da un’area per scorrimento sopra la superficie del suolo.

<i>Valutazione</i>
Trascurabile
Molto basso
Basso
Medio
Alto
Molto alto

Per la determinazione della classe di scorrimento superficiale si deve definire la pendenza della stazione e la conducibilità idraulica satura dell'orizzonte più limitante nel primo metro di profondità. La concavità è definita come un'area dalla quale dell'acqua non può uscire per scorrimento.

Pendenza (%)	Conducibilità idraulica satura					
	molto alta	alta	moder. alta	moder. bassa	bassa	molto bassa
Concavità	T	T	T	T	T	T
<1	T	T	T	B	M	A
1-5	T	MB	B	M	A	MA
6-10	MB	B	M	A	MA	MA
11-20	MB	B	M	A	MA	MA
≥ 20	B	M	A	MA	MA	MA

Stabilità strutturale (MWD - Mean Weigth Diameter)

Non esiste una tabella interpretativa universalmente accettata per la valutazione agronomica della stabilità strutturale degli aggregati misurata tramite setacciatura in acqua; non esiste, infatti, allo stato attuale, una metodologia ufficiale per la misura della stabilità di struttura. Si riporta una tabella di valutazione frutto del lavoro di ricerca condotto nell'ambito del Progetto "Valutazione dell'attitudine del territorio della provincia di Siena all'olivicoltura e alla viticoltura" (Costantini et al., 2006).

<i>Valutazione</i>	<i>Valori (mm)</i>
Bassa	< 0,7
Media	0,7 - 1,4
Alta	> 1,4

Tessitura

Si riferisce alla distribuzione per classi di grandezza delle particelle elementari del suolo. Deriva da misura mediante determinazione di laboratorio e/o da stima di campo. Le proporzioni relative tra le principali frazioni granulometriche della terra fine (diametro < 2 mm) vengono descritte secondo i seguenti termini.

Termini generali	Classi fondamentali (USDA, 1993)
Grossolana	Sabbiosa
	Sabbiosa franca
Moderatamente grossolana	Franco sabbiosa
	Franco sabbiosa grossolana
	Franco sabbiosa fine
Media	Franco sabbiosa molto fine
	Franca
	Franco limosa
	Limosa
Moderatamente fine	Franco argillosa
	Franco argilloso sabbiosa
	Franco argilloso limosa
Fine	Argilloso sabbiosa
	Argilloso limosa
	Argillosa

Valori assoluti e percentuali di sodio scambiabile sul complesso di scambio (ESP)

Valutazione	Valori assoluti ($\text{meq } 100\text{g}^{-1}$)	ESP (%)
Normale	< 1,0	< 5,0
Leggermente alto	1,1 - 2,0	5,1 - 10,0
Alto	2,1 - 3,0	10,1 - 15,0
Molto alto	> 3,0	> 15,0

Valutazione del rapporto Mg/K

Valutazione	Valori (meq meq ⁻¹)
Molto basso	< 0,5
Basso	0,5 - 1,0
Leggermente basso	1,1 - 2,0
Ottimale	2,1 - 6,0
Leggermente alto	6,1 - 10,0
Alto	> 10,0

Bibliografia

- COSTANTINI, E.A.C., BARBETTI, R., BUCELLI, P., CIMATO, A., FRANCHINI, E., L'ABATE, G., PELLEGRINI, S., STORCHI, P., VIGNOZZI, N., 2006. *Zonazione viticola ed olivicola della provincia di Siena (2006)*. Grafiche Boccacci editore, Colle val d'Elsa (SI), 224.
- GARDIN, L., COSTANTINI, E.A.C., NAPOLI, R., 2002. *Guida alla descrizione dei suoli in campagna e alla descrizione delle loro qualità*. Istituto Sperimentale per lo Studio e la Difesa del Suolo e Regione Toscana, Firenze, 83. www.soilmaps.it/download/.
- GIARDINI, L., 1986. *Agronomia generale*. Patron editore, Bologna, 597.
- MINISTERO DELLE POLITICHE AGRICOLE E FORESTALI, 2000. *Metodi d'analisi chimica del suolo*. Franco Angeli, Milano.
- SBARAGLIA, M., LUCCI, E., 1994. *Guida all'interpretazione delle analisi del terreno ed alla fertilizzazione*. Studio Pedon, Pomezia (Roma), 123.
- SERVIZIO GEOLOGICO, SISMICO E DEI SUOLI - REGIONE EMILIA-ROMAGNA, 2002. *Guida alla descrizione delle Unità Tipologiche di Suolo*. Bologna, 66.
- USDA, 1993. *Soil Survey Manual*. Handbook 18, USDA, Washington D.C., 438.

INDICE DEGLI AUTORI

Serafina Andiloro

Università Mediterranea di Reggio
Calabria – Dipartimento di
Scienze e Tecnologie
Agroforestali e Ambientali

Giovanni Aramini

ARSSA Calabria – Servizio di
Agropedologia

Paolo Baldaccini

Già Università degli Studi di
Sassari

Stefano Barbieri

Università di Udine -
Dipartimento di Scienze
Agrarie e Ambientali

Devis Bartolini

CNR-IRPI - Istituto di Ricerca
per la Protezione
Idrogeologica, Firenze

Paolo Bazzoffi

CRA - Istituto Sperimentale per lo
Studio e la Difesa del Suolo,
Firenze

Elvio Bellini

Università di Firenze - Facoltà di
Agraria, Dipartimento di
Ortoflorofrutticoltura

Enrico Biancardi

CRA - Istituto Sperimentale per le
Colture Industriali, Sezione di
Rovigo

Claudio Bini

Università di Venezia -
Dipartimento di Scienze
Ambientali

Sandro Bolognesi

Azienda Agraria Sperimentale M.
Marani

Lorenzo Borselli

CNR-IRPI - Istituto di Ricerca
per la Protezione
Idrogeologica, Firenze

Gilberto Bragato

CRA - Istituto Sperimentale per la
Nutrizione delle Piante,
Gorizia

Pierluigi Bucelli

CRA - Istituto Sperimentale per lo
Studio e la Difesa del Suolo,
Firenze

Francesco Calabrese

Università di Palermo - Facoltà di
Agraria

Costanza Calzolari

CNR-IRPI - Istituto Ricerca
Protezione Idrogeologica,
Unità di Firenze - Pedologia
Applicata

Stefano Campagnolo

CRA - Istituto Sperimentale per lo
Studio e la Difesa del Suolo,
Firenze

Fabio Castelli

CRA - Istituto Sperimentale per il
Tabacco, Sezione di Bovolone
(VR)

Giancarlo Chisci

Università di Firenze

Antonio Cimato

CNR - Istituto per la
Valorizzazione del Legno e
delle Specie Arboree, Sesto
Fiorentino (FI)

Caterina Colloca

ARSSA Calabria – Servizio di
Agropedologia

Roberto Colombo

CISA M. Neri

Anna Maria Corea

ARSSA Calabria – Servizio di
Agropedologia

Edoardo A.C. Costantini

CRA - Istituto Sperimentale per lo
Studio e la Difesa del Suolo,
Firenze

Carmelo Dazzi

Università di Palermo - Facoltà di
Agraria

Giovanni Del Bosco

Università di Palermo - Facoltà di
Agraria

Elena Franchini

CNR - Istituto per la
Valorizzazione del Legno e
delle Specie Arboree, Sesto
Fiorentino (FI)

Lorenzo Gardin

Libero professionista, Firenze

Andrea Giapponesi

Regione Emilia Romagna, SSSA

Edgardo Giordani

Università di Firenze - Facoltà di
Agraria, Dipartimento di
Ortoflorofrutticoltura

Andrea Giordano

Università degli Studi di Torino -
Facoltà di Agraria,
Dipartimento di Economia e
Ingegneria Agraria Forestale e
Ambientale

Marina Guermandi

Regione Emilia Romagna -
Servizio Geologico, Sismico e
dei Suoli, Bologna

Paolo Inglese

Università degli Studi di Palermo

Luciano Lulli

Già Istituto Sperimentale per lo
Studio e la Difesa del Suolo,
Firenze

Roberto Mercurio

Università degli Studi di Reggio
Calabria - Dipartimento di
Gestione dei Sistemi Agrari e
Forestali

Fabiano Miceli

Università di Udine -
Dipartimento di Scienze
Agrarie e Ambientali

Gianfranco Minotta

Università degli Studi di Torino -
Dipartimento di
Agroselvicoltura

Daniele Morelli

Università di Firenze - Facoltà di
Agraria, Dipartimento di
Ortoflorofrutticoltura

Rosario Napoli

CRA - Istituto Sperimentale per lo
Studio e la Difesa del Suolo,
Firenze

Luca Ongaro

IAO – Istituto Agronomico per
l'Oltremare, Firenze

Roberto Oppedisano

ARSSA Calabria – Servizio di
Agropedologia

Ugo Palara

CISA M. Neri

Enrico Palchetti

Università di Firenze - Facoltà di
Agraria, Dipartimento di
Scienze Agronomiche e
Gestione del Territorio
Agroforestale

Raffaele Paone

ARSSA Calabria – Servizio di
Agropedologia

Sergio Pellegrini

CRA - Istituto Sperimentale per lo
Studio e la Difesa del Suolo,
Firenze

Mauro Piazza

IPCA - Istituto per le Piante da
Legno e l'Ambiente, Settore
Pedologia, Torino

Paola Pirazzini

CISA M. Neri

Marcello Raglione

CRA - Istituto Sperimentale per la
Difesa del Suolo, Rieti

Vanna Maria Sale

ERSAF – Dipartimento dei servizi
all'Agricoltura, Milano

Paolo Sarfatti

IAO – Istituto Agronomico per
l'Oltremare, Firenze

Giampaolo Sarno

Regione Emilia Romagna, SSSA

Riccardo Scalenghe

Università degli Studi di Palermo

Carla Scotti

I.TER - Società cooperativa,
Bologna

Piergiorgio Stevanato

CRA - Istituto Sperimentale per le
Colture Industriali, Sezione di
Rovigo

Vincenzo Tamburino

ARSSA Calabria – Servizio di
Agropedologia

Dino Torri

CNR - Istituto di Ricerca per la
Protezione Idrogeologica,
Unità di Firenze

Fabrizio Ungaro

CNR-IRPI - Istituto Ricerca
Protezione Idrogeologica,
Unità di Firenze - Pedologia
Applicata

Andrea Vacca

Università degli Studi di Cagliari

Giuseppe Vecchio

CRA - Istituto Sperimentale per lo
Studio e la Difesa del Suolo,
Catanzaro

Letizia Venuti

CNR-IRPI - Istituto Ricerca
Protezione Idrogeologica,
Unità di Firenze - Pedologia
Applicata

Santo Marcello Zimbone

ARSSA Calabria – Servizio di
Agropedologia

SOMMARIO

PRESENTAZIONE

PREMESSA

Parte I. La valutazione dei suoli e delle terre

1. La valutazione dei suoli e delle terre: storia, definizioni e concetti
Costanza Calzolari, Edoardo A.C. Costantini, Letizia Venuti

Parte II. La valutazione dei suoli e delle terre a fini specifici: applicazioni ed esempi

Valutazioni ai fini programmatori generali

2. Capacità d'uso dei suoli
Edoardo A.C. Costantini
3. Capacità protettiva dei suoli nei confronti dell'inquinamento
Costanza Calzolari, Fabrizio Ungaro
4. Attitudine dei suoli all'irrigazione
Paolo Baldaccini, Andrea Vacca
5. Valutazione dell'erosione del suolo
Paolo Bazzoffi
6. Indici di rugosità superficiale del suolo a fini modellistici
Paolo Bazzoffi, Lorenzo Borselli, Sergio Pellegrini, Dino Torri
7. Valutazione dell'erodibilità del suolo in applicazioni a scala di bacino
Lorenzo Borselli

8. Valutazione del gruppo idrologico del suolo (HSG) secondo la procedura SCS curve number

Devis Bartolini, Lorenzo Borselli

9. Valutazione delle terre per i Paesi in Via di Sviluppo

Luca Ongaro, Paolo Sarfatti

Valutazioni attitudinali per la gestione aziendale e per la programmazione a livello locale

Attitudine dei suoli alle colture erbacee: cereali

10. Frumento tenero

Giancarlo Chisci, Letizia Venuti

11. Frumento duro

Giancarlo Chisci, Letizia Venuti

12. Mais

Letizia Venuti, Giancarlo Chisci

13. Riso

Giancarlo Chisci

Attitudine dei suoli alle colture erbacee: foraggiere

14. Erba medica

Letizia Venuti, Giancarlo Chisci

15. Patata

Luciano Lulli, Enrico Palchetti, Giuseppe Vecchio

16. Tabacco

Fabio Castelli, Edoardo A.C. Costantini

17. Soia

Fabiano Miceli, Stefano Barbieri

18. Barbabietola da zucchero

Enrico Biancardi, Piergiorgio Stevanato

Attitudine dei suoli alle colture di nicchia

19. Farro

Giancarlo Chisci

20. Tartufi eduli

Gilberto Bragato, Lorenzo Gardin, Luciano Lulli, Marcello Raglione

21. Frassino da manna

Carmelo Dazzi, Giovanni Fatta Del Bosco

22. Cipolla di Tropea

Giovanni Aramini, Caterina Colloca, Anna Maria Corea, Raffaele Paone

23. Ficodindia

Paolo Inglese, Riccardo Scalenghe

24. Lenticchia

Letizia Venuti

Attitudine dei suoli alle colture arboree: colture da legno

25. Frassino maggiore

Sergio Pellegrini

26. Noce e ciliegio

Rosario Napoli, Roberto Mercurio

Attitudine dei suoli alle colture arboree: colture da frutto

27. Agrumi

Francesco Calabrese, Carmelo Dazzi

28. Vite da vino e zonazioni vitivinicole

Pierluigi Bucelli, Edoardo A.C. Costantini

29. Olivo

Elena Franchini, Antonio Cimato, Edoardo A.C. Costantini

30. Il pesco

Elvio Bellini, Edgardo Giordani, Daniele Morelli

31. Il melo

Elvio Bellini, Edgardo Giordani, Daniele Morelli

32. L'actinidia

Elvio Bellini, Edgardo Giordani, Daniele Morelli

33. Il pero

Elvio Bellini, Edgardo Giordani, Daniele Morelli

34. Il susino

Elvio Bellini, Edgardo Giordani, Daniele Morelli

35. Il ciliegio

Elvio Bellini, Edgardo Giordani, Daniele Morelli

36. L'albicocco

Elvio Bellini, Edgardo Giordani, Daniele Morelli

37. La conoscenza dei suoli applicata alla coltivazione di colture arboree

Carla Scotti

Attitudine dei suoli forestali e pastorali

38. Conifere forestali: Abete rosso, Abete bianco, Larice e Pino silvestre

Andrea Giordano

39. Attitudine dei suoli al pascolo

Paolo Baldaccini, Andrea Vacca

Attitudine dei suoli allo spandimento di reflui e valorizzazione dei suoli contaminati

40. Attitudine dei suoli allo spandimento dei reflui

Costanza Calzolari, Marina Guermandi, Giovanni Aramini, Caterina Colloca, Anna Maria Corea, Raffaele Paone, Vincenzo Tamburino, Santo Marcello Zimbone, Serafina Andiloro

41. Soil restoration: recupero e valorizzazione dei suoli contaminati

Claudio Bini

Appendice

Appendice: specifiche delle proprietà e qualità dei suoli