

A cura di Anna Benedetti e Rosa Francaviglia

Biodiversità e pedodiversità: affinità e divergenze nell'areale italiano

Atti del workshop

Giornata mondiale del Suolo

Workshop "*Biodiversità e pedodiversità: affinità e divergenze nell'areale italiano*"
Roma, 1 e 2 dicembre 2011

Evento organizzato da:



con il patrocinio di:



Edizioni **Le Penseur**

Biodiversità e pedodiversità: affinità e divergenze nell'areale italiano

Atti del workshop

A cura di Anna Benedetti e Rosa Francaviglia

In copertina: Profilo di suolo forestale con carabidi, Polonia – Foto di Anna Benedetti

© LE PENSEUR

Via Monte Calvario, 40/3 – 85050 Brienza (Potenza)

ISBN 978-88-95315-15-7

I^a Edizione Giugno 2011

Tutti i diritti riservati.

È vietata la riproduzione anche parziale e con qualsiasi strumento senza l'autorizzazione scritta dell'editore. Ogni autore è responsabile del contenuto del proprio contributo, pertanto l'editore declina ogni responsabilità in merito. L'elaborazione dei testi, anche se curata con scrupolosa attenzione, non può comportare specifiche responsabilità per involontari errori o inesattezze.

Per conoscere le nostre novità editoriali consulta il sito internet: **www.lepenseur.it**

Presentazione

La celebrazione della giornata mondiale del suolo, a differenza di quanto realizzato in passato, dove tutte le iniziative sono state intraprese per avvicinare la scienza del suolo al privato cittadino, nel 2011 è stata invece rivolta a specialisti della materia. Il convegno, infatti, ha voluto stimolare un confronto su nuove frontiere di studio circa le relazioni che legano il suolo al soprassuolo ed in particolare agli organismi viventi rappresentati dalla biodiversità animale, vegetale e microbica.

Nel 2011 è stato altresì istituito all'interno della Società Italiana della Scienza del Suolo il gruppo di lavoro Biodiversità e Pedodiversità ed il presente convegno ne sancisce l'inizio dei lavori.

Le principali domande che gli studiosi di scienza del suolo si pongono frequentemente riguardano da un lato la possibilità di avere un approccio integrato di definizione tra la pedodiversità dei suoli e la biodiversità, dall'altro quali siano le relazioni tra pedodiversità e biodiversità e come l'una influenzi l'altra.

Anna Benedetti e Rosa Francaviglia

INDICE GENERALE

Programma del workshop	9
------------------------	---

Saluto del prof. G. Alonzo	11
----------------------------	----

I – BIODIVERSITÀ DEL SUOLO E FUNZIONI ECOLOGICHE

Biodiversità ed ecoregioni italiane <i>di C. Blasi</i>	15
---	----

Diversità delle comunità microbiche e fertilità del suolo <i>di A. Benedetti e A. Florio</i>	17
---	----

II – POSSIBILITÀ APPLICATIVE

Proposta metodologica per lo studio delle relazioni tra biodiversità microbica e pedodiversità <i>di S. Marinari</i>	39
--	----

Pedodiversità in Italia <i>di E.A.C. Costantini, S. Magini, R. Barbetti, G. L'Abate, R. Lorenzetti</i>	41
---	----

Biodiversità in agricoltura. Scenari internazionali e misure nazionali <i>di M. Marino</i>	53
---	----

Il codice botanico di Augusto. Ara Pacis: parlare al popolo attraverso le immagini della natura <i>di G. Caneva</i>	59
---	----

III – CASI STUDIO A LIVELLO NAZIONALE

Atlante pedologico del Piemonte. La fertilità biologica dei suoli <i>di F. Petrella</i>	63
--	----

Prima analisi complessiva della fertilità in funzione dei suoli della Lombardia per la realizzazione della carta della fertilità del suolo nelle aree agricole	73
--	----

di S. Brenna, A. Benedetti, R. Riviuccio, A. Marchetti, R. Napoli

La fertilità e gli indicatori microbiologici del suolo in funzione della variabilità pedologica ed uso del suolo del Lazio: prima analisi comparativa dei trend della biodiversità	81
--	----

di R. Napoli, R. Riviuccio, B. Pennelli, A. Marchetti, A. Benedetti

La diversità dei suoli siciliani: quale futuro?	95
---	----

di C. Dazzi, G. Lo Papa, V. Palermo

IV – PRESENTAZIONI LIBERE

Studio integrato della diversità vegetale e pedologica in un'area protetta del Lazio	107
--	-----

di G. Dowgiallo, C. De Nicola, F. Sicuriello, A. Testi

Lo studio della banca semi del suolo per la conservazione integrata di specie rare: un caso sperimentale	115
--	-----

di G. Fabrini, R. Crosti, S. Feola, B. Piotto, A. Morgutti

Relazioni tra biomassa microbica, attività metabolica e diversità genetica della comunità batterica lungo il profilo in quattro suoli calabresi: un approccio mediante analisi statistica multivariata	123
--	-----

di A. Gelsomino, A. Azzellino e G. Vecchio

Biodiversità microbica del suolo per la valorizzazione di agrosistemi tipici della realtà italiana: caso studio del ciliegio "Durone di Vignola"	125
--	-----

di S. Mocali, L. Manici, A. Fabiani, F. Caputo, A. Florio, A. Mengoni, M. Castaldini, A. Frascella, B. Felici, G. Renzi, A. Benedetti

Caratterizzazione molecolare di comunità batteriche funzionali del suolo in sistemi gestionali da fortemente antropici a naturali	131
---	-----

di R. Pastorelli, R. Piccolo, S. Landi

Confronto tra gestione biologica e convenzionale nella <i>Vitis vinifera</i> : effetto sulla fertilità biologica e sulla biodiversità microbica in siti della Regione Lazio	137
---	-----

di G. Renzi, L. Canfora, A. Benedetti

- Fertilità nutrizionale e microbica lungo il profilo del suolo: effetti sulla
qualità tecnologica della barbabietola da zucchero 143
*di P. Stevanato, M. Colombo, M. Salmaso, C. Broccanello, F. Stellin, A. Squartini,
P. Piffanelli, M. Saccomani, G. Concheri*
- Relazioni tra biodiversità batterica, caratteristiche pedologiche e gravità
dell'attacco di *Rosellinia Necatrix* in un meleto a conduzione biologica 145
di N. Vignozzi, M. Castaldini, A. Fabiani, S. Priori, S. Simoncini, A. Agnelli, R. Piccolo

PROGRAMMA DEL WORKSHOP

1 DICEMBRE 2011

Saluti

Dott. Riccardo Aleandri

Dirigente Centrale delle Attività Scientifiche del CRA

Prof. Nicola Senesi

Presidente della Società Italiana della Scienza del Suolo (SISS)

Prof. Giuseppe Alonzo

Capo Dipartimento Mipaaf

I^a SESSIONE

Moderatore: Dott.ssa Maria Teresa Dell'Abate

Biodiversità ed ecoregioni italiane

Prof. Carlo Blasi, Direttore dell'Orto Botanico di Roma

La pedodiversità dei suoli italiani e biodiversità: esiste un approccio integrato?

Prof. Andrea Buondonno, Università di Caserta

Diversità delle comunità microbiche e fertilità del suolo

Dott.ssa Anna Benedetti, CRA-RPS Roma

II^a SESSIONE

Moderatore: Prof. Stefano Grego

Proposta metodologica allo studio delle relazioni tra biodiversità

Dott.ssa Sara Marinari, Università degli Studi della Toscana

Pedodiversità in Italia

Dott. Edoardo A.C. Costantini, CRA-ABP Firenze

Biodiversità in agricoltura. Scenari internazionali e misure nazionali

Dott. Mario Marino, FAO

Il codice botanico di Augusto. Ara Pacis: parlare al popolo attraverso le immagini della natura

Prof. ssa Giulia Caneva, Università Roma Tre Roma

2 DICEMBRE 2011

Prosecuzione Lavori

III^a SESSIONE

Moderatore: Dott. Marcello Pagliai

Atlante pedologico del Piemonte. La fertilità biologica dei suoli

Dott. Fabio Petrella, IPLA

Prima analisi complessiva della fertilità in funzione dei suoli della Lombardia per la realizzazione della carta della fertilità del suolo nelle aree agricole

Dott. Stefano Brenna, Regione Lombardia

La fertilità e gli indicatori microbiologici del suolo in funzione della variabilità pedologica ed uso del suolo del Lazio: prima analisi comparativa dei trend della biodiversità

Dott. Rosario Napoli, CRA-RPS Roma

La diversità dei suoli siciliani: quale futuro?

Prof. Carmelo Dazzi, Università di Palermo

Presentazioni libere

Discussione e conclusioni

COMITATO SCIENTIFICO

Dott.ssa Anna Benedetti, CRA-RPS
Dott.ssa Maria Teresa Dell'Abate, CRA-RPS
Dott.ssa Sara Marinari, Università della Toscana
Prof. Carmelo Dazzi, Università di Palermo
Prof. Stefano Grego, Università della Toscana
Prof. Andrea Buondonno, Università di Caserta
Dott. Edoardo A.C. Costantini, CRA-ABP

SEGRETERIA ORGANIZZATIVA

Monica Grasso, CRA-RPS
Manuela de Pace, CRA-RPS
Federica Riccioni, CRA-RPS

Saluto del Prof. Giuseppe Alonzo

Capo Dipartimento Mipaaf

Cari amici e colleghi,

è con immenso piacere che oggi mi trovo qui con voi ad aprire i lavori di questo workshop dedicato a “Biodiversità e pedodiversità: affinità e divergenze nell’areale italiano” in questa mia nuova veste di Capo Dipartimento.

Il suolo contiene dal 95 al 98% della biodiversità totale della Terra, rappresentata da tre differenti reti trofiche (micro, meso, macro).

Gli organismi che vivono nel suolo sono parte integrante e causa loro stessi dei processi evolutivi che avvengono nel suolo, ne governano la fertilità e la conservazione, consentendone anche il ripristino.

Pertanto, conservare la biodiversità del suolo (inclusa la sua parte invisibile, quella microbica) è fondamentale in quanto essa è correlata con le funzioni stesse del suolo, tra cui quelle relative alla conservazione della fertilità ed in generale della qualità e delle funzioni del suolo. Infatti i microrganismi del suolo modulano i cicli biogeochimici degli elementi nutritivi rendendoli disponibili all’assorbimento delle piante e regolano la decomposizione e le successive trasformazioni della sostanza organica.

Da ciò discendono importanti ricadute sulla stretta relazione tra pianta e suolo, incluso l’ambiente pedoclimatico nel suo complesso; promuovere la conoscenza dei meccanismi che regolano la biodiversità del suolo, il suo legame con il territorio e tutelarne la conservazione può contribuire a tutelare il mantenimento delle colture tipiche.

La Convenzione di Rio de Janeiro del 1992 ricorda esplicitamente come la diversità microbica rappresenti un elemento chiave della vita sulla terra e l’Unione Europea nel 2006 ha emanato una Strategia tematica per la protezione del suolo che contempla, tra i principali aspetti, quello di arginare i fenomeni di erosione sia per quanto riguarda la sostanza organica che la componente biologica e genetica del suolo.

La Società Italiana di Scienza del Suolo (SISS) sin dal 2003 celebra la giornata mondiale del suolo, indetta per il 5 dicembre dalla International Union of Soil Science cui la SISS aderisce, con eventi pubblici mirati a divulgare la consapevolezza sulla tematica suolo e la sua importanza a diversi livelli, sia di pubblica percezione che a livello di Istituzioni.

Nel 2010 la manifestazione è stata organizzata presso l’Università di Palermo sul tema “La percezione del suolo”, mentre nella presente edizione 2011, nuovamente a Roma per la terza volta dopo le edizioni del 2004 e del 2007, si è scelto di dedicare l’evento al tema della “Biodiversità e Pedodiversità: affinità e divergenze nell’areale italiano”, raccogliendo l’impegno della SISS a lavorare su questo tema attraverso l’istituzione, su proposta della IV Commissione SISS Fertilità del Suolo e Nutrizione delle Piante, di un gruppo di lavoro specifico “Biodiversità e Pedodiversità”, che con questo convegno sancisce l’inizio dei suoi lavori.

Mi piacerebbe trattenermi per tutta la durata del workshop, ma improrogabili impegni non me lo consentono, vi chiedo comunque di poter ricevere tutti i contributi che verranno presentati in quanto a me vicini perché sono e resto un docente di Chimica Agraria. Auguro a tutti voi buon lavoro.

Giuseppe Alonzo

Biodiversità e pedodiversità: affinità e divergenze nell'areale italiano **PARTE I**

BIODIVERSITÀ DEL SUOLO E FUNZIONI ECOLOGICHE

Biodiversità ed Ecoregioni italiane

Prof. C. Blasi

Orto Botanico di Roma

Negli ultimi decenni l'importanza della biodiversità e della funzionalità degli ecosistemi è stata più volte ufficialmente riconosciuta a livello mondiale. Nel panorama delle strategie internazionali per contrastare la perdita di biodiversità e definire modelli di sviluppo socio-economico sostenibili la “Strategia Globale per la Conservazione delle Piantе”/GSPC, promossa nell'ambito della Convenzione sulla Diversità Biologica/CBD-UNEP, rappresenta uno strumento cardine per lo sviluppo delle politiche di conservazione. Tra i nuovi obiettivi per il periodo 2011-2020 la GSPC promuove la conservazione dei diversi ambiti ecoregionali e dei tipi di vegetazione (target 4).

In Italia si sta attualmente sperimentando un approccio di classificazione ecoregionale in grado di supportare l'identificazione e caratterizzazione di unità territoriali ecologicamente omogenee (Blasi *et al.* 2010, *Le ecoregioni d'Italia. Contributo tematico alla Strategia Nazionale per la Biodiversità*, Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare). Vengono quindi brevemente illustrati i presupposti teorici e metodologici adottati per questa classificazione nonché i dati di base più aggiornati relativi a bioclimate, fisiografia e vegetazione (Blasi, 2010, *La Vegetazione d'Italia con Carta delle Serie di Vegetazione in scala 1:500,000*, Roma, Palombi Editori) che hanno portato al riconoscimento delle ecoregioni italiane a piccole e grandi scale.

Viene infine messa in evidenza l'utilità della classificazione ecoregionale come quadro di riferimento complesso e completo per declinare efficacemente le strategie di pianificazione e gestione sostenibile delle risorse naturali a diversi livelli, dal nazionale al locale, recentemente intraprese in Italia.

Diversità delle comunità microbiche e fertilità del suolo

A. Benedetti e A. Florio

Consiglio per la Ricerca e sperimentazione in Agricoltura, Centro di Ricerca per lo Studio delle Relazioni tra Pianta e Suolo, Via della Navicella 2/4 – 00184, Roma.

Riassunto

La biodiversità viene definita dalla biodiversità ecosistemica, genetica e di specie. Nel caso delle comunità microbiche del suolo è importante definire unitamente alla biodiversità genetica quella funzionale, che indica l'insieme dei processi metabolici e funzionali legati all'attività delle comunità microbiche del suolo. Inoltre la diversità funzionale, nel caso dell'ecosistema suolo, è fortemente correlata ai servizi ecosistemici che vengono assolti dal suolo, quali ad esempio il turnover della sostanza organica, gli scambi gassosi ed il sequestro del carbonio, il disinquinamento, l'impollinazione, ecc.. Nel corso degli ultimi dieci anni si sono sviluppati molti studi rivolti all'individuazione di metodologie analitiche e protocolli di monitoraggio della biodiversità del suolo (Bloem *et al.*, 2006; Lynch *et al.*, 2004) che hanno ormai reso possibile la caratterizzazione delle popolazioni microbiche del suolo sia dal punto di vista genetico che funzionale. Nonostante ciò gli studiosi di scienza del suolo che si occupano di biodiversità si pongono ancora una serie di interrogativi riguardo alla robustezza dei risultati ottenuti dall'applicazione di essi in termini di comprensione delle interrelazioni tra diversità delle comunità microbiche del suolo ed i servizi ecosistemici con esse interdipendenti. Tra i quesiti più frequenti, ai quali non è ancora possibile fornire una risposta univoca:

- (i) quanto l'ambiente pedoclimatico influenza la selezione di alcune popolazioni piuttosto di altre?
- (ii) quante al contrario sono le popolazioni microbiche a condizionare il processo pedogenetico e quindi ad indirizzarne l'evoluzione?
- (iii) quanto la copertura vegetale di un suolo ne influenza la composizione microbica e qual è il peso relativo della copertura vegetale rispetto al substrato pedologico?
- (iv) esiste una dotazione base di carica microbica di un suolo al netto di tutte le fluttuazioni naturali ed antropiche?
- (v) caratterizzata la popolazione microbica di un suolo geneticamente e pedologicamente definito è possibile estenderne caratteristiche e comportamenti funzionali a suoli geneticamente e pedologicamente simili?

Verranno portati degli esempi di studio.

Parole chiave: *biodiversità del suolo, pedodiversità, diversità delle comunità microbiche, diversità genetica e funzionale.*

Introduzione

Per *biodiversità*, o “diversità biologica”, si intende la variabilità degli organismi viventi di qualsiasi fonte, inclusi, tra l'altro, gli ecosistemi terrestri, marini e gli altri ecosistemi acquatici e i complessi ecologici dei quali fanno parte; essa comprende la diversità all'interno di ogni specie, tra le specie e degli ecosistemi (CBD, Convention on Biological Diversity, art. 2, 1992). Secondo la FAO (1999), l'agro-biodiversità “comprende la varietà e variabilità di animali, piante e microrganismi che sono importanti per il cibo e l'agricoltura e che sono il risultato delle interazioni tra l'ambiente, le risorse genetiche e i sistemi di gestione e le pratiche usate dagli uomini”. Se si passano a considerare le importanti relazioni che caratterizzano il rapporto tra biodiversità e agricoltura emergono tre aspetti principali su cui soffermarsi: 1) diversità tra le specie, intesa come numero e popolazioni di specie selvatiche (di flora e fauna) coinvolte in attività agricole e forestali, incluse le biocenosi del suolo e gli effetti delle specie invasive sull'agricoltura e sulla biodiversità; 2) diversità genetica, all'interno delle specie (biodiversità intraspecifica), relativa alla diversità dei geni tra le specie domestiche di piante e di animali ed i loro “progenitori” selvatici; 3) diversità degli ecosistemi, formati dalle popolazioni e dalle specie significative per l'agricoltura (OCSE, 1999).

Focalizzando l'attenzione sulla biodiversità del suolo, oggetto della presente nota, ed in particolare sulla diversità delle comunità microbiche, è importante definire anche la diversità funzionale, considerato che molti microrganismi possono mantenere la medesima composizione all'interno di una comunità, ma modificare alcuni processi metabolici con conseguenze a livello funzionale ed ecologico. La diversità funzionale infatti esprime le diverse funzioni metaboliche a carico della comunità microbica del suolo, rappresentate dall'insieme dei microrganismi che svolgono medesima funzione ma appartenenti a taxa diversi (Giller *et al.*, 1997). Questa visione comporta anche una correlazione degli individui alla loro funzione, associando lo studio della singola cellula con quelli genomici e proteomici del suolo.

Le diverse specie di microrganismi presenti nel suolo hanno ruoli prioritari nelle trasformazioni dell'energia e nei processi biogeochimici, intervenendo nella decomposizione del materiale organico attraverso processi biodegradativi e nel riciclo di elementi essenziali quali carbonio, fosforo, azoto ed altri; in tal modo portano a termine specifiche reazioni di ossido-riduzione che permettono agli elementi di rendersi così disponibili in forme utilizzabili soprattutto dalle piante (Alexander, 1977).

Il numero dei microrganismi presenti nel suolo e le relative biomasse variano enormemente sia all'interno di suoli differenti che in relazione alle specie vegetali e agli altri organismi presenti. La diversità dei microrganismi all'interno di un ecosistema è quindi un elemento chiave anche per il mantenimento in uno stato qualitativamente salutare del suolo agrario (Borneman *et al.*, 1996).

La Convenzione Internazionale sulla Biodiversità (CBD) descrive la biodiversità agricola come “le componenti della diversità biologica relative al cibo e all'agricoltura e tutte le componenti della diversità biologica che costituiscono gli ecosistemi agricoli, anche chiamati agroecosistemi. Le varietà e la variabilità degli animali, delle piante e dei microrganismi a livello genetico, di specie e di ecosistema, necessari a mantenere le funzioni chiave

degli agroecosistemi, la loro struttura ed i loro processi”.

La Strategia nazionale per la biodiversità (7 ottobre 2010, www.minambiente.it) pone tre obiettivi principali per la conservazione della biodiversità il primo dei quali è quello di massimizzare la salvaguardia e il recupero della biodiversità e dei servizi ecosistemici al fine di garantire il ruolo chiave per la vita sulla Terra e il benessere umano. Il secondo vuole favorire l'adattamento delle specie e degli ecosistemi naturali e semi-naturali ai cambiamenti climatici e adottare le opportune misure di mitigazione, mentre il terzo integrare la conservazione della biodiversità nelle politiche economiche e di settore.

Ai microrganismi del suolo è deputata la conservazione dei servizi ecosistemici che si svolgono nel suolo (Bunning e Jimenez, 2003). Tra i principali troviamo:

- decomposizione e ciclo della sostanza organica ad opera dei decompositori primari: batteri, funghi ed attinomiceti;
- regolazione della disponibilità degli elementi nutritivi e loro asportazione da parte delle colture, imputabile a funghi micorrizici, attinomiceti, batteri azoto fissatori, batteri e archaea ammonio-ossidanti, ecc.;
- controllo dei patogeni e difesa, tra cui possiamo ricordare quali biopesticidi i Batteri (*Bacillus thuringensis*, *Pseudomonas fluorescens*, ecc.), funghi (*Tricoderma harzianum*, *Beauveria bassiana*, ecc.);
- mantenimento della struttura del suolo e regolazione dei processi idrologici;
- scambi gassosi e sequestro del carbonio;
- disinquinamento;
- sviluppo delle piante.

È stato anche attribuito un valore economico ai diversi servizi ecosistemici garantiti dal biota suolo (Pimentel *et al.*, 1997) (Tabella 1).

Tabella 1 – Alcuni esempi di attribuzione di un valore economico ai servizi ecosistemici garantiti dal soil biota (Pimentel *et al.*, 1997).

Attività	Biodiversità del suolo coinvolta	Beneficio economico mondiale (miliardi \$/a)
Riciclo rifiuti	Batteri, funghi, attinomiceti	760
Formazione di suolo	Microrganismi, vermi, mes.	25
Azotofissazione	Organismi diazotrofici	90
Biorecupero inquinanti	Microrganismi	121
Biotecnologie	Microrganismi	6
Difesa	Microrganismi	160

Nel suolo dunque si instaurano “*fenomeni di autoregolazione interni e di equilibri con l'ambiente esterno molto delicati e governati da ferree leggi naturali. È luogo di un'incessante circolazione di flussi di energia all'interno del sistema stesso e con i sistemi circostanti, il che comporta una precisa dinamica partecipando, come fattore esso stesso, non solo alla sua intima evoluzione ma anche alla modifica di alcuni elementi ambientali quali la copertura vegetale, il microclima, l'intensità di erosione*” (Fierotti, 1988).

In dipendenza di queste molteplici azioni, reazioni e trasformazioni di energia che av-

vengono per addizione, perdita, trasformazione e traslocazione di materia, si originano differenti tipi di suolo che rappresentano dei modelli unici, ognuno dotato di una specifica configurazione evolutiva, di una propria “attività” che contribuisce a differenziarlo da ogni altro. Ne deriva una “*diversità pedologica*” o “*pedodiversità*” che presenta un legame biunivoco con le popolazioni microbiche che vivono nel suolo.

Le principali domande che gli studiosi di scienza del suolo si pongono frequentemente riguardano da un lato la possibilità di avere un approccio integrato di definizione tra pedodiversità dei suoli e biodiversità, dall’altro quali siano le relazioni causa-effetto tra pedodiversità e biodiversità e come l’una influenzi l’altra. Grazie all’esame della letteratura specifica in materia si è tentato di dare una risposta ad alcune delle principali domande, ma non sempre è comunque possibile fornirne una.

1) Quanto l’ambiente pedoclimatico influenza la selezione di alcune popolazioni microbiche piuttosto di altre?

Questo è uno degli aspetti che sino ad oggi è stato particolarmente studiato, anche se in maniera non del tutto correlata al substrato pedologico, quanto piuttosto all’ambiente climatico ed all’uso del suolo focalizzando l’attenzione maggiormente alle attività della comunità microbica piuttosto che alla caratterizzazione della biodiversità in senso stretto. I microrganismi, regolatori dei cicli biogeochimici degli elementi nutritivi per le colture e indicatori sensibili dello stato di salute del suolo, come del resto risulta prevedibile, subiscono notevoli variazioni con il mutare delle condizioni ambientali. L’andamento climatico stagionale influisce notevolmente sull’attività funzionale dei processi microbiologici attuati ad opera della comunità microbica in campo che è infatti estremamente sensibile a variazioni dell’ambiente pedoclimatico. L’attività e la dinamica delle popolazioni di microrganismi del suolo possono essere influenzate da diversi fattori ecologici, quali le fonti di carbonio ed energia, il contenuto in nutrienti, i fattori di crescita, la disponibilità idrica, la temperatura, la pressione, la composizione atmosferica, le radiazioni elettromagnetiche, il pH, il potenziale ossidoriduttivo, la genetica dei microrganismi e le interazioni tra i microrganismi (Nannipieri *et al.*, 2003), la copertura vegetale (Rutigliano *et al.*, 2004). Tali fattori ecologici possono variare notevolmente nel tempo e nello spazio, ed è per questo che i microhabitat del suolo sono sistemi dinamici e che l’attività biologica non è uniformemente distribuita nel suolo.

Un importante fattore di regolazione della comunità microbica è rappresentato dal contenuto idrico del suolo che è determinato sia dal clima che dalla tessitura del suolo e dal contenuto di sostanza organica. L’acqua, con le sostanze minerali, organiche ed i gas in essa contenuti, costituisce un mezzo nutritivo liquido per i microrganismi. Le cellule microbiche sono uccise per disseccamento, soltanto le forme più resistenti sopravvivono a lunghi periodi di siccità (Florenzano, 1983).

La temperatura del suolo agisce sull’attività metabolica della microflora, in quanto le attività microbiche, come quelle di altri organismi picilotermi, aumentano con l’aumentare della temperatura, sebbene temperature troppo elevate possano diventare limitanti. Per

la grande maggioranza dei microrganismi del suolo l'intervallo ottimale di temperatura è compreso tra i 25 ed i 37 °C (Florenzano, 1983). Le basse temperature determinano una riduzione dell'attività dei microrganismi, ma non ne influenzano la sopravvivenza. Gli estremi di temperatura ai quali sono soggetti i microrganismi del suolo dipendono dalla loro posizione lungo il profilo del suolo e dalle condizioni climatiche dell'area considerata. La microflora che cresce in superficie può essere soggetta a notevoli cambiamenti di temperatura durante l'anno. Nelle aree mediterranee i microrganismi sono maggiormente resistenti a temperature medie più elevate rispetto ai climi continentali, per cui l'umidità e la temperatura ottimali per l'attività della biomassa microbica sono diverse nei differenti ambienti climatici, presentando range più ampi in condizioni di maggiore variabilità stagionale (Benedetti *et al.*, 1992; Rossi *et al.*, 1992).

Anche il pH influenza notevolmente la microflora edafica. La maggior parte delle specie batteriche conosciute cresce a valori di pH compresi tra 4 e 9. In generale i batteri e gli attinomiceti del suolo tollerano meno le condizioni acide rispetto ai funghi. Il pH critico per la maggior parte dei batteri e degli attinomiceti è intorno a 5, al di sotto del quale molti cessano di crescere.

I microrganismi tellurici reagiscono in modo differente ai cambiamenti di concentrazione dei gas nell'atmosfera del suolo. Alcuni batteri (*Clostridium tetani*, *C. pasteurianum*, *C. botulinum*...) sono strettamente anaerobi e non possono crescere in presenza di O₂, mentre altri (*Arthrobacter* sp.pl., *Pseudomonas fluorescens* e la maggior parte degli attinomiceti) sono strettamente aerobi, mentre altri ancora (microaerofili) crescono meglio a basse tensioni di O₂. I funghi sono aerobi stretti e, come in altri gruppi microbici, le relazioni tra crescita e disponibilità di ossigeno variano nelle diverse specie.

La concentrazione di CO₂ nell'atmosfera del suolo è un altro importante fattore ecologico, in quanto può influenzare il pH del microhabitat, fornire carbonio ai microrganismi autotrofi ed esercitare un effetto inibitore differenziale sulla microflora eterotrofa.

La diversità microbica diminuisce con la profondità lungo il profilo del suolo, così come le radici delle piante e la sostanza organica (Paul e Clark, 1996). Fattori quali le coltivazioni, il microclima, la copertura vegetale influenzano la distribuzione dei microrganismi lungo il profilo del suolo. In uno studio condotto da Horwath (1993) nel suolo di una piantagione di pioppi di due anni di età, i valori di carbonio della biomassa fungina in superficie e nello strato sottostante erano pari a 73 e 25 µg C g⁻¹, rispettivamente, e valori di biomassa batterica di 26 e 4 µg C g⁻¹, rispettivamente, con un rapporto tra biomassa fungina e batterica pari a 3 in superficie e 6 nello strato sottostante.

Molti studi hanno evidenziato l'effetto della tessitura e della struttura del suolo e dell'isolamento spaziale sulla diversità e la struttura delle comunità microbiche (Nannipieri *et al.*, 2003). Le dimensioni delle particelle del suolo hanno una grande influenza sulla struttura e sulla distribuzione delle comunità microbiche, per certi aspetti anche maggiore di tutti gli altri fattori. In uno studio condotto da Sessitsch *et al.* (2001), nelle frazioni granulometriche di minori dimensioni la diversità microbica era maggiore che nelle frazioni di maggiori dimensioni e le comunità presentavano una elevata specificità per diverse classi granulometriche. Ranjard e Richaume (2001) hanno analizzato la distribuzione spaziale dei batteri a livello di microhabitat ed hanno dimostrato che l'80% dei batteri era localizzato nei micro-

pori di aggregati stabili, del diametro di 2-20 μm , dove trovavano condizioni favorevoli di disponibilità idrica e di substrati, di diffusione di gas e protezione dai predatori.

L'attività microbica del terreno è profondamente influenzata dalla presenza e/o dall'assenza di argille, in quanto queste hanno un ruolo importante nella formazione e nella stabilizzazione degli aggregati, sono capaci di trattenere al loro interno una quantità di acqua sufficiente alla vita dei microrganismi e di adsorbire cationi in virtù delle cariche negative superficiali pertanto influenzano notevolmente i processi microbici e biochimici che avvengono nel suolo. Alcuni minerali argillosi presenti nel suolo influenzano in modo particolare l'attività della microflora tellurica. La montmorillonite, quando è presente in basse concentrazioni, riduce il tasso di respirazione fungina in vitro, mentre stimola le attività batteriche sia a basse che ad elevate concentrazioni (Lavelle e Spain, 2001). Questo minerale ha una considerevole capacità di scambio cationico e può tamponare il pH dei sistemi mediante la sostituzione degli ioni idrogeno, prodotti dal metabolismo microbico, con i cationi fondamentali del suo complesso di scambio. Così potrebbe aiutare a mantenere un pH favorevole alle attività batteriche. L'effetto inibitore sui funghi è attribuito all'alta viscosità della montmorillonite che impedisce la diffusione dell'ossigeno.

Anche la qualità dell'humus agisce sulle caratteristiche della microflora edafica (Ponge, 2003). L'humus di tipo *mor* presenta generalmente livelli estremamente bassi di biomassa, attività e diversità della microflora (Davis, 1981); il processo di formazione del complesso umico è lento, ma ancora più lenta è la sua decomposizione, per cui si ha accumulo più o meno rilevante di materia organica pre-umica. L'humus di tipo *mull* presenta livelli molto alti di attività, biomassa e diversità della microflora, soprattutto per quanto riguarda i batteri, essendo questo tipo di humus molto ricco in particelle minerali, cui i batteri possono aderire. L'humus di tipo *moder* presenta caratteristiche intermedie tra il *mull* e il *mor* ed è tipico di suoli forestali che si trovano in una fase iniziale di degradazione, come per esempio terre brune podzolizzate su pendii formati da rocce cristalline. A causa dell'elevato grado di acidità, la microflora tipica di questo humus è caratterizzata in prevalenza da funghi, che acidificano ulteriormente il suolo e producono antibiotici che contribuiscono a ridurre le popolazioni batteriche.

2) Quanto le popolazioni microbiche condizionano il processo pedogenetico e quindi indirizzano l'evoluzione pedogenetica di un suolo?

La letteratura su questo argomento è piuttosto rara. Studi recenti sul processo di pedogenesi legati al fattore microbico se ne trovano pochi e soprattutto questa domanda non costituisce mai il tema principale della ricerca. Inoltre sono sempre rivolti ai processi piuttosto che alle comunità vere e proprie quindi sono più indirizzati ad uno studio, semmai, mirato alla diversità funzionale piuttosto che ad una diversità genetica e quindi alla definizione di diversità in senso stretto.

La microbiologia del suolo si fonda sul principio ecologico di Winogradsky (1924) secondo il quale l'ambiente seleziona ed orienta le attività microbiche; tuttavia, anche le popolazioni microbiche possono influenzare il processo di formazione del suolo. Tra le numerose funzioni a carico dei microrganismi del suolo c'è il processo di alterazione delle

rocce, ovvero il processo di rottura e disgregazione di rocce e sedimenti in prossimità della superficie della crosta terrestre mediato da agenti fisici, chimici, e/o biologici. Il ruolo dei microrganismi è alla base di ogni dinamismo pedogenetico, sia nella fase iniziale di disgregazione delle rocce, sia nell'apporto di quella componente organica che è basilare per l'esistenza stessa del suolo. La formazione del suolo è il risultato di interazioni complesse tra le componenti biotiche, minerali ed organiche del suolo. La crescita dei primi organismi colonizzatori quali i licheni e gli altri organismi fotoautotrofi porta alla fissazione dell'anidride carbonica e alla formazione di sostanza organica che viene utilizzata dagli altri organismi quale fonte di energia. Con il tempo, la quantità di sostanza organica aumenta in risposta alla fissazione del carbonio mediante la fotosintesi, permettendo la crescita e lo sviluppo di altri organismi come le piante superiori che contribuiscono al processo di formazione del suolo mediante rottura delle rocce ad opera delle radici ed incremento della superficie delle rocce esposte all'erosione.

L'alterazione biologica è sempre stata considerata come un processo "indiretto", ma nelle ultime decadi diversi studi scientifici hanno dimostrato un ruolo "diretto" dei microrganismi nella dissoluzione delle rocce e nella neoformazione di minerali nel suolo. Batteri, funghi e licheni contribuiscono al fenomeno attraverso una gran varietà di meccanismi che portano alla formazione o alla liberazione di minerali dalle rocce che vengono resi biodisponibili per la nutrizione delle piante. I meccanismi dimostrati coinvolgono spesso reazioni redox o la produzione di acidi organici e chelati da parte di funghi e batteri. I funghi sono più mobili dei batteri ed hanno sviluppato ulteriori meccanismi di bioerosione. I funghi e i licheni crostosi endolitici tra cui *Verrucaria biacens* hanno la capacità di penetrare nella roccia con ife e gonidi portando il tallo anche oltre 1 cm di profondità nella massa litoide. Non è necessario che quest'ultima sia fessurata, in quanto i licheni possono fissare nei loro tessuti i minerali solubilizzati dalla roccia o estrarre ioni metallici quali Ca e Mg e renderli biodisponibili anche aggredendo rocce perfettamente levigate. Questo fenomeno è stato osservato diffusamente su feldspati in orizzonti E di suoli Podzol, largamente diffusi in Europa Settentrionale, e costituisce sicuramente uno dei più rilevanti servizi ecosistemici fornito dai funghi (European Atlas of Soil Biodiversity, 2010).

Questi minerali possono inoltre diffondere attraverso l'ecosistema ed avere un effetto positivo sulla fertilità di altre tipologie di suolo rispetto ai suoli Podzol da cui i minerali sono stati inizialmente rilasciati. Si ipotizza che il meccanismo di azione coinvolga la dissoluzione dei minerali ad opera di anioni escreti alle estremità delle ife micorriziche. La pressione osmotica prodotta dagli appressori fungini può arrivare sino a $10\text{--}20\ \mu\text{N}/\mu\text{m}^2$, sufficiente da penetrare materiale inerte antiproiettile! Durante la loro crescita le ife possono scavare tunnel all'interno del materiale solido, oppure svilupparsi sulla superficie stessa del materiale.

La formazione secondaria di minerali è stata inoltre osservata in funghi liberi e simbiotici: licheni e funghi micorrizici sono in grado di formare ossalati metallici e carbonati, così come è stata osservata la formazione di ossidi ed idrossidi di ferro e minerali argillosi ad opera di licheni e funghi ectomicorrizici. Il materiale cristallino si enuclea e si deposita sia al di sopra che all'interno delle pareti cellulari. L'ossalato di calcio è uno dei più comuni ossalati presenti nel suolo e nella lettiera e la sua formazione ad opera dei funghi costituisce una importante riserva di calcio ed influenza la disponibilità di fosfato. Questo conferma

ulteriormente che il soil biota ha un ruolo centrale nella regolazione della disponibilità dei nutrienti, e di conseguenza nell'evoluzione del processo pedogenetico. Tuttavia c'è tanto ancora da scoprire a proposito del ruolo del soil biota nel processo di dissoluzione delle rocce e della sua relativa importanza rispetto all'erosione chimica e fisica di molti minerali.

Lo studio dell'influenza della composizione della lettiera sulla pedogenesi in ecosistemi forestali assume particolare rilievo nella valutazione dell'impatto sul suolo di diverse pratiche di riforestazione. Le trasformazioni chimiche e biochimiche della sostanza organica negli ecosistemi forestali, mediate dalle piante, dalla mesofauna e dai microrganismi del suolo, avvengono secondo complesse dinamiche dettate, oltre che dai fattori climatici, vegetazionali e pedologici, anche dai meccanismi intrinseci delle successioni naturali. Dove il suolo ospita comunità vegetali di origine antropica, l'interazione tra fattori fisici, chimici e biotici a livello della pedosfera può comportare fenomeni evolutivi nella struttura dell'ecosistema che, nell'ottica di una gestione sostenibile dell'ambiente, richiedono una conoscenza approfondita. Lo studio delle attività microbiologiche e dei processi di mineralizzazione della sostanza organica appare pertanto utile nello stabilire in quale misura l'apporto di sostanza organica proveniente da essenze vegetali diverse possa modificare le caratteristiche chimiche e biochimiche del suolo sino ad influenzarne la pedogenesi. Pinzari *et al.* (2001) hanno evidenziato le differenze esistenti nelle condizioni di formazione dei suoli in relazione alla biochimica della lettiera ed alle situazioni microambientali instaurate dalle essenze forestali Pino d'Aleppo e Cedro dell'Atlante.

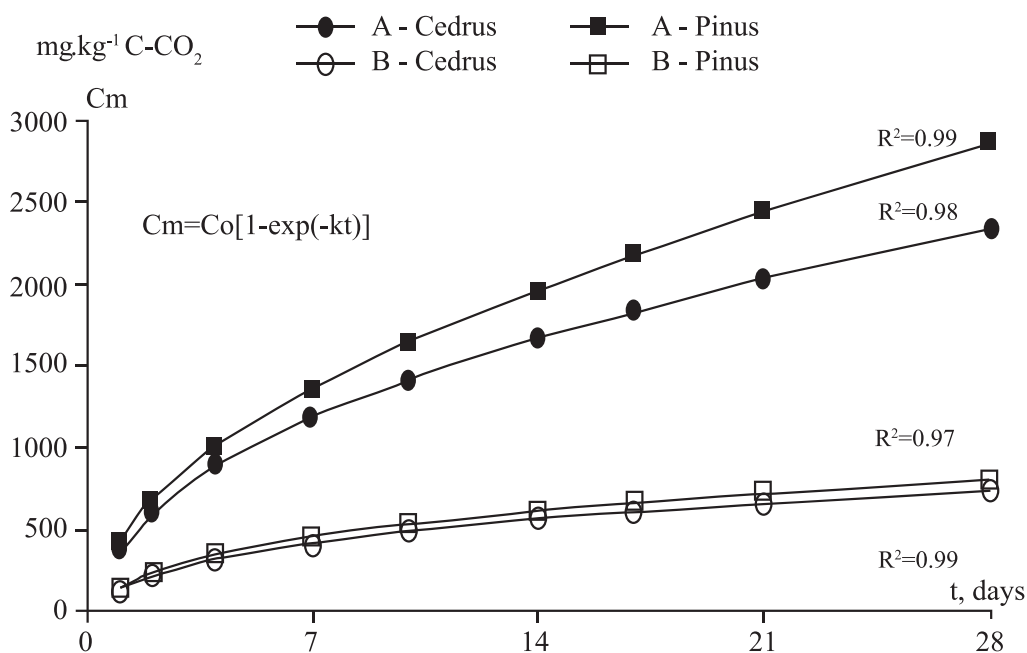


Figura 1 – Mineralizzazione del C organico durante 28 giorni di incubazione (Pinzari *et al.*, 2001).

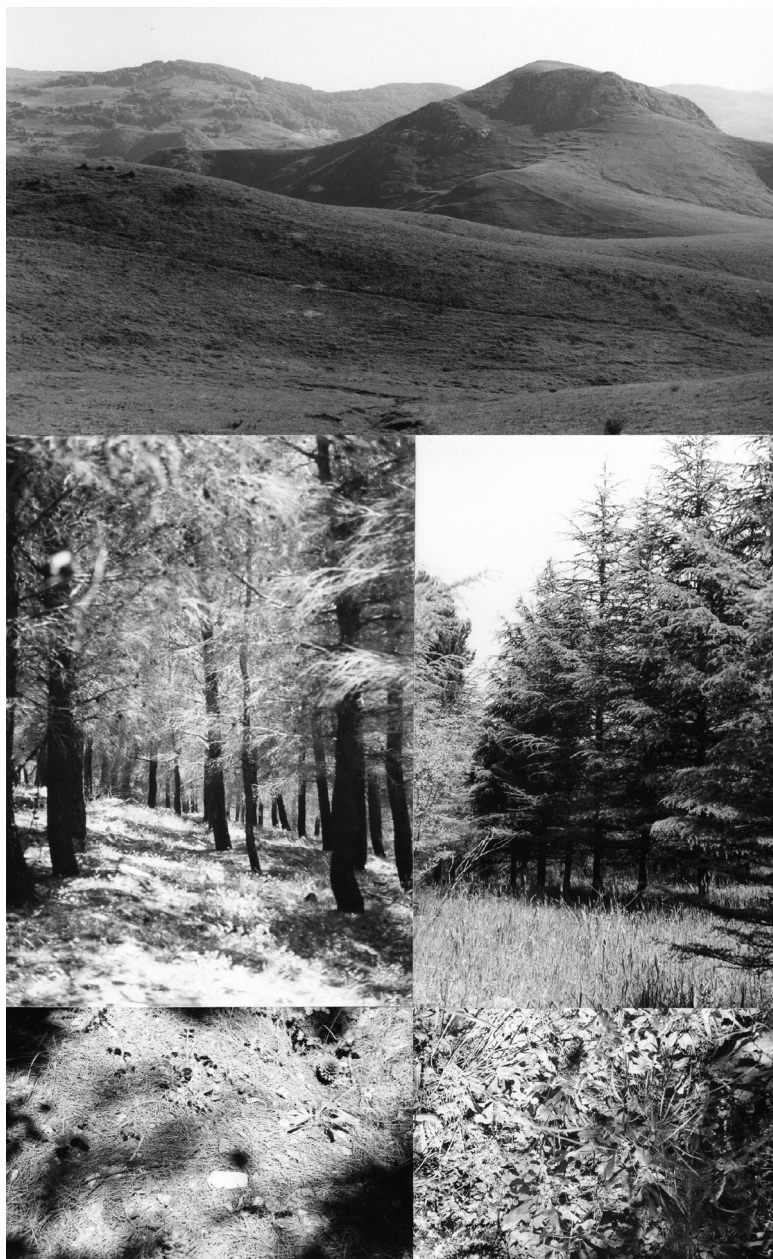


Figura 2 – Immagini relative allo studio condotto da Pinzari *et al.* (2001).

Dall'analisi chimica e biochimica della sostanza organica e dell'attività microbica dei due profili di suolo studiati emergono differenze nel tipo di evoluzione delle forme umificate e nella velocità di tali processi; l'indagine in pieno campo (Dazzi *et al.*, 1996) aveva messo in evidenza differenze significative nel processo della forma di humus sviluppatosi sotto il Pino d'Aleppo rispetto a quello sviluppatosi sotto il Cedro d'Atlante.

3) La copertura vegetale di un suolo influenza la composizione della comunità microbica e qual è il peso relativo della copertura vegetale rispetto al substrato pedologico?

Questo quesito nasce spontaneo nel momento in cui si affronta la caratterizzazione della biodiversità di un suolo specie se forestale, oppure a coltivazione arborea o comunque a coltura perenne. Esiste una biodiversità di un suolo, oppure la biodiversità è funzione dell'espressione dell'intero ecosistema e quindi è inscindibile dalla vegetazione che si sviluppa sul suolo stesso?

Le funzioni biologiche di un suolo, garantite soprattutto dall'attività delle comunità microbiche, sono influenzate dall'interazione tra la copertura vegetale (morfologia della chioma, quantità e qualità della lettiera, apparato radicale e rizodeposizioni) e il tipo di suolo.

Negli ecosistemi ed in particolare in quelli forestali, i rapporti evolutivi che si instaurano nel tempo fra suolo e vegetazione divengono così stretti da sfociare in una interdipendenza quasi assoluta che può essere osservata sia in termini di comunità vegetale che di pedofauna e di comunità microbiche (Buol *et al.*, 1989; Fanning e Fanning, 1989; Ugolini e Spaltenstein, 1992).

La letteratura sulle simbiosi e sul mutualismo microbico è fiorentissima, meno invece si è studiato in termini più generali tra correlazione della diversità delle comunità microbiche legate ad una determinata specie vegetale. La copertura vegetale ha una enorme influenza sulla biodiversità del suolo, fondamentalmente perché rappresenta uno dei fattori che influenza maggiormente le comunità edafiche. La diversità della comunità vegetale può influenzare la comunità microbica del suolo in vari modi. In particolare, l'eterogeneità della copertura vegetale e la lettiera determinano la qualità, la quantità e la distribuzione temporale e spaziale delle risorse trofiche per i decompositori; inoltre, la copertura influenza anche la temperatura e l'umidità dello strato superficiale di suolo, dove l'attività biologica è maggiormente attiva. I composti solubili provenienti dai residui vegetali, quali acidi organici, zuccheri e amminoacidi, oltre ad essere fonti nutritive per i microrganismi, favoriscono la formazione di complessi cationici e di chelati, contribuendo dunque a modificare il regime termico ed idrico del suolo.

Un'elevata diversità vegetale può comportare inoltre la presenza di una lettiera ampiamente diversificata, che a sua volta determina una maggiore diversità di decompositori e detritivori (Hansen, 2000), così come quella fungina (Widden, 1986). La presenza simultanea sul suolo di lettieri diverse comporta infatti una maggiore varietà di risorse nutritive biodisponibili ed una maggiore complessità di habitat, che si riflette in una più ampia diversità delle comunità microbiche (Bardgett, 2002).

L'elevata biodiversità vegetale può inoltre favorire l'incremento della produttività primaria netta NPP, (Schmid *et al.*, 2002), che a sua volta può determinare un aumento dell'input di carbonio al suolo, sia accelerando il turnover della biomassa vegetale che incrementando l'essudazione radicale, e può in tal modo influenzare le comunità edafiche, che sono limitate dalle risorse di carbonio (Zac *et al.*, 2003).

L'abbondanza, l'attività e la composizione delle comunità di decompositori potrebbe variare notevolmente in funzione non solo delle differenti specie vegetali, ma anche di specifici gruppi funzionali vegetali; i legumi, ad esempio, possono influenzare positivamente la

biomassa microbica, migliorando la qualità della lettiera, cioè producendo lettiere con un basso rapporto C/N (Spehn *et al.*, 2000).

La presenza delle piante, oltre a fornire sostanza organica al suolo, è cruciale per la formazione della rizosfera. La maggiore complessità ed attività metabolica del sistema radicale (Foster, 1988) condiziona le caratteristiche della microflora del suolo circostante. Il numero di batteri aumenta notevolmente man mano che ci si avvicina alla rizosfera. La rizosfera ospita una grande varietà di specie batteriche, con prevalenza di batteri Gram negativi (*Pseudomonas*, *Acinetobacter*) e denitrificanti, rispetto a batteri Gram positivi. Inoltre le diverse specie vegetali possono regolare lo sviluppo di rizobatteri tramite il rilascio di specifici zuccheri ed amminoacidi nella zona radicale (Kowalchuck *et al.*, 2002). Quindi una più elevata diversità vegetale può produrre una maggiore diversità biochimica di essudati radicali e quindi selezionare per comunità microbiche più diversificate (Lavelle *et al.*, 1995).

Pignataro *et al.* (2011) hanno indagato l'influenza del diverso substrato pedologico (Andosuolo, Entisuolo, Inceptisuolo) nei confronti della composizione e delle attività della comunità microbica del suolo, confrontando tre sistemi caratterizzati da una medesima copertura (*Quercus cerris* spp.) e condizioni topografiche simili (altitudine, piovosità, esposizione). Anche se sono stati analizzati sistemi molto simili in termini di copertura e condizioni topografiche, gli specifici processi pedogenetici hanno fortemente influenzato le caratteristiche funzionali delle comunità microbiche di tali suoli.

Tabella 2 – Parametri ecofisiologici determinati mediante CLPP-Biolog (Pignataro *et al.*, 2011).

	Monte Peglia	Monte Rufeno	Lago di Vico
K	1.183 ^a ±0.200	1.436 ^a ±0.13	1.335 ^a ±0.06
r	0.0271 ^a ±0.003	0.042 ^b ±0.003	0.052 ^b ±0.002
r	114.57 ^a ±46.85	82.46 ^b ±16.62	80.74 ^b ±5.79
Area	93.11 ^a ±13.90	162.32 ^b ±14.00	153.03 ^b ±6.25
CH-to-AA ratio	1.119 ^b ±0.61	4.282 ^a ±1.84	1.60 ^b ±0.46

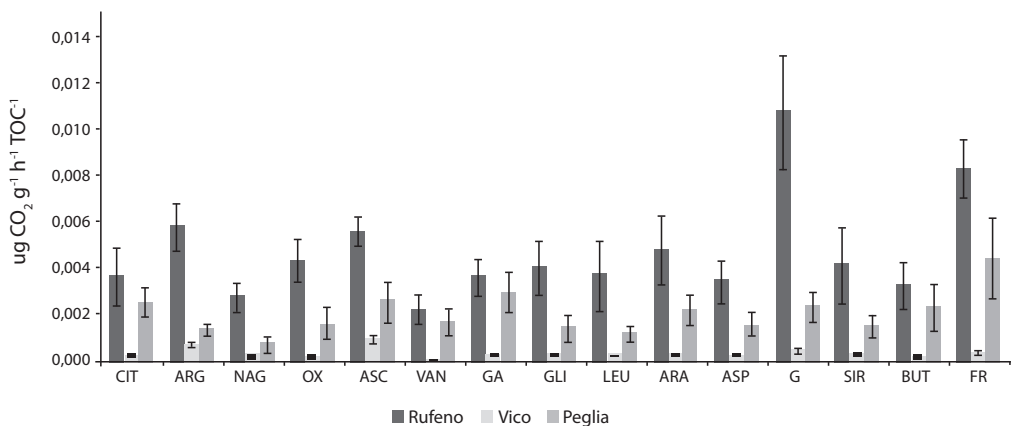


Figura 3 – Attività ecofisiologiche determinate mediante CLPP-Microresp (Pignataro *et al.*, 2011).

4) Esiste una dotazione base di carica microbica di un suolo al netto di tutte le fluttuazioni legate a pressioni naturali ed antropiche?

Il suolo è un habitat estremamente eterogeneo in cui fasi diverse (minerale, organica, gassosa, liquida) interagiscono a formare microambienti che differiscono enormemente fra loro, pur distando pochi millimetri. Se a questo si aggiunge la rapidità con cui i parametri micro-ambientali possono variare appare chiaro come le popolazioni microbiche del suolo costituiscano delle comunità necessariamente plastiche, in grado cioè di fluttuare in funzione dell'ambiente. La formazione di spore resistenti o l'attuazione di strategie mirate a sfruttare situazioni puntuali offerte dallo specifico microambiente (per esempio strategie r/K , competizioni, simbiosi, capacità di attivare vie metaboliche alternative, ecc.) fanno delle comunità microbiche del suolo un sistema in continua evoluzione. Ne deriva che è estremamente difficile utilizzare i valori forniti dai parametri microbiologici poiché i microrganismi del suolo reagiscono molto rapidamente anche a variazioni stagionali e si adattano alle diverse necessità ambientali e perciò diventa problematico distinguere fluttuazioni naturali da alterazioni causate da attività antropiche.

Benedetti *et al.* (1992) hanno confrontato fra loro diverse modalità di campionamento in diversi periodi stagionali che prevedono e non l'essiccazione all'aria del campione di suolo, e la loro influenza sulla misura della respirazione e delle attività enzimatiche del suolo. Le curve respirometriche (Figura 4; Tabella 3) mettono ben in evidenza la presenza di una carica microbica "basale" al netto di fluttuazioni esterne dovute all'andamento stagionale così come alla diversa esposizione del suolo, alle precipitazioni, ai venti nonché alla differente gestione agronomica (concimazioni, lavorazioni, coltura, ecc...) (Tombesi *et al.*, 1987).

Tabella 3 – Confronto tra i valori di CO_2 ottenuti analizzando il terreno sia fresco che essiccato all'aria (Benedetti *et al.*, 1992).

Terreno Celimontana (B)						Terreno Tor Mancina (C)					
mese	dati climatici		terreno fresco		terreno secco	mese	dati climatici		terreno fresco		terreno secco
	T °C	% CC	tal quale	100% CC	100% CC		T °C	% CC	tal quale	100% CC	100% CC
luglio	26	43	250	596	568	luglio	21	44	81	423	399
ottobre	16	88	442	421	530	ottobre	12	96	269	255	369
gennaio	7	75	388	480	581	gennaio	3	85	231	266	332
aprile	20	79	655	628	555	aprile	22	92	395	430	350
media			434	531	588	media			244	343	362
C.V. %			39	18	4	C.V. %			53	28	8

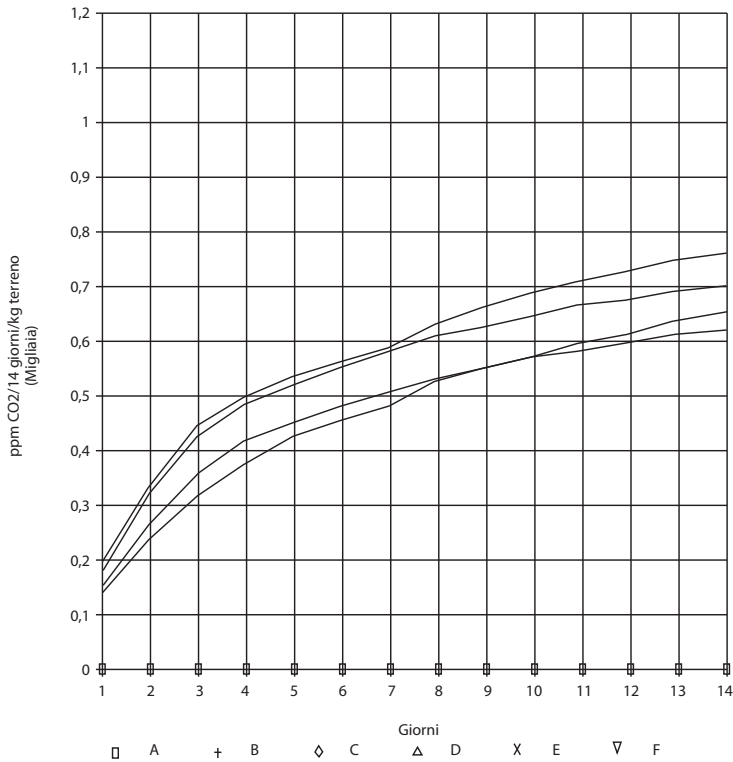


Figura 4 – Curve respirometriche cumulative riferite ai prelievi di diverse stagioni (A-F) (Benedetti *et al.*, 1992).

Secondo Loreau *et al.* (2001) un numero minimo di specie è essenziale per il funzionamento di un ecosistema in condizioni di equilibrio, mentre un maggior numero di specie è probabilmente necessario per il mantenimento di processi stabili in ecosistemi in continuo mutamento. Il ruolo ecologico della diversità tassonomica è dunque quello di assicurare che, in presenza di perturbazioni, vi siano comunque delle specie in grado di svolgere determinate funzioni. Infatti, maggiore è il grado di biodiversità intra o interspecifica o funzionale di un ecosistema, maggiori saranno la sua tolleranza alle perturbazioni e la sua resilienza (Giller *et al.*, 1997), poiché vi saranno più probabilità che vi siano genotipi o specie che possano svolgere le funzioni di quelli scomparsi. Diversi studi hanno messo in evidenza che esiste una ridondanza funzionale tra gli organismi (Andren e Balandreau, 1999; Bardgett e Shine, 1999). Tuttavia Beare *et al.* (1995) sostengono che, anche se una singola funzione può essere svolta da molte specie, organismi funzionalmente simili spesso occupano nicchie ecologiche differenti e quindi il loro ruolo nell'ecosistema non è sovrapponibile. Questi autori sostengono inoltre che la stabilità di un ecosistema non dipende tanto dalla sua ridondanza funzionale quanto dalla ricchezza di interazioni biotiche tra gli organismi e dall'importanza che queste hanno nella regolazione dei processi biogeochimici.

Intorno agli anni '50 si è sviluppata la teoria secondo la quale i concetti di diversità biologica e stabilità ecosistemica sono direttamente relazionati per cui la fluttuazione delle popo-

lazioni fornisce una misura della stabilità dell'ecosistema. MacArthur (1955) ha ipotizzato che la stabilità di una comunità microbica dipende sempre dalle reti trofiche del sistema piuttosto che da fenomeni di autoregolazione da parte di certe specie. Secondo questa ipotesi in un ecosistema dotato di numerose vie metaboliche ed energetiche l'alterazione di una specie determina un effetto minore sulle altre specie presenti di quanto potrebbe causare la medesima alterazione a carico di una specie di un ecosistema dotato di una scarsa rete energetica. Tuttavia ancora oggi, a distanza di cinquant'anni, ancora non si dispone di evidenze sperimentali a riguardo.

Sulla base del modello proposto da MacArthur sono nate numerose teorie ecologiche per spiegare la relazione tra la biodiversità e la stabilità o la produttività di un suolo (Lynch *et al.*, 2004). Una di queste è la "ipotesi dell'eterogeneità delle risorse" (Resource heterogeneity hypothesis – RHH) proposta da Tilman (1982): essa parte dal presupposto che un suolo uniformemente arido avrà una bassa biodiversità. All'aumentare della fertilità del suolo, aumenteranno anche la distribuzione e la diversità delle risorse nutrizionali determinando, di conseguenza, un incremento della biodiversità e della produttività. Ad un certo punto però la tendenza si inverte e ad una elevata fertilità del suolo corrisponde un abbattimento della eterogeneità delle risorse e quindi della biodiversità. Questo fenomeno è dovuto al fatto che, all'aumentare della fertilità, il suolo si avvicina sempre di più ad un plateau di nutrienti che saranno uniformemente distribuiti su tutto il suolo, selezionando così quei microrganismi che meglio si adattano a quelle condizioni.

Alla luce di quanto detto finora, molti autori ritengono quasi più importante la distribuzione della biodiversità nel suolo piuttosto che una sua semplice "misura" (Curtis e Sloan, 2005). Ad esempio Gans e collaboratori (2005) ritengono che sia più utile avere una mappa "grezza" della diversità microbica totale del suolo anziché una descrizione dettagliata di una piccola parte di essa, allo stesso modo in cui un esploratore troverebbe più utile una mappa di una regione, anche se semplice ed approssimativa, piuttosto che la descrizione dettagliata di un picco. Hanno perciò applicato dei modelli matematici di distribuzione come, ad esempio, la "Zipf distribution" o la "log-Laplace distribution", per simulare la distribuzione dell'abbondanza dei taxa e dei batteri che vi fanno parte (Figura 5). Secondo questi modelli la diversità batterica del suolo, ovvero il numero delle specie (taxa) presenti, diminuisce esponenzialmente all'aumentare dell'abbondanza batterica e viceversa. I batteri cioè che riusciamo ad osservare e a misurare sono quelli numericamente più rappresentati nel suolo ("Terra Frequentata") e suddivisi in pochi taxa mentre gran parte della diversità microbica del suolo è determinata da tutti quei microrganismi quantitativamente meno rappresentati e suddivisi in molti taxa che non riusciamo ad individuare ("Terra Incognita") (Figura 5).

L'abbondanza relativa dei taxa (log abundance) può essere descritta mediante modelli per la distribuzione dell'abbondanza. Il numero totale di specie è data dall'area sottesa alla curva dei taxa e la pendenza di tale curva dipende dai parametri selezionati. In ogni caso la maggior parte della biomassa batterica che possiamo facilmente osservare (Terra Frequentata) presenta il minimo di diversità. Molti taxa sono difficili da individuare con un campionamento random (Terra Incognita).

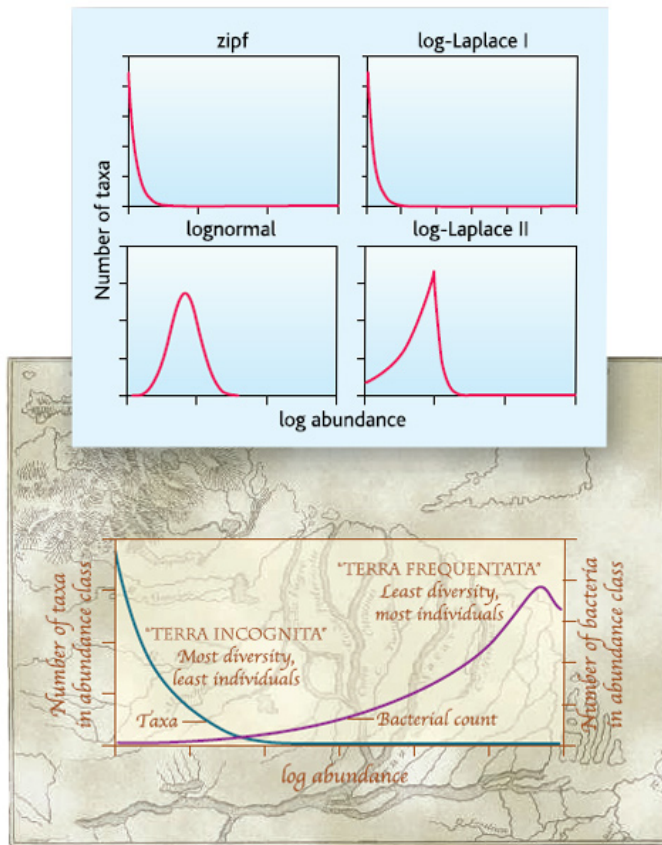


Figura 5 – Modelli matematici proposti da Gans *et al.* (2005) per mappare la diversità microbica del suolo.

5) Caratterizzata la popolazione microbica di un suolo geneticamente e pedologicamente definito, è possibile estenderne caratteristiche e comportamenti funzionali a suoli geneticamente e pedologicamente simili?

Anche in questo caso la letteratura in merito è scarsa e sarebbe di notevole rilevanza ampliare le conoscenze sul tema in quanto se così fosse le informazioni sulla composizione della comunità microbica di un dato suolo potrebbero essere utilizzate per facilitare l'interpretazione dei dati microbiologici di suoli geneticamente e pedologicamente simili ma sottoposti a diversa gestione o perfino suoli danneggiati o degradati.

Un importante carattere del suolo è il suo grado di eterogeneità. L'elevata eterogeneità spaziale è causata dal basso tasso di mescolamento, dall'elevata estensione superficiale e dalla variabilità nello spazio di diversi fattori ecologici, quali il clima, il tipo di vegetazione, la fauna, l'impatto antropico (Liesack *et al.*, 1997), la tessitura, la salinità, il pH, la disponibilità di nutrienti, l'input di materia organica. Alla eterogeneità spaziale si aggiunge l'ete-

rogeneità temporale, legata alle variazioni stagionali del clima e della vegetazione (Bolton *et al.*, 1993).

Le caratteristiche della microflora edafica riflettono l'elevata eterogeneità spaziale e temporale del suolo, cosicché uno stesso tipo di suolo presenta notevoli variazioni locali nella composizione in specie delle comunità microbiche (Harris, 1994). Per questo aspetto si rimanda alle note di Napoli *et al.* e Brenna *et al.*, presenti in questo stesso volume, che si riferiscono a due casi studio relativi uno alla Regione Lazio e l'altro alla Regione Lombardia, nonché il caso studio della Regione Piemonte di Petrella, sempre descritto in questo volume.

Conclusioni

La composizione delle specie microbiche può variare nel tempo in conseguenza dei cambiamenti che si verificano nel microambiente o per azione dei microrganismi che ne fanno parte (o di quelli che vi vengono immessi) e/o a causa di variazioni climatiche, topologiche, biochimiche e antropologiche. Inoltre molti microrganismi possono mantenere la medesima composizione all'interno di una comunità, ma modificare alcuni processi metabolici con conseguenze a livello funzionale ed ecologico. La selezione di determinate specie microbiche operata dall'ambiente pedoclimatico è uno degli aspetti che sino ad oggi è stato particolarmente studiato soprattutto in relazione all'ambiente climatico e meno al substrato pedologico. Lo studio delle attività microbiologiche e dei processi di mineralizzazione della sostanza organica appare inoltre utile nello stabilire in quale misura l'apporto di sostanza organica proveniente da essenze vegetali diverse possa modificare le caratteristiche chimiche e biochimiche del suolo sino ad influenzarne la pedogenesi. La copertura vegetale ha una enorme influenza sulla biodiversità del suolo, fondamentalmente perché rappresenta uno dei fattori che influenza maggiormente le comunità edafiche, ma ancora non è ben chiaro il peso relativo della copertura vegetale rispetto al substrato pedologico nella selezione di specifiche popolazioni microbiche.

Il ruolo fondamentale che la componente microbica svolge per il funzionamento e la stabilità del sistema è garantito dalla sua diversificazione. In un grammo di terreno sono stati rinvenuti fino a 1.000 Gbp di sequenze di genoma microbici differenti, di cui almeno il 99% sono non coltivabili (Sait *et al.*, 2002; Joseph *et al.*, 2003). Nel suolo risiede circa il 95% dell'intera biodiversità di tutti gli organismi viventi e ne conosciamo attualmente solo l'1%, quando invece si conosce l'importanza della loro azione nella regolazione dei processi che avvengono all'interno di un ecosistema e di regolazione dell'intera vita sulla Terra. Fornire una risposta a queste domande sarebbe di estrema utilità, soprattutto alla luce del fatto che la perdita della biodiversità di un suolo comporta la perdita di quel suolo in termini produttivi, di fertilità e di sostegno allo sviluppo delle piante e quindi degli animali.

BIBLIOGRAFIA

- Alexander, M., *Introduction to Soil Microbiology*, Wiley, NY, 1977.
- Andren, O., Balandreau, J., *Biodiversity and soil functioning – from black box to can of worms?*, Applied Soil Ecology, 13, 1999, pp. 105-108.
- Bardgett, R.D., Shine, A., *Linkages between plant litter diversity, soil microbial biomass and ecosystem function in temperate grasslands*, Soil Biology and Biochemistry, 31, 1999, pp. 317-321.
- Bardgett, R.D., *Causes and consequences of biological diversity in soil*, Zoology, 105, 2002, pp. 367-374.
- Beare, M.H., Coleman, D.C., Crossley, D.A., Hendrix, P.F., Odum, E.P., *A hierarchical approach to evaluating the significance of soil biodiversity to biogeochemical cycling*, Plant and Soil, 170, 1995, pp. 5-22.
- Benedetti, A., Rossi, G., Dell'Abate, M.T., Canali, S., *Influenza dell'essiccazione all'aria del terreno sulla misura della respirazione e delle attività deidrogenasiche ed ureasiche*, Atti del X Convegno nazionale della Società Italiana di Chimica Agraria, 1, pp. 209-216.
- Bloem, J., Hopkins, D., Benedetti, A., *Microbial methods for assessing soil quality*, CABI Publishing, 2006.
- Blum, W.E.H., *Agriculture in a sustainable environment: A holistic approach*, Int. Agrophysics, 12, 1998, pp. 13-24.
- Bolton, H. Jr., Frederickson, J.K., Elliot, L.F., *Soil Microbial Ecology: Applications in Agricultural and Environmental Management* in F.B. Metting ed., Marcel Dekker, New York, 1993, p. 27.
- Borneman, J., P.W. Skroch, K.M. O'Sullivan, J.A. Palus, N.G. Rumjanek, J.L. Jansen, J. Nienhuis, E.W. Triplett., *Molecular microbial diversity of an agricultural soil in Wisconsin*, App Environ Microbiol 62, 1996, pp. 1935-1943.
- Brenna, S., Benedetti, A., Riviaccio, R., Marchetti, A., Napoli, R., *Prima analisi complessiva della fertilità in funzione dei suoli della Lombardia per la realizzazione della carta della fertilità del suolo nelle aree agricole*, Contributo presente in questo volume.
- Bunning, S., Jiménez, J.J., *Indicators and assessment of soil biodiversity/soil ecosystem functioning for farmers and governments*, Paper presented at the OECD Expert Meeting on indicators of soil erosion and soil biodiversity, 25-28 March 2003, Rome, Italy, p. 22.
- Buol, S.W., Hole, F.D., McCracken, R.J., *Soil genesis and classification*, Iowa state University Press, 1989.
- Curtis, T.P., Sloan, W.T., *Exploring microbial diversity – A vast below*, Science, 309, 2005, pp. 1331-1333.
- Davis, R.C., *Structure and function of two antarctic terrestrial moss communities*, Ecological Monographs 51, 1981, pp. 125-143.
- Dazzi, C., *Tassonomia del "Forest floor" e caratteristiche di fertilità di suoli forestali sotto pino d'Aleppo (Pinus halepensis Miller) e Cedro dell'Atlante [Cedrus Atlantica (Endl.) Carrière]*, Bollettino della società Italiana di Scienza del Suolo, Atti del convegno SISS Milano 17-21 giugno 1996, pp. 8, 51-61.
- Fanning, D.S., Fanning, C.B.M., *Soil morphology, genesis and classification*, John Wiley and Sons, 1989.
- Fierotti G., *Carta dei suoli della Sicilia. Scala 1:250.000*, Regione Siciliana, Università degli Studi di Palermo, 1988.
- Florenzano, G., *Fondamenti di microbiologia del terreno*, REDA, Roma, 1983.
- Foster, R.C., *Microenvironments of soil microorganisms*, Biology and Fertility of Soils, 6, 1988, pp. 189-203.
- Gans, J., Wolinsky, M., Dunbar, J., *Computational improvements reveal great bacterial diversity and high metal toxicity in soil*, Science, 309, 2005, pp. 1387-1390.
- Giller, K.E., Beare, M.H., Lavelle, P., Izac, A.-M.N., Swift, M.J., *Agricultural intensification, soil biodiversity and agroecosystem function*, Applied Soil Ecology, 6, 1997, pp. 3-16.
- Hansen, R.A., *Effects of habitat complexity and composition on a diverse litter microarthropod assemblage*, Ecology, 81, 2000, pp. 1120-1132.

- Harris, P.J., *Beyond the Biomass* in K. Ritz, J. Dighton, and K.E. Giller, eds., Wiley, Chichester, England, 1994, p. 239.
- Horwath, W.R., *The dynamics of carbon, nitrogen and soil organic matter in a Populus plantation*, Ph.D. Thesis, Michigan State University, East Lansing, 1993.
- Jeffery, S., Gardi, C., Jones, A., Montanarella, L., Marmo, L., Miko, L., Ritz, K., Peres, G., Rombke, J., van der Putten, W., *European Atlas of Soil Biodiversity*, 2010, EUR 24375 EN.
- Joseph, S.J., Hugenholtz, P., Sangwan, P., Osborne, C.A., Janssen, P.H., *Laboratory cultivation of widespread and previously uncultured soil bacteria*, Applied and Environmental Microbiology, 69, 2003, pp. 7210-7215.
- Kowalchuk, G., *Fungal community analysis using denaturing gradient gelelectrophoresis (DGGE)*, in Akkermans A.D.L., van Elsas J.D., De Bruijn F.G. Eds., *Molecular Microbial Ecology Manual*, vol. 3.4.6., Kluwer Academic Publisher, Dordrecht, 2002.
- Lavelle, P., Lattaud, C., Trigo, D., Barois, I., *Mutualism and biodiversity in soils*, Plant and Soil, 170, 1995, pp. 23-33.
- Lavelle P., Spain, A.V., *Soil Ecology*, Kluwer Academic Publishers, The Netherlands, 2001.
- Liesack, W., Janssen, P.H., Rainey, F.A., Ward-Rainey, N.L. Stackebrandt, E., *Microbial diversity in soil: the need for a combined approach using molecular and cultivation techniques* in Van Elsas J.D., Trevors J.T. and Wellington E.M.H., Eds., *Modern Soil Microbiology*, Marcel-Dekker, New York, 1997, pp. 375-439.
- Loreau, M., Naeem, S., Inchausti, P., Bengtsson, J., Grime, J.P., Hector, A., *Biodiversity and ecosystem functioning: current knowledge and future challenges*, Science, 294, 2001, pp. 804-808.
- Lynch, J.M., Benedetti, A., Insam, H., Nuti, M., Smalla, K., Torsvik, V., Nannipieri, P., *Microbial diversity in soil: ecological theories, the contribution of molecular techniques and the impact of transgenic plants and transgenic microorganisms*, Biology and Fertility of Soil, 40 (6), 2004, pp. 363-385.
- MacArthur, R.H., *Fluctuations of animal populations and a measure of community stability*, Ecology, 6, 1955, pp. 533-537.
- Nannipieri, P., Badalucco, L., *Biological processes* in Bembi D.K. and Nieder R. Eds., *Processes in the soil-plant system: modelling concepts and applications*, The Haworth Press, Binghamton, NY, 2003.
- Napoli, R., Riviaccio, R., Pennelli, B., Marchetti, A., Benedetti, A., *La fertilità e gli indicatori microbiologici del suolo in funzione della variabilità pedologica ed uso del suolo del Lazio: prima analisi comparativa dei trend della biodiversità*, Contributo presente in questo volume.
- Othonen, R., Aikio, S., Väre, H., *Ecological theories in soil biology*, Soil Biology and Biochemistry, 29, 1997, pp. 1613-1619.
- Paul, E.A., Clark, F.E., *Soil Microbiology and Biochemistry*, Academic Press, San Diego, USA, 1996.
- Petrella, F., *Atlante pedologico del Piemonte. La fertilità biologica dei suoli*, Contributo presente in questo volume.
- Pignataro, A., Moscatelli, M.C., Mocali, S., Napoli, R., Grego, S., Benedetti, A., *Preliminary investigation on soil microbial diversity: effect of pedogenic substrate*, EQA, 7, 2011, pp. 49-57.
- Pimentel, D., Houser, J., Preiss, E., White, O., Fang, H., Mesnick, L., Barsky, T., Tariche, S., Schreck, J., Alpert, S., *Water resources: agriculture, the environment, and society*, BioScience 47 (2), 1997, pp. 97-106.
- Pinzari, F., Dell'Abate, M.T., Benedetti, A., Dazzi, C., *Effects of Cedrus Atlantica and Pinus halepensis on the chemistry and fertility of a Mediterranean soil after 40 years*, Canadian Journal of Soil Science, 2001, pp. 554-560.
- Ponge, G.F., *Humic forms in terrestrial ecosystems: a framework to biodiversity*, Soil Biology and Biochemistry, 35, 2003, pp. 935-945.
- Ranjard, L., Richaume, A.S., *Quantitative and qualitative microscale distribution of bacteria in soil*, Res. Microbiol., 152, 2001, pp. 707-716.

- Rossi, G., Benedetti, A., Dell'Abate, M.T., *Effetto della variazione della temperatura ed umidità sulla respirazione e sul potere mineralizzante di suoli tipici italiani*, Atti del X Convegno nazionale della Società Italiana di Chimica Agraria, 1, 1992, pp. 421-428.
- Rutigliano, F.A., D'Ascoli, R., De Santo V., *Soil microbial metabolism and nutrient status in a Mediterranean area as affected by plant cover*, Soil Biology and Biochemistry, 36 (11), 2004, pp. 1719-1729.
- Sait, M., Hugenholtz, P., Janssen, P.H., *Cultivation of genetically distinct soil bacteria from phylogenetic lineages previously only detected in culture-independent surveys*, Environmental Microbiology, 4, 2002, pp. 654-666.
- Schmid, B., Joshi, J., Schlapfer, F., *Empirical evidence for biodiversity – ecosystem functioning relationships*, in A. Kinzig, D. Tilman, and S. Pacala, eds, *Functional consequences of biodiversity: experimental progress and theoretical extensions*, Princeton University Press, Princeton, New Jersey, USA, 2002, pp. 120-150.
- Sessitsch, A., Weilharter, A., Gerzabek, M.H., Kirchmann, H., Kandeler, E., *Microbial population structures in soil particle size fractions of a long-term fertilizer field experiment*, Appl. Environ. Microbiol., 67, 2001, pp. 4215-4224.
- Spehn, E.M., *Above-ground resource use increases with plant species richness in experimental grassland ecosystems*, Funct. Ecol., 14, 2000, pp. 326-337.
- Tilman, D., *Resource competition and community structure*, Princeton Univ. Press, Princeton, 1982.
- Tombesi, L., Mecella, G., Francaviglia, R., Costantini, A., Scandella, P., Moretti, R., Di Blasi, N., Pierandrei, F., *Ricerche condotte nel 1987*, in *L'informatica applicata alla gestione idrica delle colture*, Istituto Sperimentale per la Nutrizione delle Pianta – Supplementi Annali, Roma, 1987.
- Ugolini, F.C., Spaltenstein, H., *Pedosphere in Global biogeochemical Cycles*, Academic Press, 1992.
- Widden, P., *Functional relationships between Quebec forest soil microfungi and their environment*, Canadian Journal of Botany, 64, 1986, pp. 1424-1432.
- Zak, D.R., Holmes, W.E., White, D.C., Peacock, A.D., Tilman, D., *Plant diversity, soil microbial communities and ecosystem function: are there any links?*, Ecology, 84, 2003, pp. 2042-2050.

Biodiversità e pedodiversità: affinità e divergenze nell'areale italiano **PARTE II**

POSSIBILITÀ APPLICATIVE

Proposta metodologica per lo studio delle relazioni tra biodiversità microbica e pedodiversità

S. Marinari

Dipartimento per l'Innovazione nei Sistemi Biologici Agroalimentari e Forestali – DIBAF, Via S. Camillo de Lellis, 01100 Viterbo.

La diversità dei suoli (pedodiversità) può essere studiata seguendo approcci che considerano rispettivamente i seguenti aspetti: (i) ecologici, (ii) tassonomici, (iii) funzionali e (iv) genetici. Nell'approccio allo studio di tipo ecologico, la pedodiversità può essere vista come espressione dell'insieme degli habitat e degli ecosistemi che condizionano le caratteristiche del suolo stesso. Nell'approccio tassonomico, l'analisi della pedodiversità è funzione del sistema di classificazione considerato, mentre in quello funzionale e genetico si analizzano i processi ecologici o pedogenetici svolti all'interno dei suoli. Analogamente alla pedodiversità, anche lo studio della varietà degli organismi (biodiversità) può considerare i vari aspetti: il numero e l'abbondanza degli habitat e ecosistemi (ecologica), il numero e l'abbondanza delle singole specie (tassonomica), l'insieme dei processi ecologici svolti all'interno di una comunità (funzionale) oppure la variazione dei geni e dei genotipi all'interno della specie (genetica). Su scala territoriale la diversità delle specie o delle funzioni da esse svolte può essere vista a diversi livelli di risoluzione. Whittaker (1972) propose di distinguere la biodiversità all'interno dell'habitat (diversità α), oppure lungo un gradiente di habitat (diversità β) oppure ancora tra vari habitat (diversità γ). Questo concetto plausibile per la tradizionale diversità di habitat può essere usato per descrivere il concetto di diversità biologica in relazione alla pedodiversità. Infatti, il suolo rappresenta un esempio di ecosistema in permanente mutamento, in quanto, sotto l'azione dei fattori di formazione (clima, organismi, rilievo, substrato pedogenetico e tempo) e dei processi pedogenetici, si presenta in continua evoluzione. In questo contesto, le caratteristiche della popolazione edafica, tassonomica e/o funzionale, possono riflettere l'elevata eterogeneità spaziale e temporale del suolo, cosicché uno stesso tipo di suolo può presentare notevoli variazioni locali della composizione in specie con particolare riferimento a quelle microbiche.

Dal momento in cui il substrato pedogenetico è esposto all'azione degli agenti atmosferici e degli organismi, inizia la differenziazione in orizzonti che, se all'inizio dei processi evolutivi non hanno ancora assunto caratteristiche individuali ben marcate, con il procedere dell'evoluzione e con la dominanza di un processo specifico sugli altri, diventano sempre più distinti. Ecco quindi che alla presenza nel suolo di una moltitudine di microhabitat (e.g. rizosfera, aggregati etc.) identificabili all'interno di un orizzonte (microscala), si aggiunge una stratificazione di habitat con caratteristiche specifiche e differenti da quelle degli altri orizzonti dello stesso profilo (mesoscala). Se poi si considera una scala ancora maggiore, la diversità dei suoli a livello tassonomico, espressione quindi della dominanza di un processo rispetto ad altri o del grado di intensità raggiunto da un processo, non può che essere assimilata alla diversità γ , caratteristica di habitat diversi a livello di macroscale.

La maggior parte degli studi sulle caratteristiche biologiche dei suoli analizza gli orizzonti superficiali, basandosi sull'assunzione che gli effetti dell'uso del suolo si riscontrano principalmente nei primi centimetri di profondità. Molto più scarse sono le conoscenze sulla dinamica delle popolazioni rispetto alla varietà degli orizzonti formati a seguito dei processi evolutivi del suolo. In questo contesto si apre un interesse alla ricerca volta a stabilire le relazioni tra pedodiversità e biodiversità secondo i vari approcci di studio (ecologico, tassonomico, funzionale e genetico) che necessariamente consideri i vari orizzonti dell'intero profilo pedogenetico.

BIBLIOGRAFIA

- Whittaker, R.H., *Evolution and measurement of species diversity*, Taxon 21, 1972, pp. 213-251.

Pedodiversità in Italia

E.A.C. Costantini, S. Magini, R. Barbetti, G. L'Abate, R. Lorenzetti

Consiglio per la Ricerca e la sperimentazione in Agricoltura, Centro di Ricerca per l'Agrobiologia e la Pedologia, Firenze.

Riassunto

Lo scopo del lavoro è illustrare la pedodiversità geografica e tipologica Italiana e mostrare alcune relazioni tra tipi di suolo e il fattore pedogenetico clima. Si è utilizzato il database pedologico nazionale ISIS, organizzato gerarchicamente in pedopaesaggi a diverse scale di indagine, dalle soil regions ai sistemi e ai sottosistemi pedologici. Il livello utilizzato in questo studio è stato principalmente quello dei sistemi. La struttura del database dei sistemi consta di un database alfanumerico, in grado di memorizzare e correlare dati pedologici di diversa origine, e di un geodatabase che dialoga con il primo e che è composto da “sistemi”, poligoni in scala di riferimento 1:500.000, contenenti informazioni litologiche, geomorfologiche, di uso del suolo e delle “componenti territoriali”, ognuna con la propria percentuale di presenza nel sistema di terra. Per ogni sistema è indicata anche la tipologia di suolo. Ad ogni tipologia afferiscono osservazioni di suoli analoghi per classificazione ed organizzazione in orizzonti. Il più rappresentativo tra questi suoli costituisce il profilo caposaldo, mentre i valori medi e modali delineano il profilo modale.

Il database pedologico nazionale attualmente raccoglie 44.713 osservazioni, di cui 5.021 sono utilizzate nel calcolo delle caratteristiche dei suoli modali, 21.968 sono attribuite a tipologie, 22.015 sono classificate con WRB e 21.654 secondo la Soil taxonomy. Per tale motivo il geodatabase dei sistemi pedologici si può considerare altamente rappresentativo della pedodiversità nazionale. Nel geodatabase dei sistemi sono memorizzate le informazioni territoriali relative a 3.357 poligoni, 2.182 sistemi di suolo, 8.906 componenti territoriali. La pedodiversità italiana è stimabile rappresentativa di circa tre quarti di quella globale, ma è contraddistinta da poche tipologie molto diffuse e da molti endemismi. Un confronto statistico tra gruppi WRB e 9 variabili climatiche ha evidenziato una differenziazione dei gruppi WRB lungo due gradienti: continentalità – stagionalità; clima caldo e secco – clima freddo e umido.

Parole chiave: GIS, sistema informativo, pedologia, tassonomia, diversità.

Introduzione

Il suolo è un sistema naturale complesso, multi-fase, che tende ad auto-organizzarsi in funzione dei fattori della pedogenesi a diverse scale. Le classificazioni tassonomiche riassumono la diversità dei suoli in funzione delle caratteristiche e della genesi dei suoli. Il presente studio vuole evidenziare la pedodiversità geografica e tipologica italiana indagando

la distribuzione dei gruppi tassonomici WRB tramite l'utilizzo della banca dati pedologica d'Italia. La grande influenza dei fattori litologia, morfologia e uomo sulla natura e distribuzione dei suoli italiani ha inoltre giustificato un approfondimento riguardante la ricerca dell'effetto del clima e delle sue componenti.

Materiali e metodi

Il database pedologico nazionale ISIS (Italian Soil Information System) è stato utilizzato come principale fonte dati. ISIS è organizzato in una gerarchia nidificata di banche dati e di pedopaesaggi, che descrivono la geografia del suolo dal livello europeo, con le soil regions, passando per le sub-regions (province), i sistemi, i sottosistemi, fino a livello locale, con le unità e gli elementi territoriali (Figura 1). In ogni livello geografico, i poligoni contengono informazioni sui fattori della pedogenesi, che dalla scale dei sistemi a quelle di maggior dettaglio vengono riassunti nelle “componenti territoriali”. La componente territoriale è una specifica combinazione di morfologia, litologia e uso del suolo presente nel poligono, che armonizza le informazioni fornite dai rilevatori di campo con quella proveniente dalle carte tematiche nazionali. Sulla base del legame suolo-paesaggio, con un approccio deterministico, vengono assegnati uno o più tipi di suolo alle componenti territoriali, e quindi ai poligoni. Allo stato attuale, l'informazione pedologica è disponibile a livello di regione pedologica e di sistema di terre su tutto il territorio nazionale, e per molte regioni anche a livello di sottosistemi, mentre a livello di unità è limitata ad alcune aree pilota.

Soilscape	Reference scale	Reference polygon size
Soil region	1:5,000,000	10 ⁵ -10 ⁶ ha
Soil sub-region	1:1,000,000	10 ³ -10 ⁵ ha
Soil system	1:500,000	10 ³ -10 ⁴ ha
Soil subsystem	1:250,000	10 ² -10 ³ ha
Soil unit	1:50,000	10 ¹ -10 ² ha
Soil element	1:10,000-25,000	10 ⁻¹ -10 ¹ ha

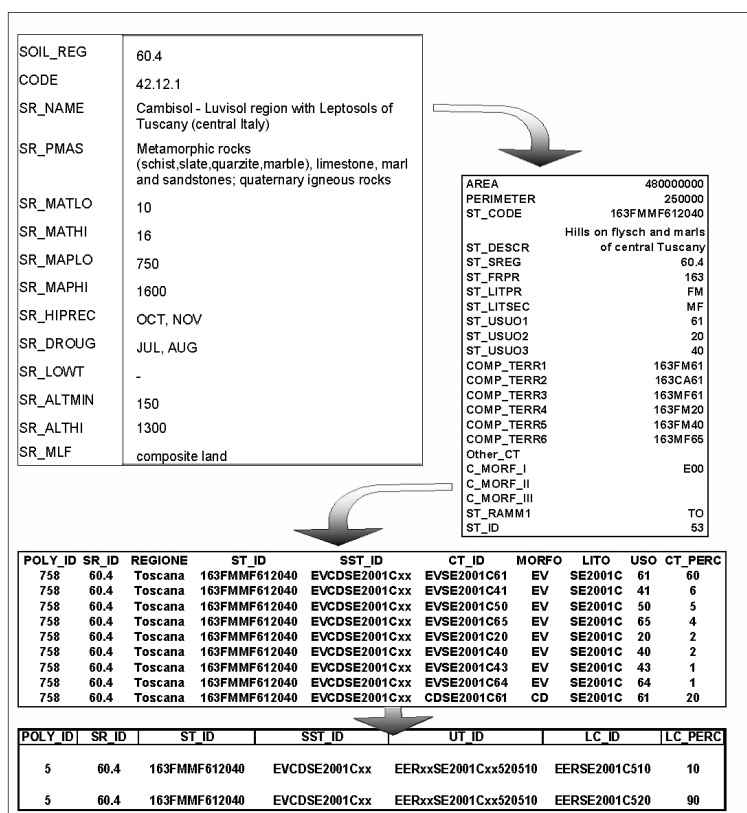
Figura 1 – Gerarchia dei pedopaesaggi e banche dati italiane.

Le soil regions sono il primo livello informativo per la carta dei suoli d'Italia e, allo stesso tempo, rappresentano lo strumento per la correlazione a livello continentale. Descrivono la geografia del suolo sulla base di clima e litologia e sono delineate in base ai criteri del manuale della European Commission (1999). Ad ogni poligono sono associati uno o più suoli dominati (Figure 2 e 3). Le sub-regions sono create per generalizzare l'informazione pedologica di scale a maggior dettaglio. I sistemi di terre sono discriminati in base alla regione pedologica di appartenenza, morfologia, litologia e uso del suolo prevalenti. Grazie alla collaborazione dei servizi pedologici regionali, del Ministero delle Politiche Agricole Alimentari e Forestali, nonché di docenti di alcune università italiane, sono state raccolte molte migliaia di informazioni puntuali. Le informazioni sono state raccolte ed armonizzate in una banca dati in grado di memorizzare e correlare dati geografici e pedologici di

diversa origine. La struttura del geodatabase dei sistemi pedologici nazionale consta di un database in ambiente Access contenente informazioni sui profili di suolo e le unità tipologiche, che si interfaccia con un geodatabase in ambiente ArcGIS, costituito da poligoni con scala di riferimento intorno a 1:500.000 (Figure 2 e 3). La banca dati geografica dei sistemi contiene informazioni su morfologia, processi morfogenetici, pattern della rete di drenaggio, litologia, uso del suolo, componenti territoriali del sistema. All'interno del sistema è indicata la percentuale di presenza di ogni componente territoriale benché non ne sia presente la delimitazione geografica. In ogni unità cartografica sono presenti una o più componenti territoriali e ad ogni componente territoriale sono legati uno o più tipi di suoli, "soil typological unit" (STU). Le STU possono essere aggregate in gruppi per la descrizione di pedopaesaggi più vasti. I sottosistemi di terra sono uno strato geografico utilizzabile alla scala di riferimento 1:250.000, sono quindi usati per costruire le banche dati pedologiche a livello regionale. I caratteri discriminati dei sottosistemi di terra sono l'appartenenza ad un sistema, la litologia e la morfologia alla scala di riferimento, l'uso del suolo è anche presente ma come descrittore (Figure 2 e 3). Come per i sistemi di terre ogni sottosistema può avere una o più componenti territoriali e ad ogni componente territoriale può essere legata una o più tipologie. Le unità di terre sono ambienti omogenei per i caratteri di morfologia, litologia e uso del suolo individuabili alla scala di dettaglio e semidettaglio. La banca dati a questo livello è quindi disponibile solo dove sono stati pubblicati dati a questa scala. A differenza dei sottosistemi l'uso del suolo è sempre discriminato quindi è sempre inserito nel codice identificativo. Poligoni con stesso codice identificativo, attribuiti semanticamente agli stessi sottosistemi, sistemi e soil regions, appartengono alla stessa unità di terra.

Una STU è identificata tramite un codice contenente il numero della soil region di appartenenza, la classificazione WRB al secondo livello ed un progressivo per distinguere tipologie di una stessa soil region con uguale classificazione ma differenti caratteristiche o qualificatori (per esempio, 61.3RGca1). Le tipologie pedologiche possono essere organizzate in gruppi di STU, per fornire la descrizione della geografia del suolo, mentre la STU riporta la sintesi dei caratteri genetici e funzionali. Ogni gruppo di STU è costituito da almeno una STU, indicata dal progressivo nel codice della tipologia. Ad ogni STU afferiscono osservazioni di suoli, archiviati in banche dati nazionali o regionali, analoghi per classificazione ed organizzazione in orizzonti. Il più rappresentativo tra questi suoli costituisce il profilo di riferimento, o caposaldo, mentre il profilo modale riporta i valori modali degli attributi non parametrici e le medie, con deviazione standard e numero di dati, degli attributi parametrici degli orizzonti funzionali. Le STU vengono definite indipendentemente per ogni livello geografico di riferimento, cioè sulla base delle componenti territoriali dei diversi livelli pedopaesaggistici. Così ogni osservazione può essere attribuita a più tipologie a seconda del livello di pedopaesaggio di riferimento.

È stato effettuato un confronto statistico multivariato tra gruppi WRB dei profili classificati in banca dati e 9 variabili climatiche ottenute dalla banca dati climatica nazionale originale (modificata da CRA-CMA, unità di ricerca per la climatologia e la meteorologia applicate all'agricoltura). Dall'analisi fattoriale sono stati prodotti due fattori indipendenti tra di loro, che sono stati messi in relazione con i gruppi WRB.



Risultati e discussione

Il database pedologico nazionale, continuamente aggiornato, attualmente raccoglie 44.808 osservazioni, di cui 5.021 utilizzate nel calcolo delle caratteristiche dei suoli modali, 21.968 attribuite a STU, 22.015 classificati con WRB e 21.654 secondo la Soil Taxonomy.

Nel geodatabase dei sistemi di terre sono memorizzate le informazioni territoriali relative a 3.357 poligoni, 2.182 sistemi di suolo, 8.906 componenti territoriali che sono collegate a 1.413 tipologie.

Le carte dei suoli dominanti nei sistemi pedologici mostrano la presenza di 22 gruppi WRB su 32 (Figura 4), di cui i Cambisols sono i più diffusi seguiti da i Luvisols. Parimenti gli Inceptisuoli della Soil Taxonomy sono i più frequenti, anche in questo caso si tratta quindi di suoli ad uno stato di evoluzione intermedio. Sono presenti 10 dei 12 ordini della Soil Taxonomy. Tuttavia va sottolineato che alcuni ordini sono presenti solo in aree molto limitate nel territorio Italiano come gli Aridisols in Sardegna, mentre alcuni gruppi possono non essere mappati a causa della mancanza di informazioni in bancadati, come i Cryosols, presenti nelle Alpi e Appennini. Dalle 1.413 tipologie pedologiche italiane risultano esclusi solo i gruppi WRB Albeluvisols, Anthrosols, Cryosols, Durisols, Ferralsols, Plinthosols, e Technosols, e per la Soil Taxonomy i Gelisols e Oxisols.

Dei 180 qualificatori WRB, 132 sono presenti nelle STU. Dal punto di vista genetico in Italia si ha quindi il 73% della variabilità globale. Si può osservare dal grafico in figura 5, come 352 su un totale di 577 tipi genetici, abbiano una corrispondenza univoca con le STU. Inoltre, esistono 7 tipi genetici aventi da 63 a 17 STU, il che sta a significare che questi taxa sono molto diffusi e variabili per altri qualificatori e caratteristiche, in particolare, Haplic Cambisols (Calcaric), Haplic Calcisols, Haplic Cambisols (Eutric), Haplic Regosols (Calcaric), Haplic Fluvisols (Calcaric), Haplic Vertisols (Eutric) e Haplic Cambisols (Dystric). Dal grafico riportato si può inoltre evincere una perdita di pedodiversità a causa dell'erosione del suolo. È il caso del confronto tra Haplic Cambisols (Calcaric) e Haplic Regosols (Calcaric). Entrambi i suoli si ritrovano soprattutto su materiale calcareo parzialmente consolidato pre-Quaternario, diffuso in ambiente collinare. La riduzione dalle 63 STU dei Cambisols alle 24 dei Regosols può ragionevolmente essere messa in relazione con la perdita dell'orizzonte Cambico, come conseguenza di una erosione accelerata. D'altronde, l'erosione massiccia causata dalle attività antropiche recenti in questi tipi di terreni, nonché il rischio di perdita di pedodiversità, è stata riportata da molti autori per varie zone d'Italia.

RGS	km ²	%	ORDER	km ²	%
Cambisols	115,107	39.006	Inceptisols	146,228	49.552
Luvissols	37,901	12.844	Entisols	48,508	16.438
Regosols	29,874	10.123	Alfisols	38,416	13.018
Pheozems	24,750	8.387	Mollisols	35,711	12.101
Calcisols	24,106	8.169	Andosols	9,704	3.289
Leptosols	16,528	5.601	Vertisols	8,059	2.731
Andosols	9,704	3.289	Spodosols	7,500	2.542
Vertisols	7,925	2.686	Ultisols	741	0.251
Podzols	7,500	2.542	Histosols	195	0.066
Fluvisols	7,276	2.466	Aridisols	33	0.011
Umbrisols	7,224	2.448	Total	295,097	100.000
Arenosols	2,412	0.817			
Kastanozems	2,030	0.688			
Chernozems	1,126	0.382			
Gleysols	625	0.212			
Alisols	509	0.172			
Planosols	201	0.068			
Histosols	195	0.066			
Acrisols	51	0.017			
Solonchaks	33	0.011			
Nitisols	11	0.004			
Ixisols	11	0.004			
Total	295,097	100.000			

Figura 4 – Coperture dei gruppi WRB dominati e degli ordini dominanti della Soil Taxonomy nelle carte dei suoli dominanti (aree urbane e corpi d'acqua esclusi).

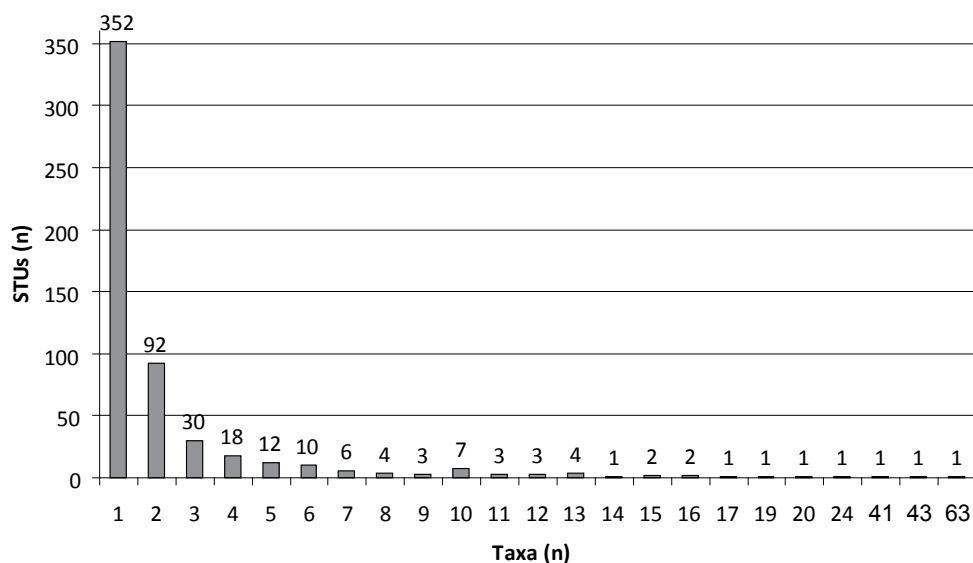


Figura 5 – Frequenza di STU per tipo genetico WRB II.

Considerando la pedodiversità tra i profili presenti in banca dati, su 22.015 suoli classificati con il WRB sono assenti solo i gruppi Ferralsols e Durisols; su 21.654 suoli classificati con la Soil Taxonomy sono assenti solo gli Oxisols.

Dei 132 qualificatori WRB, 34 sono presenti in oltre 100 profili, 66 in meno di 10 profili. Benché i qualificatori più comuni (Calcaric, Haplic, Skeletic e Eutric) sono tutti correlati al parent material, un secondo gruppo di qualificatori è più indicativo dei processi pedogenetici. Si tratta di Chromic, Calcic, Stagnic e Luvic. Se consideriamo il gran numero di profili studiati, possiamo concludere che i meccanismi pedogenetici più comuni rappresentati dai qualificatori WRB in Italia sono i seguenti:

- i) alterazione dei minerali primari, rilascio di ferro e sintesi di ossidi e idrossidi, in grado di dare colori rossastri al suolo;
- ii) dissoluzione di carbonati e accumulo di carbonato di calcio secondario;
- iii) riduzione e ossidazione di ferro e manganese;
- iv) differenziazione del contenuto di argilla lungo il profilo, causato soprattutto da processi di lisciviazione;
- v) aggregazione delle particelle minerali ed organiche e formazione di struttura pedogenetica.

Lo studio della pedodiversità italiana è stato completato con la produzione di mappe degli areali di diffusione delle principali tipologie presenti in Italia. Tra queste si riporta la carta dei Haplic Cambisols (Calcaric), rappresentante il suolo modale italiano e la relativa scheda (Figure 6 e 7). L'areale è stato identificato evidenziando i sistemi pedologici in cui è presente la tipologia.

Per lo studio delle relazioni tra tipi di suolo e il fattore della pedogenesi clima, sono state considerate 9 variabili climatiche:

- continentalità (temperatura media estiva dell'aria meno la temperatura media invernale dell'aria);
- indice di aridità (rapporto tra precipitazioni medie annue ed evapotraspirazione potenziale);
- precipitazioni (precipitazioni medie annue totali);
- indice di Fournier (valore medio dell'intensità della pioggia secondo Arnoldus (1977));
- stagionalità (quoziente della differenza tra le precipitazioni medie del mese più piovoso e le precipitazioni medie del mese meno piovoso, su precipitazioni medie annue);
- temperatura media del suolo;
- evapotraspirazione potenziale (equazione di Penman Monteith, (Allen *et al.*, 1998));
- indice di aridità del suolo (stima del numero medio di giorni di secco per anno nella sezione di controllo del profilo (Costantini *et al.*, 2002; Costantini *et al.*, 2005; Costantini e L'Abate, 2009);
- temperatura media annua del suolo (in funzione della temperatura dell'aria e contenuto idrico del suolo a capacità di campo, secondo Costantini *et al.*, 2001).

L'analisi fattoriale conferma una certa correlazione tra le variabili indice di aridità e precipitazioni annue; temperatura media del suolo, evapotraspirazione potenziale, indice di aridità

Haplic Cambisols (Calcaric)

		FUNCTIONAL HORIZONS					
Soil Taxonomy		description	lower depth (cm)	SD	N		
Typic Haplustepts		Ap, A	35	17	937		
Main geologies							
alternating pelitic-arenitic, arenitic-marly and arenitic-pelitic rocks; limestone.		Bw, BC C, Cr, CB	78 109	33 61	952 679		
Main morphologies							
linear slope, slope dissected by small valleys, valley floor.							
Main land uses							
row crops, eterogeneous croplands, broadleaved woodlands.							
Total number of observations: 798							
Site description: mean and standard deviation, mode and frequency, and number of sites considered.							
Elevation (m a.s.l.)	mean	SD	N	Crusting risk	mean	SD	N
medium hills (200-400)	349	249	790	high (> 0.60)	0.63	0.1	361
Slope (%)				Compaction risk			
strongly sloping (13-20)	14	15	793	high (1.71 - 1.80)	1.77	0.2	367
Stones (%)				Internal drainage			
frequent (4-15)	5	16	673	well to moderately well drained	3.3	1	470
Rocks (%)				Surface runoff		n	N
few (0-2)	1	4	607	medium		108	387
Rock depth (cm)				Hydrologic group			
deep (100-150)	112	51	116	slow infiltration (C)		231	511
Potential rooting depth (cm)				Root restriction			
deep (100-150)	121	61	507	no restrictions and no impediments		165	496
Water table depth (cm)				Purifying capacity			
deep (100-150)	128	42	8	very high		109	232
Available water capacity (mm m ⁻¹)							
moderate (100-150)	128	55	687				
Soil moisture regime and aridity index (dry d y ⁻¹)							
xeric (80-115)	82	25	669				
Soil temperature regime and value (°C at 50 cm)							
mesic (8-15)	14	2	524				

Analyses: Mean, standard deviation and number of samples

Low.	Tex.	Sand	Clay	Coarse fragments				Bulk Density				Permeability			COLE			Field capacity			Wilting point				
depth	CL	(dag kg ⁻¹)				(dm ² m ⁻²)				(g cm ³)				(μm s ⁻¹)			(m m ⁻¹)			(dag kg ⁻¹)			(dag kg ⁻¹)		
		mean	SD	N		mean	SD	N		mean	SD	N		mean	SD	N		mean	SD	N		mean	SD	N	
35	CL	30.0	19.0	29.6	12.7	760	8	12.1	537	1.3	0.2	94	29.45	44.3	448	0.04	0.03	45	21.6	4.8	32	10.3	3.0	32	
78	CL	29.6	19.6	30.1	13.1	709	11	18.0	582	1.4	0.2	46	19.73	35.6	526	0.04	0.03	19	19.8	3.8	9	9.1	2.1	9	
109	L	34.5	25.6	26.5	16.1	346	12	24.3	501	1.4	0.2	17	24.79	48.7	367	0		0			0			0	

Low.	pH	Organic Carbon	CEC	Base saturation	ESP	CaCO ₃			Salinity															
depth	(1:2.5 H ₂ O)		(dag kg ⁻¹)		(cmol(+) kg ⁻¹)		total (dag kg ⁻¹)		active (dag kg ⁻¹)	(1:2.5 dS m ⁻¹)														
	mean	SD	N		mean	SD	N	mean		SD	N													
35	8.0	0.4	759	1.48	1.58	725	21.5	11.1	356	96	15.4	282	2.5	4.3	242	18.4	14.9	730	5.3	4.1	265	0.27	0.5	180
78	8.1	0.4	702	0.77	0.66	659	19.6	9.4	359	96	15.5	275	3.3	5.5	234	20.2	15.5	703	6.1	4.7	279	0.41	0.9	177
109	8.2	0.6	330	0.38	0.68	248	18.1	12.6	150	97	12.6	115	4.7	6.5	97	26.0	19.5	331	6.9	4.6	109	0.69	1.3	177

Figura 6 – Profilo modale degli Haplic Cambisol (Calcaric).

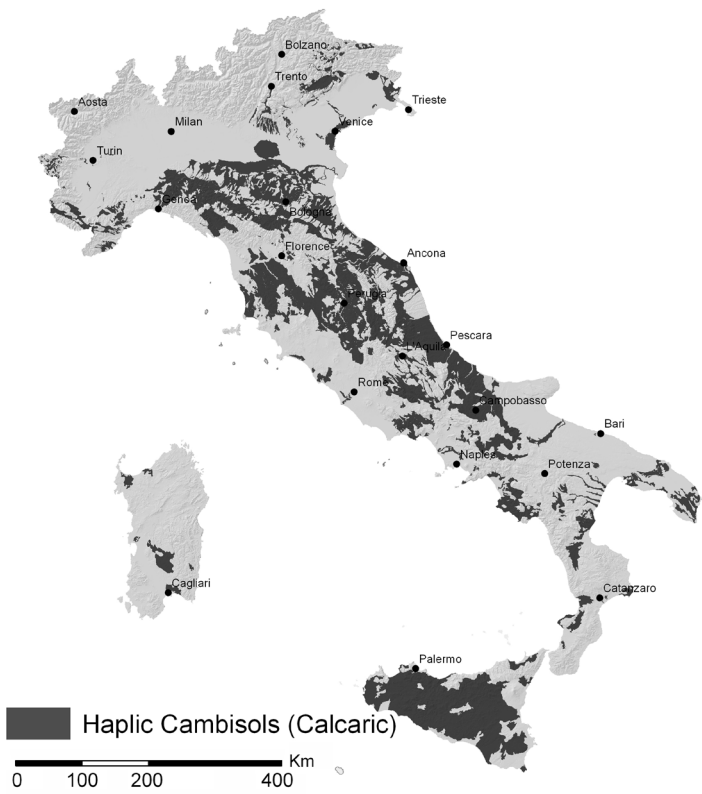


Figura 7 – Aree di diffusione del suolo modale Italiano: Haplic Cambisols (Calcaric).

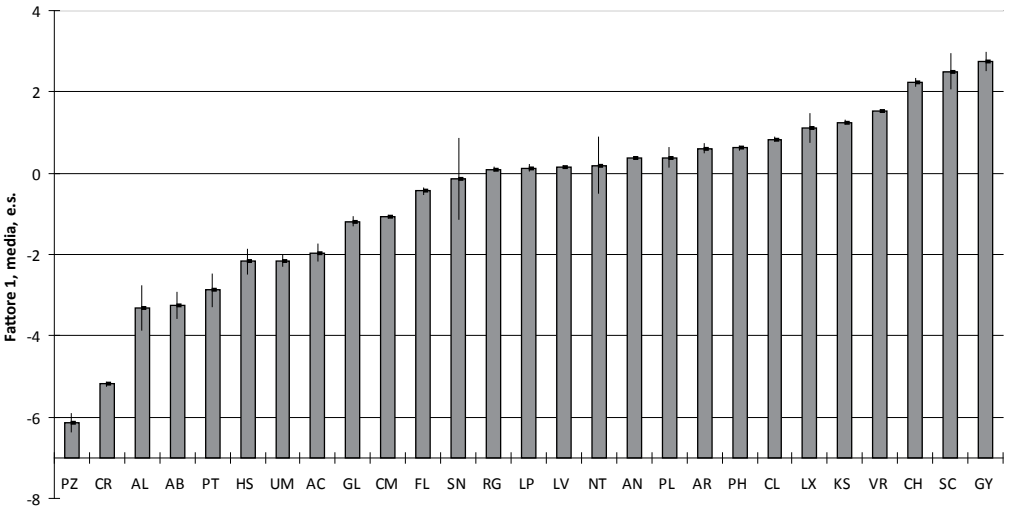


Figura 8 – Distribuzione dei principali raggruppamenti di suoli del WRB in funzione del gradiente clima caldo/arido vs freddo/umido (da valori negati a positivi).

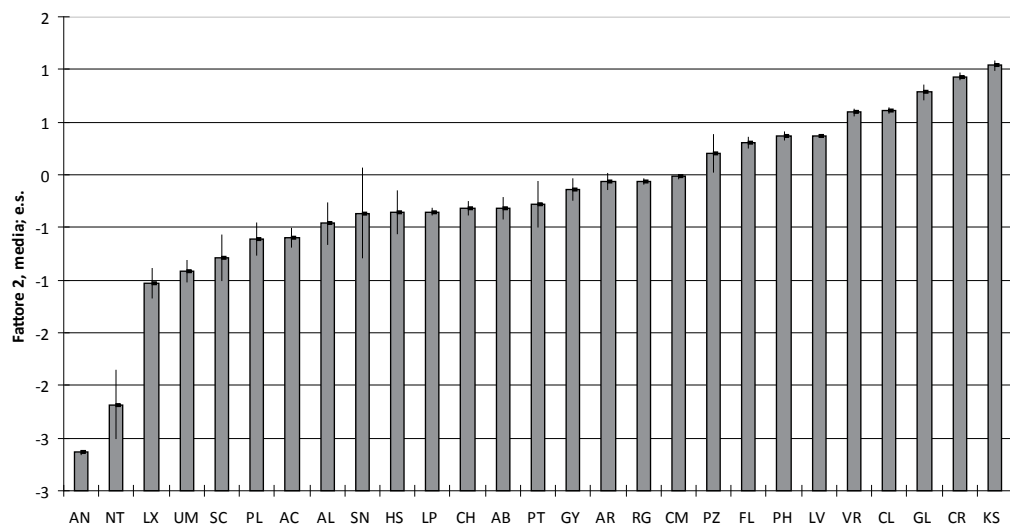


Figura 9 – Distribuzione dei principali raggruppamenti di suoli del WRB in funzione del gradiente clima stagionale vs continentale (da valori negati a positivi).

Conclusioni

La banca dati pedologica nazionale si può considerare altamente rappresentativa della pedodiversità nazionale, giacché le tipologie pedologiche sono state individuate sulla base di molte decine di migliaia di osservazioni. Dallo studio emerge una grande varietà di suoli, ma contemporaneamente molti endemismi e rarità. I suoli più diffusi sono coltivati e moderatamente erosi (a partire dal bronzo antico), ad evoluzione intermedia, con buona fertilità fisica e chimica, ma difficile gestione e conservazione. L'erosione del suolo porta ad una drastica perdita di pedodiversità ma l'effetto dell'antropizzazione sulla perdita di pedodiversità è ancora poco indagato. Nonostante i suoli italiani siano geologicamente giovani e molto antropizzati, i caratteri climatici legati alla continentalità e stagionalità, oltre che alla temperatura e piovosità, influiscono in modo significativo sulla distribuzione dei tipi di suolo.

BIBLIOGRAFIA

- Allen, R.G., Pereira, L.S., Raes, D., Smith, M., *Crop Evapotranspiration: Guidelines for Computing Crop Water Requirements*, United Nations Food and Agriculture Organization, Irrigation and Drainage Paper 56. FAO, Roma, 1998.
- Arnoldus, H.M.J., *Methodology used to determine the maximum potential average annual soil loss due to sheet and rill erosion in Morocco*, Annex IV, FAO Soils Bull., 34, 1977, pp. 39-48.
- Costantini, E.A.C., Castelli, F., L'Abate, G., *Use of the EPIC Model to Estimate Soil Moisture and Temperature Regimes for Desertification Risk in Italy*, Advances in GeoEcology, 2005, pp. 251-263.

- Costantini, E.A.C., Castelli, F., Iori, M., Magini, S., Lorenzoni, P., Raimondi, S., *Regime termico del suolo in alcuni campi sperimentali del nord, centro e sud Italia*, Atti del convegno SISS “La scienza del suolo in Italia: bilancio di fine secolo”, 2001.
- Costantini, E.A.C., Castelli, F., Lorenzoni, P., Raimondi, S., *Assessing soil moisture regimes with traditional and new methods*, Soil Sci. Soc. Am. J., 66, 2002, pp. 1889-1896.
- Costantini, E.A.C., L'Abate, G., *A soil aridity index to asses desertification risk for Italy* in Faz Cano A., Mermut A.R., Arocena J.M., Ortiz Silla R. Eds., *Land Degradation and Rehabilitation – Dryland Ecosystems*, Advances in GeoEcology, 40, Catena Verlag, Reiskirchen, Germany, 2009, pp. 231-242.
- European Soil Bureau, *The European Soil Database, version 1.0*, CD-ROM, Ispra, Italy, Gressoney Saint Jean, 1999 (CD-ROM computer file), ISNP, Roma.
- Soil Survey Staff, *Keys to Soil Taxonomy*, 10th ed. USDA-Natural Resources Conservation Service, Washington DC., 2006.
- FAO/ISRIC/ISSS, *World Reference Base for Soil Resources*, World Soil Resources Report, 84, FAO, Rome, 1998.

Biodiversità in agricoltura. Scenari internazionali e misure nazionali

M. Marino

FAO, Support Officer International Treaty on Plant Genetic Resources for Food and Agriculture, Rome, Italy.

Riassunto

La tutela della biodiversità ha assunto un'importanza strategica in campo internazionale e nazionale; l'Italia, consapevole del proprio ruolo, ha avviato nel corso degli ultimi anni una serie di azioni mirate all'approvazione di strategie agro-ambientali condivise tra Stato, Regioni e Province Autonome.

Brevi cenni sullo scenario internazionale

Dal 1992, anno in cui è stata adottata la Convenzione sulla Biodiversità (CBD), si sono susseguiti una serie di importanti eventi internazionali nei quali è stata posta al centro del dibattito la tutela e la salvaguardia delle risorse genetiche.

Con il Protocollo di Cartagena sulla Biosicurezza, adottato nella prima Conferenza Straordinaria della Conferenza delle Parti a Montreal (Canada) il 29 gennaio 2000 ed entrato in vigore l'11 settembre 2003 (<http://bch.cbd.int/protocol/>), il Trattato internazionale sulle risorse genetiche vegetali per l'alimentazione e l'agricoltura, adottato nella trentunesima Sessione della Conferenza FAO il 4 novembre 2011, Roma (Italia) ed entrato in vigore il 29 giugno 2004 (<http://www.planttreaty.org>) e, da ultimo, con il recente Protocollo di Nagoya (Giappone) adottato nella decima Sessione della Conferenza delle Parti della Convenzione sulla Diversità Biologica il 29 ottobre 2010 e non ancora entrato in vigore (<http://www.cbd.int/abs/>), le tematiche ambientali e l'agricoltura sono tornate a far parte dell'agenda dei Capi di Stato e di Governo nelle riunioni internazionali che vanno dal G20 all'assemblea generale delle Nazioni Unite.

Tali strumenti, sebbene differenti tra loro, sono indirizzati verso un comune obiettivo: la ripartizione giusta ed equa dei benefici derivanti dall'uso delle risorse genetiche.

Aumenta così, a livello globale, la consapevolezza che la perdita delle risorse genetiche non rappresenta di "per se" solo una perdita di materiale genetico ma anche e soprattutto un immenso patrimonio di informazioni legate al territorio ed ai suoi diretti utilizzatori.

La FAO e la salvaguardia della biodiversità in agricoltura

La salvaguardia della biodiversità per l'alimentazione e l'agricoltura è cruciale per raggiungere la sicurezza alimentare globale.

Con i suoi oltre 170 Paesi membri, la Commissione intergovernativa della FAO sulle Risorse Genetiche per l'Alimentazione e l'Agricoltura svolge un ruolo fondamentale nel rafforzamento dello sviluppo e nell'implementazione di politiche e programmi a livello nazio-

nale, regionale e internazionale per assicurare la conservazione e l'utilizzo sostenibile della diversità biologica, della diversità genetica e la condivisione equa dei benefici derivanti dal loro uso. La Commissione fornisce l'unico forum permanente in cui i Governi possono negoziare le questioni specificamente connesse con la diversità biologica per l'alimentazione e l'agricoltura. La conservazione della biodiversità è fondamentale per garantire la sicurezza alimentare ed ha un impatto evidente su tutti i settori agricoli.



Figura 1 – Fonte: Trattato Internazionale Risorse Genetiche Vegetali per l'Alimentazione e l'Agricoltura.

Risorse genetiche vegetali

Nel corso della storia, più di 7000 specie di piante sono state coltivate o raccolte. Sorprendentemente, nonostante tale ricchezza, oggi si stima che solo una trentina di colture forniscono il 95% del fabbisogno energetico umano. Le quattro principali colture – riso, grano, mais e patata – forniscono da sole circa il 60% dell'energia alimentare a livello globale. Un dato piuttosto interessante riguarda i circa 7 milioni di campioni di varietà migliorate, locali e selvatiche conservate nei centri internazionali di ricerca in agricoltura a sostegno della biodiversità. Tale conservazione unitamente alla conservazione in situ e on-farm può contribuire a ridurre o a mitigare gli effetti del cambiamento climatico, l'erosione delle risorse naturali disponibili e la comparsa di nuove malattie.



Figura 2 – Fonte: Trattato Internazionale Risorse Genetiche Vegetali per l’Alimentazione e l’Agricoltura.

Risorse genetiche animali

Si stima che circa il 70% della popolazione rurale mondiale detenga del bestiame al quale affida una parte sostanziale del loro sostentamento. Delle 8000 razze censite dalla FAO più di 1700 sono a rischio di estinzione. I cambiamenti climatici e le malattie emergenti hanno un impatto negativo sulle risorse genetiche animali. Dal momento che alcune specie e razze meglio si adattano alle nuove realtà climatiche è fondamentale assicurare che le risorse genetiche potenzialmente preziose siano assicurate e distribuite.



Figura 3 – Foto di Rosa Francaviglia.

Risorse genetiche forestali

Circa 1,6 miliardi di persone in tutto il mondo dipendono dalle foreste la cui estensione copre circa il 31% del territorio mondiale e ospita l’80% della biodiversità terrestre. Con l’aumentare della popolazione mondiale la pressione sui terreni forestali si intensificherà sempre più e non a caso il 2011 è stato scelto quale anno internazionale delle foreste per

rivendicarne il ruolo chiave in campo agro-ambientale.

Risorse genetiche acquatiche

Ci sono circa 32000 specie di pesci nel mondo e circa 5000 vengono raccolti per il cibo e per altri scopi. Attualmente più di 500 sono le specie acquatiche d'allevamento che contribuiscono anche alla sopravvivenza delle specie non allevate. Desertificazione, cambiamento climatico e tutela della biodiversità sono tre Convenzioni che hanno un diretto impatto nella regimazione e nel corretto uso delle acque.

Risorse genetiche microbiche

Nel caso dei microrganismi di interesse agrario essi svolgono un ruolo chiave nella produzione di cibo (fertilità del suolo, nutrizione delle colture, biocontrollo, biofertilizzazione), nei riguardi della conservazione delle derrate alimentari (tossine e patogeni), nella produzione di alimenti trasformati (latte e formaggi, vino, olio, ecc.). La loro presenza e la loro biodiversità è funzionale al sostentamento degli organismi viventi sulla terra e la loro utilità va rivalutata e approfondita. È grazie a questo nuovo settore scientifico che lo studio delle risorse genetiche è divenuto maggiormente ecosistemico.

Lo scenario nazionale e le recenti misure indirizzate alla Biodiversità

a) La Strategia nazionale per la Biodiversità

Il Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare ha suggerito, con la sua Strategia nazionale per la Biodiversità, alcune linee di intervento nei riguardi delle politiche agricole ecocompatibili per la gestione e la conservazione della biodiversità. Un obiettivo di salvaguardia ambientale cui è orientata finora anche la stessa Politica Agricola Comunitaria (PAC). Si tratta di uno strumento molto importante, adottato dalla Conferenza Stato-Regioni il 7 ottobre 2010 in grado di poter assicurare, nei prossimi anni, la reale integrazione tra “gli obiettivi di sviluppo del Paese e la tutela della propria biodiversità”.

La Strategia nazionale è articolata intorno a tre tematiche cardine:

- Biodiversità e servizi ecosistemici;
- Biodiversità e cambiamenti climatici;
- Biodiversità e politiche economiche.

Tra gli obiettivi più importanti vi è la conservazione della diversità biologica sia a livello di gene che di specie, sia di comunità che di ecosistema; l'utilizzazione durevole, o sostenibile, dei suoi elementi e la giusta ed equa ripartizione dei vantaggi che derivano dallo sfruttamento delle risorse genetiche e dal trasferimento delle tecnologie ad esso collegate.

Nei riguardi delle attività finalizzate all'alimentazione e all'agricoltura la SNB sottolinea alcune criticità del settore agricolo nonché precisi obiettivi, come ad esempio “favorire la conservazione e l'uso sostenibile della biodiversità agricola, nonché la tutela e la diffusione di sistemi agricoli e forestali ad alto valore naturale; mantenere e recuperare i servizi ecosistemici dell'ambiente agricolo; promuovere il presidio del territorio (in particolare in aree

marginali) attraverso politiche integrate che favoriscano l'agricoltura sostenibile con benefici per la biodiversità evitando l'abbandono e la marginalizzazione delle aree agricole”.

b) Il Piano Nazionale Biodiversità di interesse agrario

Il Dicastero delle Politiche Agricole Alimentari e Forestali, con l'attiva collaborazione di Regioni e PPAA., ha elaborato, con più di due anni di anticipo rispetto alla SNB, il Piano Nazionale Biodiversità di interesse agrario (PNBA), approvato il 14 febbraio 2008 dalla Conferenza Stato-Regioni.

Con questo Piano si dà concretamente avvio ad una nuova fase di concertazione pluriennale mediante la quale lo Stato e gli Enti Locali si impegnano, ognuno secondo le proprie competenze, alla preservazione ed alla valorizzazione delle risorse genetiche per l'alimentazione e l'agricoltura.

In questo Piano assume forte rilevanza la ricaduta a livello locale di tutte le azioni di tutela della biodiversità. Proprio per questo, al fine di garantire il collegamento tra i vari soggetti scientifici con le Regioni e le Province Autonome è stata prevista la costituzione di un “Comitato Permanente per le Risorse Genetiche” (CPRG) coordinato dal Ministero delle Politiche Agricole Alimentari e Forestali.

Prevale, pertanto, una strategia di lungo termine, volta al coordinamento di azioni da realizzare soprattutto a livello locale con lo scopo di trasferire agli operatori e a chi ne ha interesse tutte le informazioni necessarie per la salvaguardia delle risorse tipiche locali della nostra agricoltura.

La conservazione delle varietà locali assume un valore strategico con la possibilità di una sua valorizzazione all'interno del bioterritorio in un rapporto strettissimo e di dipendenza reciproca tra chi effettua la conservazione “ex situ” (banche del germoplasma) e chi salvaguarda e favorisce la conservazione “on-farm” (coltivatori custodi) .

c) Il Gruppo di lavoro per la Biodiversità (GLBA)

Al GLBA è stato attribuito il compito di definire:

- a) i descrittori per la caratterizzazione delle varietà vegetali, delle razze-popolazioni animali locali e dei microrganismi;
- b) una metodologia comune e condivisa per la ricerca e la caratterizzazione delle varietà, razze e popolazioni locali al fine di permettere il confronto dei dati nei vari territori italiani;
- c) le linee guida per la corretta conservazione “in situ”, “on-farm” ed “ex situ” delle varietà vegetali e delle razze-popolazioni animali;
- d) le linee guida per la corretta conservazione dei microrganismi “in situ” ed “ex situ”;
- e) la definizione di rischio di estinzione e di erosione genetica, attraverso soglie o criteri, per le principali specie vegetali, animali e microbiche in campo agricolo.

Il Gruppo ha redatto tre distinti manuali con le linee guida per la conservazione in situ ed ex situ della biodiversità vegetale, animale e microbica di interesse agrario. Ogni manuale potrà essere consultabile separatamente pur avendo la medesima impostazione editoriale.

A tale riguardo va sottolineato che:

- le linee guida sono indirizzate alle Regioni ed ai loro tecnici che a loro volta dovranno

utilizzarle per guidare gli agricoltori ed altri soggetti interessati alla conservazione mediante metodologie comuni, standardizzate e condivise;

- ogni manuale è snello ed essenziale, riportando, chiaramente, le diverse azioni che un operatore dovrà intraprendere per realizzare la conservazione della biodiversità di interesse agrario.

Tali manuali costituiranno un quadro di riferimento scientifico e tecnico, coerente con i principi nazionali ed internazionali con il preciso obiettivo di favorire, nel caso specifico delle risorse vegetali, l'implementazione, da parte di Regioni e Province Autonome, del Trattato Internazionale FAO per le Risorse Genetiche Vegetali per l'Alimentazione e l'Agricoltura (Legge n. 101/2004).

The Augustus Botanical code: Ara Pacis (Roma)

Speaking to the people through the images of nature

G. Caneva

Env. Biology Department, Roma Tre University, viale G. Marconi 446, I- 00146 Rome, Italy; e-mail caneva@uniroma3.it

Abstract

The study analyses the panel's botanical composition of the external fences of *Ara Pacis* (I century B.C.), which was built to celebrate the Augustus's return from expedition in Gaul and Spain, with a wish of a new peaceful age. The big decoration of the panels, of Hellenistic derivation, shows a careful knowledge of plant's world and a deep observation of Nature. In fact, through a process of image's "segmentation", and sometimes also through a "visual fusion" of the image's borders, about ninety different species were identified. The highest number was illustrated by significant small details creating a continuous process of metamorphosis. Some plants assume a recurring role (e.g. *Acanthus*, *Arum*, *Lilium*, *Nymphaea*, *Phoenix*, and over all *Carduaceae*), while others are peculiar of the context in which they have been included, such as many bulbous plants spread along the acanthous branches. That composition shows a very high plant biodiversity, and that seems clearly connected to a symbolic aim, both for the used species, and both for their reciprocal disposition and for the way they are highlighted.

The visual construction of the botanical fences testimonies the use of the images of nature to communicate to an uneducated people, but in daily relation with nature. This "botanical code", that was widely diffused way in the past, seems here, according to the Augustan message of the *Res Gestae*, to be directed to a Nature's representation in its phases of rebirth and of unending renovation, typical both of spring's processes. Rebirth, that is possible thanks to peace and unity in multiplicity, is going to be intended as the requirement for a new prosperity, a prelude of *Augustus's aurea aetas*. The composition underlines the role of symmetry and of numerical composition that leads the idea of beauty and harmony. A generative element (*Acanthus*), giving rise to all the botanical complexity, shows a model of growth inspired to a combination of elements, such as snake-like and colonial plants, having the structure of "ramets". The perspective of the Roman Empire foundation and the idea of a propagation of its model of order arise from this colonial structure. The synchronous fusion of different elements, more than been referred to a fantastic concept, could ideally underline the continuity's relationship between one species and another, as exists in Nature.

Biodiversità e pedodiversità: affinità e divergenze nell'areale italiano **PARTE III**

CASI STUDIO A LIVELLO NAZIONALE

Atlante pedologico del Piemonte. La fertilità biologica dei suoli

F. Petrella

I.P.L.A. s.p.a. – Regione Piemonte.

PARTE PRIMA: CONSIDERAZIONI GENERALI

1. Premessa

L'informazione pedologica risulta di grande utilità per il conseguimento degli obiettivi operativi della misura 111 dei PSR, in quanto costituisce una realizzazione di azioni di formazione ed informazione per le imprese agricole, per supportarle nel perseguimento degli obiettivi ambientali, in particolare rispetto alla gestione sostenibile delle risorse naturali, comprese le norme sulla condizionalità, sulla silvicoltura e sulla tutela delle acque, promuovendo la creazione di reti e sistemi per lo scambio di informazioni e per la diffusione delle innovazioni e delle buone pratiche.

È infatti fondamentale la conoscenza del suolo per indirizzare la gestione agraria verso l'applicazione delle norme di condizionalità, protezione del territorio e buone pratiche previste dall'Europa, inclusa la biodiversità che è obiettivo strategico di primaria importanza.

La presente sperimentazione ha dunque anche la finalità di ottenere risultati spendibili per introdurre gli indici di biodiversità del suolo come indicatori ufficiali per la valutazione degli effetti delle politiche rurali.

A questo scopo l'IPLA, in collaborazione con il CRA-RPS e il finanziamento della Regione Piemonte, sta procedendo al completamento dell'Atlante dei Suoli del Piemonte attraverso un'attività triennale che consente di trasferire il tema della biodiversità dei suoli agrari su base territoriale, lavoro che è il primo esempio in Italia e forse in Europa, e nel contempo di concludere la collana cartografica per le aree mancanti.

PARTE SECONDA: L'AREA STUDIO

1. La pedologia

L'area oggetto di studio è rappresentata (Figura 1) da una porzione del foglio 177 della C.T.R. (provincia di Alessandria) ed è stata scelta appositamente per le sue caratteristiche geopedologiche che consentono un'indagine che non debba tenere conto anche della variabilità dei materiali di partenza da cui si è originato il suolo. Infatti è presente una serie di pedotipi dal più antico al più recente, tutti riconducibili allo stesso 'parent material', ovvero ad un substrato litologico originato dal bacino del torrente Scrivia. Si tratta di una 'cronotopo-sequenza' di suoli che si succede dalla zona di Frugarolo-Boscomarengo, alla piana della Fraschetta (zona di S. Giuliano-Pollastra) e alle zone prospicienti l'area alluvionale recente in sinistra Scrivia (fra Villarvernia e Castelnuovo S.).

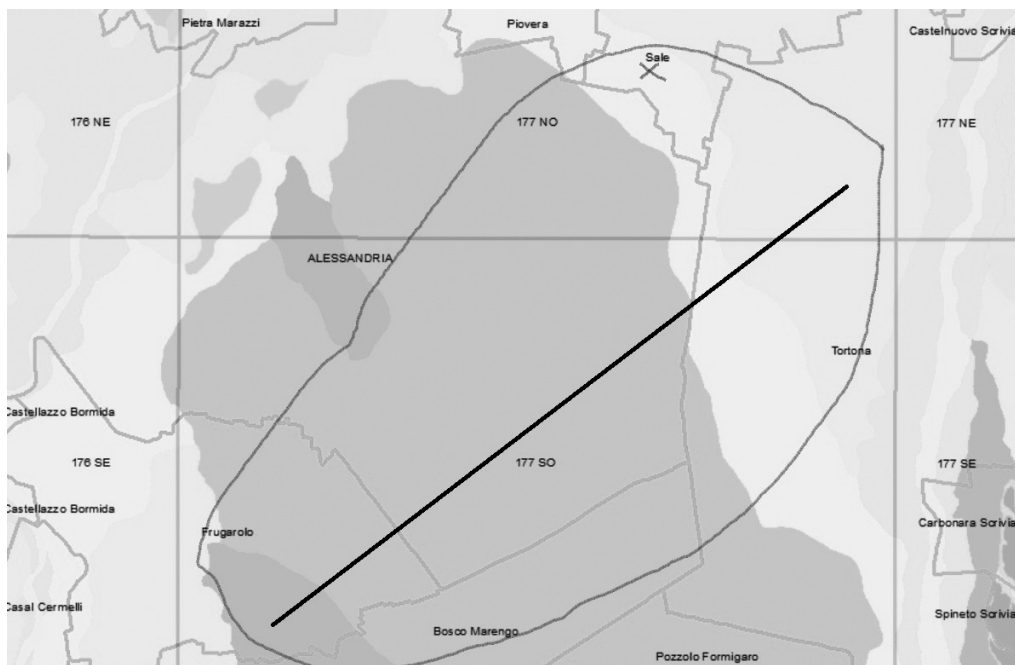
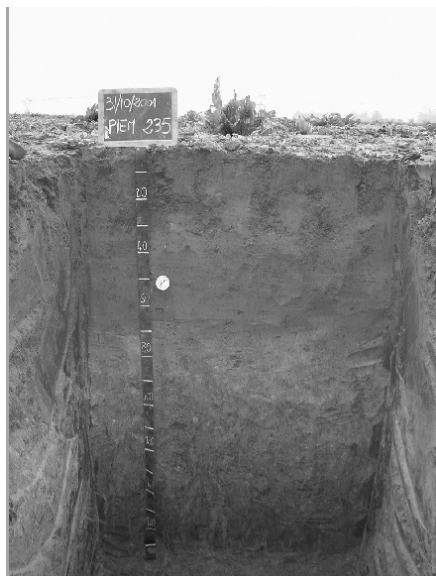


Figura 1

I suoli più importanti dell'indagine sono descritti qui di seguito:

FRUGAROLO limoso-grossolana, fase tipica Typic Fragiustalf, coarse-silty, mixed, nonacid, mesic.



Serie Frugarolo franco-grossolana.

Questi suoli traggono origine da depositi alluvionali molto antichi e i processi pedogenetici hanno agito su questi sedimenti portando alla formazione di suoli evoluti ascrivibili all'ordine degli Alfisuoli. Si tratta di terre quasi esclusivamente ad uso agrario dove prevalgono coltivazioni di frumento, mais e barbabietola da zucchero.

Sono suoli molto evoluti, profondi e privi di scheletro. Hanno una disponibilità di ossigeno moderata e drenaggio mediocre a causa della presenza di orizzonti profondi compatti che rallentano il deflusso delle acque. La permeabilità è moderatamente bassa. Sono dotati di capacità di ritenuta idrica molto alta con valori di AWC di circa 320 mm. La lavorabilità è moderata a causa dell'elevata quantità di limo.

FRASCETTA scheletrico-franca su scheletrico-sabbiosa, fase tipica Calcic Haploxeralf, loamy-skeletal over sandy-skeletal, mixed, nonacid, mesic.



Serie Frascetta scheletrico-franca su scheletrico sabbiosa.

Si tratta di suoli con colore rossastro dovuto alla rapida ossidazione del ferro che si libera in grande quantità dai ciottoli calcarei.

La terra fine è spesso completamente decarbonatata. La fertilità è moderata a causa di una non elevatissima capacità di scambio cationico. Questi suoli hanno una profondità limitata dalla presenza delle ghiaie inalterate ad una profondità di circa 60-80 cm. Sono dotati di una buona disponibilità di ossigeno e di un buon drenaggio.

SICCHÈ franco-limosa, fase tipica Fluventic Haplustept, fine-silty, mixed, calcareous, mesic.



Serie Sicchè franco-limosa.

Suoli diffusi nelle aree di pianura in sinistra idrografica Scrivia, tra Pozzolo Formigaro (AL) e Castelnuovo Scrivia (AL). Si tratta di suoli calcarei che traggono origine da sedimenti alluvionali del torrente Scrivia.

Suoli che non presentano alcun limite all'approfondimento degli apparati radicali. Sono dotati di disponibilità di ossigeno e drenaggio buoni. La capacità di ritenuta idrica è alta.

2. L'uso agrario

Nell'area oggetto di studio le dimensioni medie delle aziende sono maggiori rispetto ad altre zone del Piemonte e gli usi agricoli prevalenti sono seminativo avvicendato (cereali e prato, meno diffuse le colture industriali) e orticole in pieno campo. Poiché la zootecnia è poco praticata, i suoli hanno scarsa attitudine alla maiscoltura ed è elevata la quota di appezzamenti non irrigui, la monocultura maidicola non è tipica; la prevalenza degli avvicendamenti di seminativi è costituita da frumento tenero – mais dove possibile – prato o erbaio – pisello o soia, intercalati con orticole come patata, pomodoro da industria, cipolla. Esiste anche un numero consistente di aziende orticole specializzate.

L'area oggetto di studio coincide in parte con un'area individuata come rappresentativa per la descrizione degli agroecosistemi regionali all'interno della Rete di Valorizzazione Ambientale ("Interfaccia tra bassa pianura ad agricoltura intensiva e terrazzi alessandrini") e sulla quale sono stati effettuati rilievi di maggiore dettaglio nell'ambito dello studio per la costruzione della rete.

Nella relazione illustrativa del progetto si legge che nel corso della storia il paesaggio agrario ha subito una notevole semplificazione, legata principalmente all'intensivizzazione di alcune colture per sviluppo della rete irrigua, alla progressiva scomparsa dei prati stabili in favore dei seminativi avvicendati e la riduzione dei filari arborati tradizionali fra i coltivi. La riduzione della biodiversità ne è immediata conseguenza, tanto che sulla carta della Rete la maggior parte dei corridoi ecologici risulta da potenziare o da ricostituire.

3. La biodiversità

È noto e confermato dai monitoraggi che le colture agricole tendono ad essere serbatoi vuoti di biodiversità naturale, contenendo, almeno nello spazio subaereo, quasi esclusivamente la specie coltivata e i suoi parassiti nei limiti entro i quali non vengono sterminati. Occasionalmente alcune specie animali di passaggio vi si soffermano per nutrirsi, ma non vi stabiliscono il proprio habitat. La presenza di biodiversità naturale negli ambienti agricoli è prevalentemente legata al mantenimento e/o potenziamento degli elementi dell'agroecosistema a funzione prevalentemente paesaggistica, come siepi arbustive e arboree naturaliformi, filari alberati, fasce di rispetto inerbite, alternanza di incolti e coltivi.

Nel suolo invece la situazione appare generalmente migliore, in quanto ad esempio alcuni taxa di microartropodi, se non troppo disturbati dalle lavorazioni, tendono ad essere stanziali; prova della loro presenza costante è l'elevato grado di adattamento alla vita sotterranea, che si manifesta con la depigmentazione, la riduzione di appendici e ocelli etc.. Inoltre anche la biomassa microbica può risultare abbondante ed efficiente proporzionalmente alla frequenza delle concimazioni organiche, dell'avvicendamento con prati ed erbai, all'utilizzo di ammendanti organici di qualità.

PARTE TERZA: L'INDAGINE

Il progetto prevedeva i seguenti punti iniziali:

1. Raccolta e verifica dei dati analitici degli indicatori di I livello già presenti sul territorio

piemontese.

2. Validazione e attribuzione dei suddetti dati alle corrispondenti tipologie pedologiche.
3. Verifica della significatività della distribuzione spaziale dei dati di biodiversità validati al punto 2.

Avendo però appurato con le dott.sse Benedetti del CRA-RPS di Roma e Bardi del CRA di Torino che i dati di analisi finora ottenuti presso il Laboratorio Agrochimico della Regione Piemonte per altri progetti di collaborazione fra CRA-RPS e Regione Piemonte non possono essere equiparati a Indicatori di I livello della biodiversità dei suoli si è dovuto procedere alle fasi successive e cioè alla raccolta dei dati con campionamento ed analisi di approfondimento per i principali pedotipi del Piemonte sud-orientale senza le integrazioni dei punti 1, 2 e 3.

1. Il campionamento dei suoli

Il primo e il secondo campionamento effettuati presso la cascina Carlina (CARB90 e CARB91) hanno riguardato un suolo alluvionale recente di Scrivia (CASONE franco-grossolana) posto sulla unità cartografica U960.

Il terzo e il quarto campionamento effettuati (CARB92 e CARB93) presso la cascina Viscarda hanno riguardato il suolo SICCHE' limoso-fine nell'unità cartografica U0007.

Il quinto e il sesto campionamento effettuati (CARB94 e CARB95) presso la cascina Casano hanno riguardato il suolo FRASCHE'TTA scheletrico-franca su scheletrico-sabbiosa nell'unità cartografica U0002.

Il settimo e l'ottavo campionamento effettuati (CARB96 e CARB97) presso la cascina Pagella hanno riguardato il suolo PADERNIN franco-fine su scheletrico-franco nell'unità cartografica U0002.

Il settimo e l'ottavo campionamento effettuati (CARB98 e CARB99) presso la cascina Carlona hanno riguardato il suolo FRASCHE'TTA scheletrico-franca su scheletrico sabbiosa, fase ghiaiosa, nell'unità cartografica U1001.

Il nono e decimo campionamento effettuati (CARB100 e CARB101) presso S. Defendente hanno riguardato il suolo FRUGAROLO limoso-grossolana, nell'unità cartografica U224.

L'ultimo campionamento effettuato (CARB102) presso S. Quirico ha riguardato il suolo FRASCHE'TTA scheletrico-franca su scheletrico sabbiosa, fase ghiaiosa, nell'unità cartografica U1001.

Per ulteriori informazioni si rinvia al Sistema Informativo Pedologico dell'IPLA, accessibile dal sito-web della Regione Piemonte

2. Le aziende

Le aziende scelte per il campionamento dei suoli e la relativa analisi della fertilità biologica rispondono al criterio della metodologia utilizzata cioè il campionamento casuale-stratificato. Infatti uno degli strati è costituito dal tipo di uso: in ogni unità cartografica è stata scelta un'azienda rappresentativa (seconda informazioni da Psr) e al suo interno sono state scelte due colture rappresentative, una intensiva (cereale) ed una estensiva (prato) od orticola.

3. Tecniche di campionamento

1. Metodologia di campionamento: casuale-stratificato (rif. Klingebiel-Montgomery, 1961 e I annualità Scuola di Biodiversità, 2007 – Luigi Nisini).

La popolazione è suddivisa in strati (utilizzando una variabile ad essa correlata) all'interno dei quali le unità sono "omogenee" rispetto a tale variabile.

Gli strati utilizzati nell'area di indagine sono le informazioni della cartografia pedologica e dell'uso del suolo.

2. Da ciascuno strato si estrae un campione casuale semplice (senza ripetizione).
Il campione casuale semplice è quello prelevato negli appezzamenti aziendali.
3. L'insieme delle unità da ciascuno strato compongono il campione stratificato, che deve riprodurre la stessa composizione degli strati della popolazione.

A parità di ampiezza del campione, assicura un minore errore di campionamento rispetto al campionamento casuale semplice.

4. Le analisi e i metodi

La metodologia del lavoro prevede che il tema della biodiversità venga rappresentato mediante l'applicazione alle tipologie pedologiche piemontesi dei principali Indicatori di Qualità del Suolo, così come specificato dalle Linee Guida del Ministero delle Politiche Agricole Alimentari e Forestali, realizzate dal CRA a cura di Paolo Sequi, Anna Benedetti e Maria Teresa Dell'Abate.

Da questo testo viene tratto il metodo per calcolare l'Indice di Fertilità Biologica, così come è stato fatto per il presente lavoro (cfr. parte IV – i risultati).

Per quanto riguarda i metodi analitici, sono stati applicati quelli indicati dai riferimenti ufficiali (cfr. bibliografia).

Tutti i campioni sono stati sottoposti alle seguenti analisi:

- a) caratterizzazione chimica e fisica di routine: pH in acqua (metodo potenziometrico); tessitura apparente (metodo della pipetta) secondo le 5 classi USDA (sabbia grossolana, sabbia fine, limo grossolano, limo fine, argilla); azoto totale (metodo Kjeldhal); capacità di scambio cationico con bario cloruro a pH $8,1 \pm 0,1$ e basi di scambio (Ca, Mg, K); fosforo assimilabile (metodo Olsen);
- b) parametri per la classificazione di fertilità biologica: carbonio organico totale metodo Springer&Klee, carbonio della biomassa microbica per fumigazione-estrazione, respirazione basale.

PARTE QUARTA: I RISULTATI

1. Le analisi

Tabella 1

campioni	n lab	descr	parametri misurati e calcolati									classificazione di fertilità								
			TOC%	SO%	V media mg C/h/kg	V media mg CO2/h/kg	respirazione basale mg C/kg suolo/gg	respirazione cumulativa 27 gg mg C/kg suolo	Bc C microbico mg/kg	Q metabolico	Q mineralizzazione	punti sostanza organica	punti respirazione basale	punti respirazione cumulativa	punti C microbico	punti quoziente metabolico	punti quoziente di mineralizzazione	punteggio totale	classe	descrizione classe
CARB 90	19	mais	1.37	2.36	0.56	2.06	13.46	364	53	1.1	2.6	4	3	1	1	3	15	III	media	
CARB 91	20	prato	1.65	2.83	2.05	7.50	49.10	1,326	369	0.6	8.1	4	5	4	1	5	24	IV	buona	
CARB 92	10	pomodoro	1.38	2.38	0.99	3.63	23.76	642	158	0.6	4.6	4	5	2	1	5	22	IV	buona	
CARB 93	21	frumento	1.17	2.02	0.36	1.33	8.71	235	53	0.7	2.0	4	2	1	1	2	12	II	stress preallarme	
CARB 94	11	frumento	1.34	2.31	0.73	2.66	17.42	470	211	0.3	3.5	4	4	3	2	4	21	IV	buona	
CARB 95	12	pomodoro	1.59	2.74	0.59	2.18	14.26	385	158	0.4	2.4	4	3	2	1	3	16	III	media	
CARB 96	17	prato rotazione	1.14	1.96	1.02	3.75	24.55	663	211	0.5	5.8	3	5	3	1	5	22	IV	buona	
CARB 97	13	frumento	1.34	2.30	1.32	4.84	31.68	855	211	0.6	6.4	4	5	3	1	5	23	IV	buona	
CARB 98	14	mais	1.38	2.37	0.83	3.03	19.80	535	211	0.4	3.9	4	4	3	1	4	20	IV	buona	
CARB 99	7	frumento	1.28	2.19	0.73	2.66	17.42	470	264	0.3	3.7	4	4	3	2	4	21	IV	buona	
CARB 100	18	mais	1.14	1.96	0.36	1.33	8.71	235	105	0.3	2.1	3	2	2	2	3	14	III	media	
CARB 101	8	frumento	0.88	1.52	0.59	2.18	14.26	385	105	0.6	4.4	3	4	3	2	1	18	III	media	
CARB 102	16	pisello	1.32	2.27	0.79	2.90	19.01	513	264	0.3	3.9	4	4	3	2	4	21	IV	buona	

Velocità di respirazione in funzione del carbonio microbico

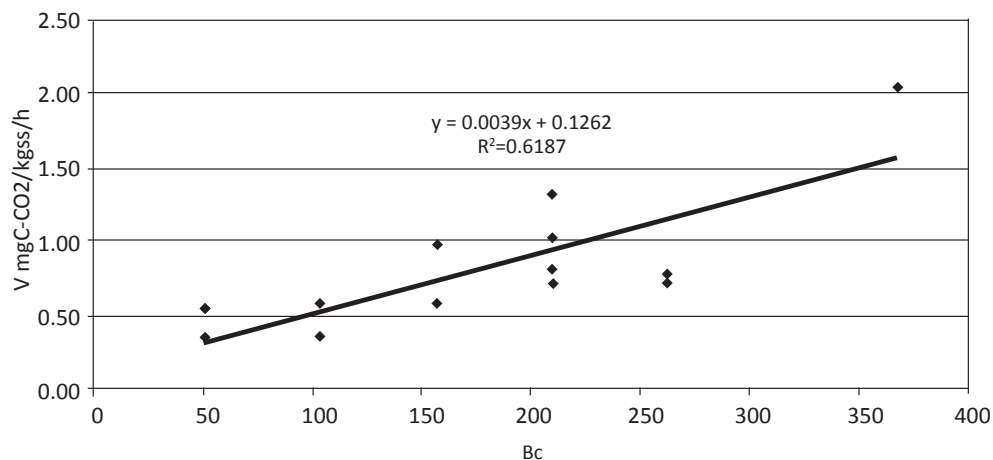


Figura 2

I dati delle analisi (Tabella 1 – colonne parametri misurati) sono stati usati per il calcolo dell'Indice che è stato riportato in tabella 1 – colonne classificazione fertilità, ottenendo un punteggio totale e la relativa attribuzione ad una classe compresa fra I e V.

In figura 2 viene riportato il test statistico elementare di verifica dei due parametri principali analizzati.

2. La metodologia cartografica

L'attribuzione, ad ogni campione rappresentativo analizzato, di una classe di fertilità non è risultata adeguata a descrivere la variabilità all'interno delle unità cartografiche, né a rappresentare un valore univoco per ogni unità cartografica.

Si è preferito prendere il valore minimo e massimo di punteggio per le coppie di campioni prelevati in ciascuna unità ed attribuire la classe di appartenenza sulla base del valore medio dei due punteggi, così come indicato in tabella 2.

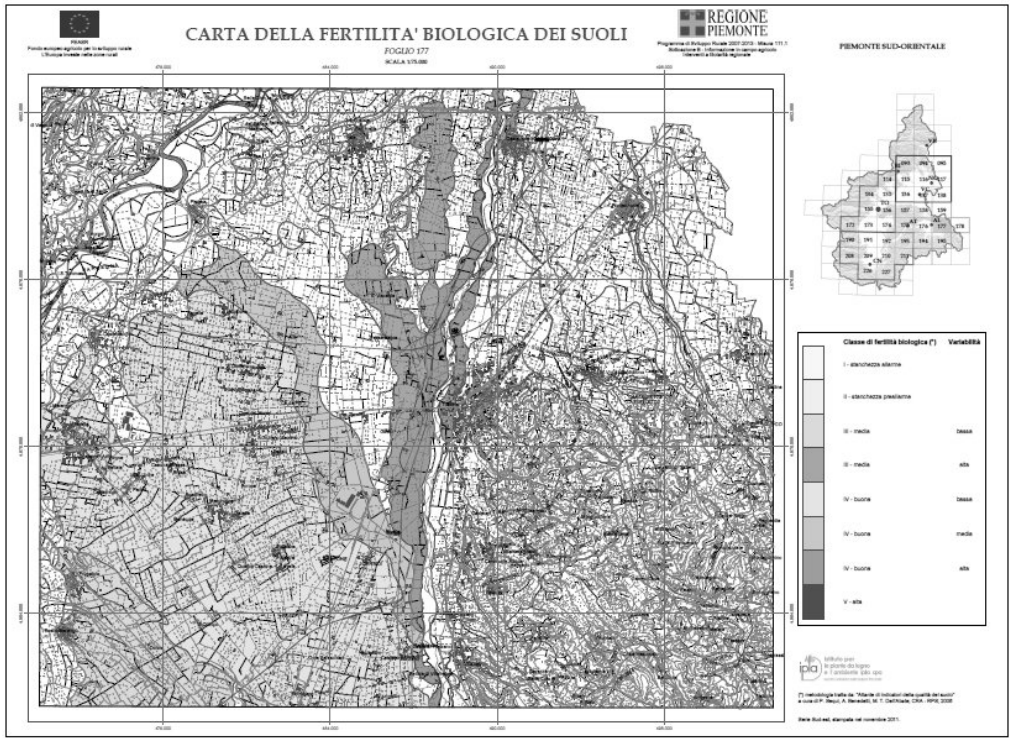
Successivamente è stato valutato l'intervallo fra il valore minimo e massimo dei punteggi per ogni coppia di campioni: maggiore è questo intervallo e maggiore è la variabilità all'interno della coppia di campioni, e, viceversa, minore è questo intervallo e minore è la variabilità della coppia di campioni all'interno della stessa unità cartografica. Il valore numerico dell'intervallo è stato classato in modo da ottenere un criterio di ulteriore suddivisione delle classi di fertilità: la ripartizione in sottoclassi che esprimono quanto nella variabilità totale è spiegabile dall'uso agronomico, in quanto si ricorda che ciascuna coppia di campioni è stata effettuata su due diversi usi, uno intensivo e l'altro estensivo.

Tabella 2

n° profilo		uso	tipologia pedologica	unità cartografica	punteggio min/max	punteggio medio	classe media	variabilità	sottoclasse di variabilità
CARB	90	mais	CSN1	U960	da 15 a 24	19.5	buona	9	alta
CARB	91	prato	CSN1	U960	da 15 a 24	19.5	buona	9	alta
CARB	92	pomodoro	SIC1	U007	da 12 a 22	17	media	10	alta
CARB	93	frumento	SIC1	U007	da 12 a 22	17	media	10	alta
CARB	94	frumento	FRS1	U002	da 16 a 23	19.5	buona	7	media
CARB	95	pomodoro	FRS1	U002	da 16 a 24	20.5	buona	8	media
CARB	96	prato rotazione	PAD1	U002	da 16 a 25	21.5	buona	9	media
CARB	97	frumento	PAD1	U002	da 16 a 26	22.5	buona	10	media
CARB	98	mais	FRS2	U1001	da 20 a 21	20.5	buona	1	bassa
CARB	99	frumento	FRS2	U1001	da 20 a 22	21.5	buona	2	bassa
CARB	100	mais	FRU1	U224	da 14 a 18	16	media	4	bassa
CARB	101	frumento	FRU1	U224	da 14 a 19	17	media	5	bassa

3. L'applicazione cartografica

Il risultato di tabella 2 è stato rappresentato, per le aree coperte dai dati analitici provenienti dai campionamenti, dalla sotto riportata cartografia ridotta, prodotta per l'Atlante in scala 1:75000, corredata di legenda.



4. Commento alla carta

Nella carta sopra riportata, ripercorrendo il transect di figura 1 da nordest a sudovest, si possono evidenziare:

- lungo il corso dello Scrivia, i suoli alluvionali recenti che hanno fertilità biologica buona ma possono risentire dell'eccessiva intensivizzazione, non essendo adattati a sopportare elevati input chimici, a causa del basso livello pedogenetico e della conseguente fragilità strutturale, anche per la frequente ghiaiosità;
- a ovest di questa zona alluvionale recente, vi è una fascia di suoli un poco più evoluti, ma caratterizzati da elevate quantità di limo. Possono dare elevate risposte produttive grazie ad una buona fertilità di partenza, ma possono 'stancarsi' perdendo biodiversità, se coltivate troppo intensivamente;
- verso sudovest, nella piana della Fraschetta vi sono aree che risultano a fertilità buona e bassa variabilità: il contenuto in argilla e il relativamente basso sfruttamento agronomico a causa dell'elevata ghiaiosità consentono a queste terre di rispondere in modo abbastanza omogeneo senza rilevanti perdite di biodiversità;
- infine, all'estremo sudovest della carta, sul terrazzo di Frugarolo, le aree denotano fertilità media, la peggiore della zona, non tanto per l'intensità colturale, quanto per la bassa dotazione naturale, a causa del significativo grado di acidificazione dovuto a pedogenesi già abbastanza avanzate.

BIBLIOGRAFIA

- IPLA-Regione Piemonte, *Atlante dei Suoli del Piemonte in scala 1:75000*, 4 voll.+ note ill., Servizi Grafici, Bricherasio, 2008.
- *Programma di sviluppo rurale della Regione Piemonte 2007-2013*, Versione vigente approvata nel marzo 2010.
- Ministero delle Politiche agricole e forestali, *Decreto 23 febbraio 2004. Approvazione dei metodi ufficiali di analisi biochimica del suolo*.
- Ministero delle Politiche agricole e forestali - Osservatorio Nazionale Pedologico e per la Qualità del Suolo, *Metodi di analisi chimica del suolo*, FrancoAngeli, 2000.
- Ministero delle Politiche agricole e forestali - Osservatorio Nazionale Pedologico, *Atlante di Indicatori della Qualità del Suolo*, CRA, Roma, 2003.
- Parisi, V., *La qualità biologica del suolo. Un metodo basato sui microartropodi*, Acta Naturalia de "L'Ateneo Parmense", 37, nn. 3-4, 2001, pp. 97-106.

Prima analisi complessiva della fertilità in funzione dei suoli della Lombardia per la realizzazione della carta della fertilità del suolo nelle aree agricole

S. Brenna¹, A. Benedetti², R. Riviuccio², A. Marchetti², R. Napoli²

1. Ente di Ricerca e Sviluppo Agricoltura e Foreste Regione Lombardia, via Pola 12, 20124 Milano.

2. Consiglio per la Ricerca e sperimentazione in Agricoltura, Centro di Ricerca per lo Studio delle Relazioni tra Pianta e Suolo, via della Navicella 2-4, 00184 Roma.

Riassunto

Lo scopo di questa indagine è rappresentato dalla prima analisi geografica della fertilità dei suoli in funzione alla loro distribuzione nelle aree agricole di pianura, per la produzione di una cartografia tematica della fertilità biologica dei suoli della regione Lombardia. Il lavoro è stato condotto a partire dall'analisi dei progetti di monitoraggio regionali, a varie scale, i cui dati sono stati armonizzati e ricondotti, sottoforma di indice di fertilità biologica (IBF) alle unità tipologiche di suolo (UTS) della cartografia in scala 1:250.000 della pianura lombarda. È stata inoltre valutata la biodiversità della mesofauna in alcune aree campione. L'analisi comparativa dei dati e il loro aggancio alle UTS ha consentito di rappresentare un primo modello cartografico di andamento della fertilità biologica.

Parole chiave: *tipologie di suolo, fertilità biologica, cartografia pedologica.*

Introduzione

Da molti anni la Regione Lombardia lavora nell'ambito pedologico ed ha prodotto carte dei suoli a varie scale. Dal 1985 al 2000 sono state condotte una serie di campagne di rilevamento e cartografia pedologica dalle scale di semi-dettaglio 1:50.000 di collina e pianura a quella regionale in scala 1:250.000. Dal 1995 al 2010 sono state elaborate interpretazioni ed applicazioni pedologiche tematiche di varia natura, ed in particolare dal 2005 è stata avviata una fase di approfondimento dei comportamenti funzionali dei suoli. In questo quadro, sono stati effettuati diversi progetti, molti con il CRA-RPS, che riguardavano il campionamento e monitoraggio dei suoli per studiarne la fertilità biologica mediante i suoi indicatori (SOILQUALIMON, AGRICO₂LTURA, FERTBIO, FERSOIL, Il suolo della provincia di Pavia, BIO-BIO, INRAN-OGM).

Con questo lavoro si è raccolto ed elaborato tutto il materiale analitico sui suoli presente in questa regione, per ottenere un nuovo prodotto che metta in relazione le caratteristiche studiate sugli indicatori della fertilità dei suoli locali con le tipologie pedologiche della carta dei suoli dell'intera area regionale di pianura. Le prime valutazioni effettuate, sui cui risultati si riferisce, hanno consentito di costruire una prima relazione geografica tra le tipologie di suolo e la biodiversità microbica, con descrizione tematica degli areali geografici corrispondenti.

Materiali e metodi

Il lavoro iniziale è stato quello di armonizzazione dei diversi progetti esistenti in quanto i diversi areali di riferimento comportavano: diverse scale di rilevamento e campionamento, da quella parcellare a quella regionale, e diverse specifiche. Per alcune indagini ogni sito corrisponde ad un singolo campionamento (generalmente l'orizzonte lavorato superficiale), per altre in una parcella sono stati prelevati campioni a diversa profondità in diversi periodi. In totale sono stati elaborati dati provenienti da sette progetti (Tabella 1), con l'armonizzazione di circa un migliaio di campioni.

Tabella 1 – Progetti nella regione Lombardia: periodo di rilievo, numero siti, prelievi e campioni elaborati.

PROGETTO	Periodo	N SITI	N PRELIEVI	N CAMPIONI
AgriCO2Itura		6	18	18
FERBIO I 05+06	2005 e 2006	200	200	200
FERSOIL POC1+2	2006-2007-2008	2	468	468
Pavia		157	185	220
INRAN_OGM	4 stagioni nel 2005	1	16	16
JRC	2009	1	35	35
SOILQUALIMON	2007-2009	44	120	131
totale		411	1042	1088

Sintesi dati relativi a variabilità parcellare e multitemporale intraspecifica alle UTS

A causa della differenza di scala dei diversi progetti, alcune indagini coprono vaste aree, ed in questo caso ogni sito corrisponde ad un singolo campionamento, mentre altre a scala di dettaglio, nel singolo sito sono stati effettuati più campionamenti di monitoraggio.

Per i progetti che occupano areali molto piccoli (a scala sperimentale parcellare), con metodi di campionamento a parcelle di maglie regolari o a raggiera, sono stati fatti degli ingrandimenti con la localizzazione dei punti di campionamento (Figura 1). Questa fase di accorpamento ed armonizzazione geografica del dettaglio campionario ha portato il numero finale dei siti armonizzati a 411, considerando sia l'accorpamento geografico che quello storico di varie ripetizioni effettuate nel tempo.



Figura 1 – Sintesi dei campioni per campionamenti parcellari a maglia quadrata (a sinistra) o a raggiera (a destra), con identificazione di campione medio per analisi su scala geografica estesa.

La seconda fase è stata quella del posizionamento geografico dei siti che hanno previsto il campionamento dei suoli e su cui sono state fatte le analisi chimico-fisiche e biologiche. È stato scelto come sistema di riferimento di coordinate proiettate quello UTM (Universale Transverse Mercator) WGS 84 fuso 32 N.

Per ciascun progetto sono state effettuate le seguenti operazioni:

- ricerca e posizionamento delle coordinate;
- trasformazione delle coordinate originarie nel sistema geografico adottato.

I siti sono tutti riportati nell'area regionale di figura 2 dalla quale si nota che la maggior parte dei campioni oggetto di monitoraggio è distribuita nelle aree agricole della collina e pianura lombarda.

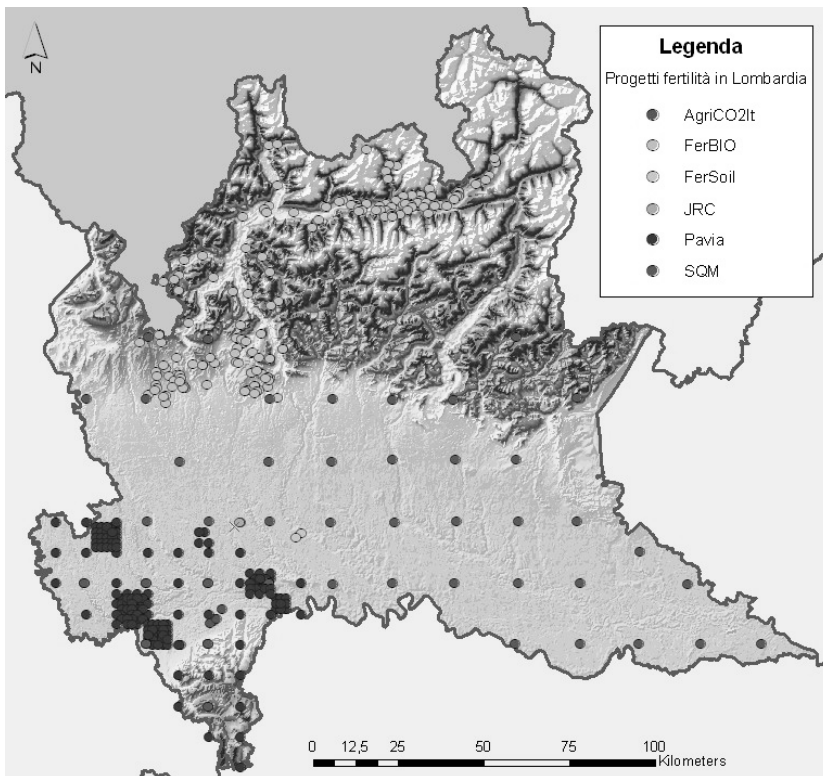


Figura 2 – Distribuzione dei siti dei progetti con dati biologici di fertilità rispetto alla regione.

Elaborazione dei dati di fertilità biologica

L'elaborazione dei dati di fertilità biologica è stata effettuata seguendo due fasi.

Prima fase: è stato effettuato il calcolo dell'indice di fertilità biologica IBF e relativa a partire dagli indici di riferimento microbiologici di uso comune nella pratica standard della definizione della qualità del suolo come **Indice di Fertilità Biologica** (IBF, Mocali e Benedetti, 2008), per la quale valutazione viene proposta una suddivisione in cinque classi, come da schema riportato in tabella 2. Gli indici considerati sono:

Cmic – Carbonio microbico – (Vance *et al.*, 1987);

Corg – Carbonio organico totale – (Springer & Klee, 1954);
 Cbas – Respirazione basale del terreno – (Isermeyer, 1952);
 Ccum – Respirazione cumulata – (Isermeyer, 1952);
 qM – Quoziente di mineralizzazione (Ccum/Corg) – (Dommergues, 1960);
 qCO₂ – Quoziente metabolico (Cbas/Cmic) – (Anderson & Domsch, 1990, 1993).

Tabella 2 – Classi di valutazione dell'indice di fertilità biologica IBF e classi relative.

Classe Fertilità	I	II	III	IV	V
Valutazione	stanchezza allarme	stress preallarme	media	buona	alta
Punteggio	0-6	7-12	13-18	19-24	25-30

Seconda fase: sono stati assegnati i valori e le classi di IBF calcolati ai suoli-capisaldo e tramite la loro attribuzione alla tipologia di suolo (UTS), riportati alle Unità cartografiche (UTS250k) della cartografia pedologica in scala 1:250.000, seguendo i criteri di assegnazione presenti nella attribuzione tipologia di suolo-unità cartografica (Figura 3).

Z	AA	AB	AC	AD	AE	AF	AG	AH	AI	AJ	AK
SO	C biom	Resp basale	Resp cumulata	QM	QCO2	TOC	IBF xls	CL IBF	CODEX	UTS250K	WRB GRPP
1.146340342	37.35253712	3.182722637	53.95755946	0.811476567	0.355031956	6.64930593	12	2	Pavia_san26	FRV1	AR
2.331282557	87.81413343	6.714829297	241.8496276	1.788495164	0.318609936	13.52252063	12	2	Pavia_vog22	SGD1	VR
0.963593919	95.75586542	6.145344996	87.6422248	1.568126931	0.267405073	5.588975169	13	3	Pavia_san52	VVO1	GL
1.419334753	16.94486206	6.334604455	141.383613	1.717321078	1.55765123	8.232800193	13	3	Pavia_san15	FRV1	AR
1.44369433	50.9284447	8.505924995	148.8388687	1.777372152	0.695904899	8.374097039	13	3	Pavia_san44	VNE1	LV
1.106600448	12.29507278	5.778630565	104.6475422	1.630329747	1.958315155	6.418796102	13	3	Pavia_san23	DAD1	LV
2.235609762	72.44119697	12.59700869	362.4153486	2.794781413	0.724553685	12.96757403	13	3	Pavia_gius31	ZIT1	CM
1.5	73.62	7.63	153.57	1.706333333	0.431834646	9.280742459	13	3	FerBio_588	VOT2	LV
1.317555491	24.33422784	1.892293167	99.52339958	1.302248123	0.324010892	7.642429871	13	3	Pavia_7PS	FRV1	AR
1.453515082	17.35069803	6.838244088	163.1664502	1.935301282	1.64216354	8.431061961	13	3	Pavia_par52	FRV1	AR
1.413631334	26.38343631	5.002151514	130.5323347	1.591912542	0.789976625	8.199717717	13	3	Pavia_par53	FRV1	AR
2.600366667	113.45	7.706666667	222.85	1.489931636	0.296822938	15.08333333	13	3	SQM_5_1_E	GRD1	LV
2.72392	55.26333333	6.783333333	172.2166667	1.096641742	0.506297296	15.8	14	3	SQM_6_4	PDN1	LV
1.809748752	59.50954389	6.596019091	208.9333615	1.990337691	0.46183202	10.49738255	14	3	Pavia_par55	VVO1	GL
1.973932888	42.74552119	5.166502342	169.4415949	1.479874576	0.503610495	11.44972673	14	3	Pavia_san37	FRV1	AR
1.342636269	70.26328814	5.949855051	127.0683804	1.631610085	0.35283095	7.787913394	14	3	Pavia_san45	VEL1	LV
1.573064857	20.01220921	7.627022817	143.7758101	1.575710598	1.58799368	9.12450613	14	3	Pavia_san11	DAD1	LV
1.153781259	62.99025524	4.625067028	106.818427	1.596099493	0.305937999	6.692466698	14	3	Pavia_san13	VNE1	LV
2.429601779	114.5906905	7.765676412	227.7008755	1.615722844	0.282370103	14.09281774	14	3	Pavia_gius11	MEG1	CM
1.308337699	42.95679384	5.627349185	170.6468915	2.248625297	0.545834225	7.588942978	14	3	Pavia_10PS	ZIT1	CM
1.426656478	34.76935588	6.239561336	193.4858258	2.338121117	0.747732351	8.275269592	14	3	Pavia_gius33	ZIT1	CM
1.4	40.16	3.81	131.6	1.645	0.395293825	8.700696056	14	3	FerBio_1124	VOT1	LV
1.5	95.46	7.11	129.75	1.441666667	0.310339409	13	14	3	FerBio_578	PDN1	LV
1.7	73.33	7.11	134.59	1.3459	0.403995636	11.02088167	14	3	FerBio_620	CUR1	LV
1.790751794	39.17116048	5.334190243	163.9095754	1.577997068	0.567401946	10.38719138	14	3	Pavia_12PS	GMR1	LV
1.479822071	52.68605388	7.034822458	212.573131	2.476487444	0.556347612	8.583654703	14	3	Pavia_piev12	VRR1	CM
2.407289265	107.7808152	6.742340083	239.8673192	1.717829528	0.260650132	13.96339481	14	3	Pavia_vog45	NOA1	VR
2.056806522	132.5980029	6.809243464	207.3036344	1.737603716	0.213968892	11.93043226	14	3	Pavia_vog44	GOD1	CM
1.733060233	44.61113019	5.924211523	189.4574576	1.884669966	0.553319644	10.05255355	14	3	Pavia_vog54	GOD1	CM
1.416183471	80.33853046	7.406473312	112.8577354	1.373880855	0.384128329	8.214521295	14	3	Pavia_san62	VRR1	CM
1.156487551	73.64542131	7.063899142	121.7906851	1.815559026	0.399657067	6.708164447	14	3	Pavia_san71	VRR1	CM
1.236377625	36.53878789	10.22553686	176.9086636	2.466807307	1.166059577	7.17156395	14	3	Pavia_san73	VRR1	CM
1.62539388	37.752	6.3504652	160.7201847	1.704704329	0.700897215	9.428038746	14	3	Pavia_par34	FRV1	AR
1.780615675	28.68001082	3.502454327	114.6905383	1.110438883	0.508840802	10.32839719	14	3	Pavia_par41	FRV1	AR
2.459573333	124.5033333	5.38	194.8066667	1.364734147	0.181931871	14.26666667	14	3	SQM_5_6	CAO1	LV
2.699784	234.05	4.886666667	290.99	1.190077127	0.054408393	15.66	14	3	SQM_6_2	VSC1	CM

Figura 3 – Esempio di tabella di database con calcolo dell'IBF e relativa classe sulla base dei singoli indici per suolo-capisaldo e legame con la tipologia della cartografia regionale (UTS250k).

Risultati

I risultati di questa elaborazione hanno portato ad una primo approccio relazionale tra l'andamento IBF e la biodiversità microbica con i tipi di suoli classificati secondo il sistema del World Reference Base (IUSS, 2006). L'analisi è stata effettuata secondo il livello dei

Gruppi Referenziali (Figura 4) e il livello dei Qualificatori, accorpati secondo proprietà diagnostiche relative a processi genetici di stessa natura (Figura 5).

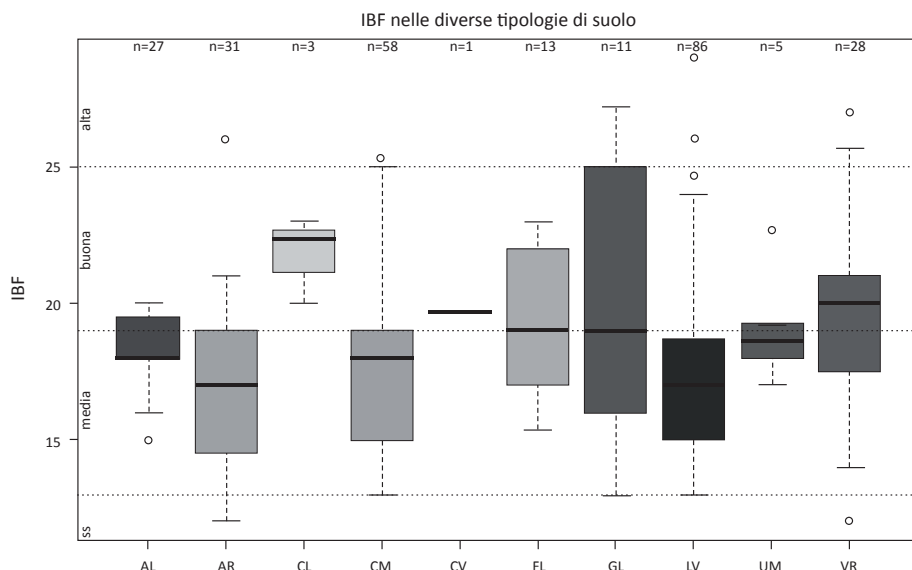


Figura 4 – Box-plot di variazione dell'indice IBF (ordinata) per Gruppi Referenziali secondo la classificazione WRB 2006 (ascissa). Legenda: AL – alisols; AR – arenosols; CL – calcisols; CM – cambisols; CV – non classificati; FL – fluvisols; GL – gleysols; LV – luvisols; UM – umbrisols; VR – vertisols.

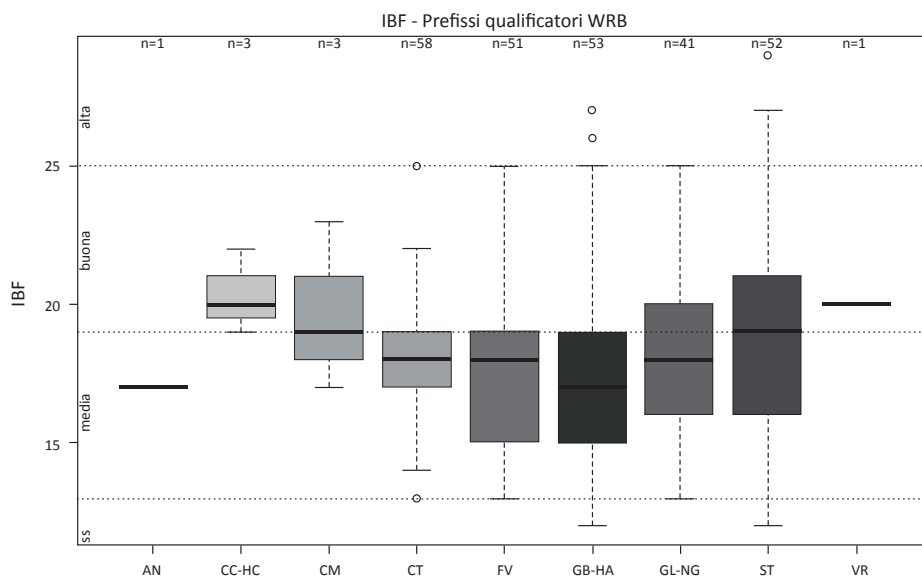


Figura 5 – Box-plot di variazione dell'indice IBF (ordinata) per Qualificatori (Prefissi I livello) secondo la classificazione WRB 2006 (ascissa). Legenda: AN – Andic; CC-HC – Calcic-Hypercalcic; CM – Cambic; CT – Cutanic; FV – Fluvic; GB-HB – Glossalbic-Hyperalbic; GL-NG – Gley-endogley; ST – Stagnic; VR – Vertic.

Da questa prima analisi su base diagnostico-classificatoria emerge che i gruppi referenziali di suoli sono quasi tutti distribuiti nella classe buona di fertilità (19-24 di punteggio IBF), eccezion fatta per i luvisols e una parte degli arenosols e dei cambisols in classe media (13-18 di punteggio IBF) in corrispondenza di pedon più desaturati ed acidi. Anche secondo i qualificatori diagnostici di I livello, ci si colloca mediamente nella classe buona, tranne che per i gruppi Fluvic, Glossalbic-Hyperalbic e Gleyc-Endogleyc, i cui valori mediani rientrano al limite della classe media. Tuttavia si può notare come vi siano per questi ultimi gruppi come per il gruppo Stagnic (fenomeni di ossidoriduzione e ristagno idrico in superficie), dei singoli campioni/suoli che possono andare sia nel range della fertilità molto elevata, sia in situazioni di pre-allarme o allarme (7-12 e 0-6 di punteggi IBF).

Relativamente al successivo approccio cartografico, è stata rappresentata la distribuzione geografica dei valori minimi, medi e massimi dell'indice IBF, e della relativa numerosità campionaria per le aree valutate (Figura 6). La numerosità campionaria utilizzata ha consentito di indagare tipi di suolo per una superficie pari al 59,6% dell'intera area agricola della collina e pianura lombarde. La rappresentazione dei risultati tematici è stata realizzata in tre cartografie distinte, dei valori minimi, medi e massimi di Indice IBF a parità di Unità Cartografica. Questo tipo di rappresentazione, piuttosto che la sola cartografia dei valori medi, consente di interpretare meglio i risultati laddove l'andamento dell'indice ha delle variazioni molto ampie rispetto ai valori medi, vale a dire dove esiste una grande variabilità intraspecifica alla unità cartografica. Si può infatti notare dai risultati come la cartografia dei valori medi di IBF (Figura 6-c) tenda ad “appiattire” i risultati, soprattutto nel caso delle aree occidentali di confine con il Piemonte, sia rispetto a situazioni di indice più elevato (IBF in classe alta) che basso (IBF in classe pre-allarme).

Conclusioni

Nell'ambito di questo primo studio è stato effettuato un tentativo di rappresentazione cartografica a scala regionale dell'IBF. Si può constatare come la considerazione dei soli processi genetici e le soglie diagnostiche a livello generale abbia una bassa capacità di differenziare le classi di fertilità dei suoli; sicuramente altre tipologie di informazioni pedologiche di maggiore dettaglio (funzionali) e anche di uso e gestione del suolo si rendono necessarie per una migliore discriminazione.

La variabilità dei caratteri dei suoli può essere studiata da suolo a suolo o all'interno di una singola tipologia di suolo; ovvero le relazioni potranno essere studiate tra suoli diversi (variabilità “extraspecifica”) oppure all'interno di una tipologia (variabilità “intraspecifica”) per verificarne la variabilità interna.

Con un successivo approfondimento si potrebbe cercare di capire l'influenza dei fattori di gestione che regolano queste variazioni, come dimostrato dall'andamento localmente molto diversificato degli indici di IBF.

La rappresentazione cartografica di valori di IBF relativi al suo range minimo-massimo, ai valori medi e alla numerosità campionaria dell'informazione su base geografica rappresentano invece un utile e più completo strumento per la valutazione del dato e per il suo utilizzo in fase di pianificazione.

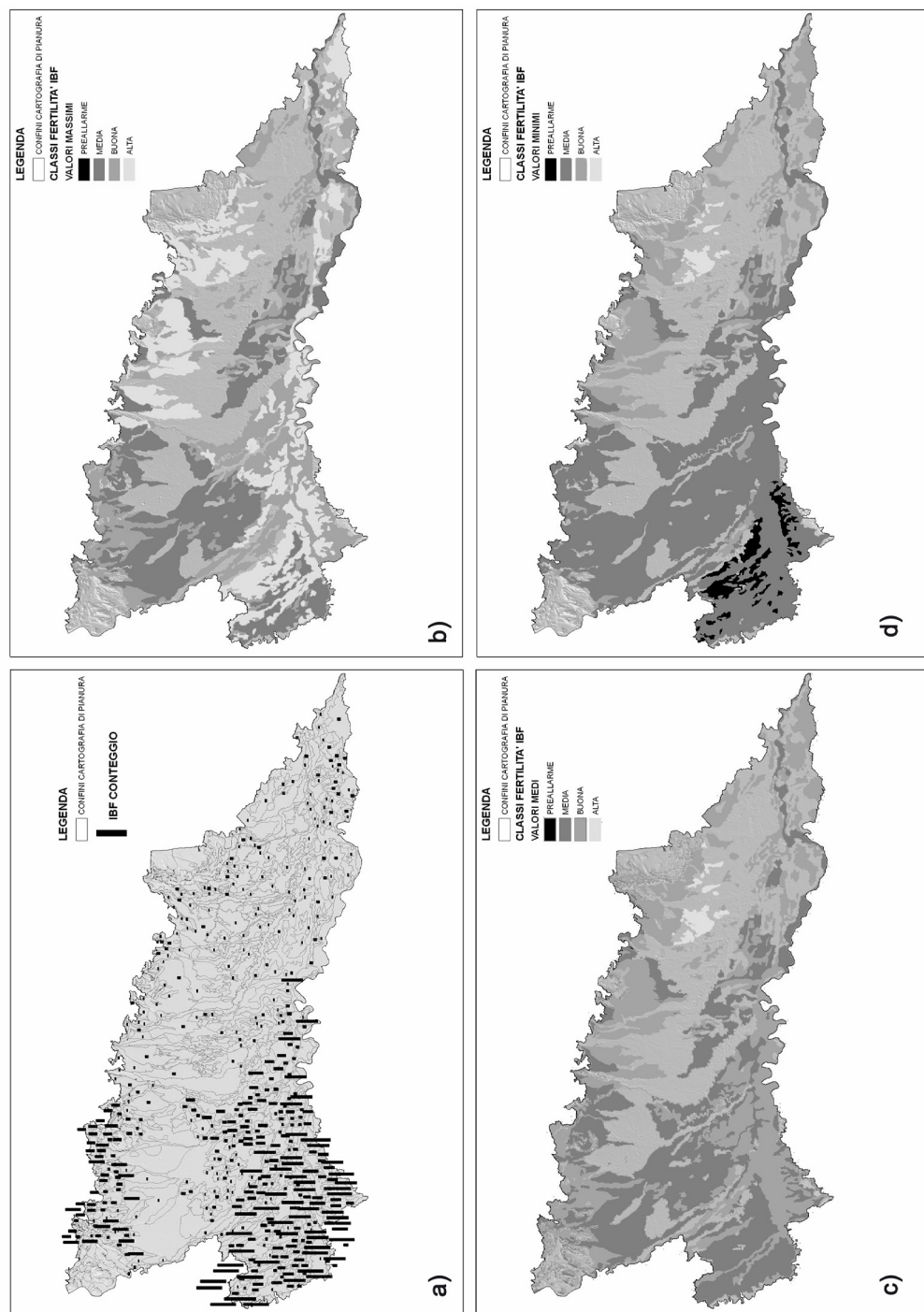


Figura 6 – Distribuzione e numerosità campioni nelle unità cartografiche (a) e cartografie dell'IBF su base suolo, valori minimi (b), medi (c) e massimi (d).

BIBLIOGRAFIA

- Anderson, T.H., Domsch, K.H., *Application of eco-physiological quotients (qCO_2 and qD) on microbial biomasses from soils of different cropping histories*, Soil Biol. Biochem., 22, 1990, pp. 251-255.
- Anderson, T.H., Domsch, K.H., *The metabolic quotient for CO_2 (qCO_2) as a specific activity parameter to assess the effects of environmental conditions, such as pH, on the microbial biomass of forest soils*, Soil Biology and Biochemistry, vol. 25, n. 3, 1993, pp. 393-395.
- Cenci, R.M., Sena F., *Bio-Bio Project, Biodiversity-Bioindication to evaluate soil health*, Institute for Environment and Sustainability (IES), EUR 22245, 2006.
- Cenci, R.M., Sena, F., *Il Suolo della Provincia di Pavia (Parte due)*, Institute for Environment and Sustainability (IES) EUR 22132 IT/2, 2007.
- Bloem, J., Hopkins, D., Benedetti, A., *Microbiological methods for assessing soil quality*, CABI Publishing, 2006.
- Dommergues, Y., *La notion de coefficient de minéralisation du carbone dans le sols*, L'Agronomie Tropicale, XV (1), 1960, pp. 54-60.
- *FerSoil: un progetto per la comprensione della fertilità biologica dei suoli a vocazione cerealicola foraggera*, Realizzato nell'ambito del progetto: "La gestione della fertilità biologica dei suoli nelle coltivazioni cerealicole e foraggere della pianura padana – FerSoil" Bando della ricerca 2004-2006 della D.G. Agricoltura della Regione Lombardia D.G.R. n. 7/17326 del 30.04.2004.
- Isermeyer, H., *Eine einfache Methode zur bestimmung der Bodenatmung und der Karbonate im Boden*. Z., Pflanzenernähr. Bodenk., 56, 1952, pp. 26-38.
- IUSS WORKING GROUP WRB, *World reference base for soil resources*, World Soil Resources, Report No. 103. Rome, FAO, 2006.
- Mocali, S., Benedetti, A., *Analisi a livello suolo in Caporali F. (coord.), Indicatori di biodiversità per la sostenibilità in agricoltura*, ed. ISPRA, 2008, pp. 159-208.
- Mocali, S., Dentice, A., Marcucci, A., Cardellicchio, M., Benedetti, A., *Impact of different transgenic corn varieties on microbial activity and soil quality*, 11th International Symposium on Microbial Ecology – ISME – 11, Vienna Austria 20-25 agosto, 2006, libro degli abstract, p. 358.
- Mocali, S., Mellina, A., Dentice, A., Benedetti, A., *Impact of different transgenic crops on rhizospheric microbial activity and soil organic matter*, European geosciences Union (EGU) General Assembly 2006, Vienna Austria 2-7 aprile, Geophysical Research Abstracts, SSS16, 06292 – 1WE10- 003, cd-rom ISS, p. 364.
- Springer, U., Klee, J., *Prüfung der Leistungsfähigkeit von einigen wichtigen verfahren zur Bestimmung des Kohlenstoffes mittels Chromschwefelsäure sowie Vorschlag einer neuen Schnellmethode*. Z., Pflanzenernähr. Dung. Bodenk., 64, 1954, pp. 1-26.
- Vance, E.D., Brookes, P.C., Jenkinson, D.S., *An extraction method for measuring soil microbial biomass C.*, Soil Biol. Biochem., 19, 1987, pp. 703-707.

La fertilità e gli indicatori microbiologici del suolo in funzione della variabilità pedologica ed uso del suolo del Lazio: prima analisi comparativa dei trend della biodiversità

R. Napoli, R. Riviuccio, B. Pennelli, A. Marchetti, A. Benedetti

Consiglio per la Ricerca e la sperimentazione in Agricoltura, Centro di Ricerca per lo Studio delle Relazioni tra Pianta e Suolo, Via della Navicella 2/4-00184 Roma.

Autore corrispondente: rosario.napoli@entecra.it

Riassunto

Lo studio avviato per il territorio della Regione Lazio rappresenta un inizio nella esplorazione di tali relazioni, sulla base del pregresso di conoscenze acquisite dal CRA-RPS nell'ambito di vari anni di progetti di monitoraggio della biodiversità del suolo (BIORELA 2004-2006 e 2009-2011).

L'utilizzo delle informazioni riguardanti l'andamento dei principali indicatori microbiologici provenienti dai progetti di monitoraggio della biodiversità, ha infatti consentito di verificare alcune relazioni con la pedodiversità dei suoli e con il loro uso, attraverso il confronto con le informazioni provenienti dai suoli della cartografia pedologica esistente, dei Sottosistemi di suolo in scala 1:500.000, e dell'uso del suolo (EEA – Progetto Corine Land Cover 2006). L'obiettivo dell'indagine è quello di individuare relazioni degli indicatori microbiologici concorrenti a costruire l'indice di fertilità biologica (IBF), con i suoli del Lazio a due diverse scale di variabilità, sia diagnostica (classificazioni e caratteri diagnostici principali) sia funzionale (principali caratteri fisici e chimici). Tali relazioni possono rappresentare un primo passo verso la costruzione e validazione di una cartografia della biodiversità del suolo a livello regionale.

I primi risultati hanno dimostrato interessanti relazioni con alcuni gruppi referenziali di classificazione del sistema World Reference Base, e anche buone e evidenti correlazioni con alcuni parametri fisici e chimici di base, evidenziando delle soglie di correlazione con i livelli di stress e pre-allarme biologico.

Parole chiave: *biodiversità, indicatori microbiologici, pedodiversità, uso del suolo, Lazio.*

Introduzione

Per studiare e interpretare in maniera appropriata la variabilità della biodiversità nel suolo è fondamentale riferirla alla variabilità dei tipi di suoli, o variabilità pedologica, e al modo in cui tali suoli sono gestiti, ovvero l'uso del suolo. Si è infatti manifestata da parte della comunità dei ricercatori biologi e, in particolare, microbiologi del suolo l'esigenza di investigare le relazioni tra biodiversità del suolo e pedodiversità, intesa come variabilità dei caratteri sia genetici che funzionali dei suoli in relazione al loro utilizzo.

Lo studio della biodiversità del suolo, specialmente se inteso, in prima approssimazione, come espressione della fertilità biologica, pur essendo molto complesso è fondamentale per comprendere le potenzialità del suolo stesso e quindi il turnover degli elementi nutritivi. Tra l'altro i parametri biologici sono tra i meno conosciuti e monitorati, ma tra i più significativi a livello diagnostico.

La fertilità biologica e la diversità microbica di un suolo sono in stretta relazione con la frazione organica. Potrebbero infatti esistere suoli con alta percentuale di sostanza organica e scarsa popolazione microbica o viceversa; pertanto è importante avviare approfondimenti di studio che esplorino le relazioni tra variabilità microbiologica e pedologica, e in particolare come le variazioni del pedoambiente influenzino il turnover microbiologico.

Sulla base della Legge Regionale 1 marzo 2000, n. 15 “Tutela delle risorse genetiche autoctone di interesse agrario” avente finalità di favorire e promuovere iniziative in difesa della biodiversità in campo agricolo, si è sviluppata da diversi anni una collaborazione tra CRA – Centro di Ricerca per lo Studio delle Relazioni tra Pianta e Suolo (CRA-RPS) e Regione Lazio, in particolare con l'Agenzia Regionale per lo Sviluppo e l'Innovazione dell'Agricoltura del Lazio (ARSIAL), al fine di tutelare il patrimonio di diversità microbica del suolo della regione con due diversi programmi di monitoraggio della fertilità biologica e della diversità microbica dei suoli del Lazio (2005-2006 e 2010-2011). A seguito di questi programmi, dello sviluppo della cartografia pedologica e della banca dati dei tipi di suolo, sviluppati e mantenuti da CRA-RPS (Progetto ANFIBIO e ARCAN) per conto del MI-PAAF, si è quindi concretizzata l'ipotesi di studio delle relazioni tra biodiversità e diversità pedologica.

Caratteri pedologici genetici e funzionali potenzialmente connessi alla biodiversità del suolo

In relazione alle caratteristiche del pedoambiente favorevoli ai microrganismi, ipotesi sulla base degli studi effettuati sulle comunità microbiche asseriscono che l'80% dei batteri del suolo vive nei micropori degli aggregati di suolo, che evidentemente garantiscono condizioni più favorevoli alla crescita microbica (Ranjard and Richaume, 2001), vivendo in “*hot spots*”. Questi si distribuiscono in maniera casuale, crescente via via che si procede in profondità nel *bulk soil* (Nunan *et al.*, 2002), ed attaccati alle superfici degli aggregati: più piccole sono e maggiore è la diversità microbica e viceversa. Inoltre le dimensioni delle particelle hanno un impatto sulla diversità e la struttura delle comunità microbiche più evidente di quanto non facciano pH e sostanza organica (Sessitsch *et al.*, 2001). La loro presenza (Figura 1) diminuisce ponderatamente all'aumentare della profondità, a causa della riduzione delle caratteristiche favorevoli del pedoambiente.

La natura e qualità dei composti organici derivanti dalla umificazione della sostanza organica depositata sulla superficie del suolo è inoltre fondamentale nel definire non solo le tipologie di comunità ma anche la capacità e velocità di attacco e mineralizzazione dei composti stessi, a parità di condizioni pedoclimatiche (regime idrico e termico) che definiscono le variazioni di temperatura e di umidità del microambiente all'interno del suolo.

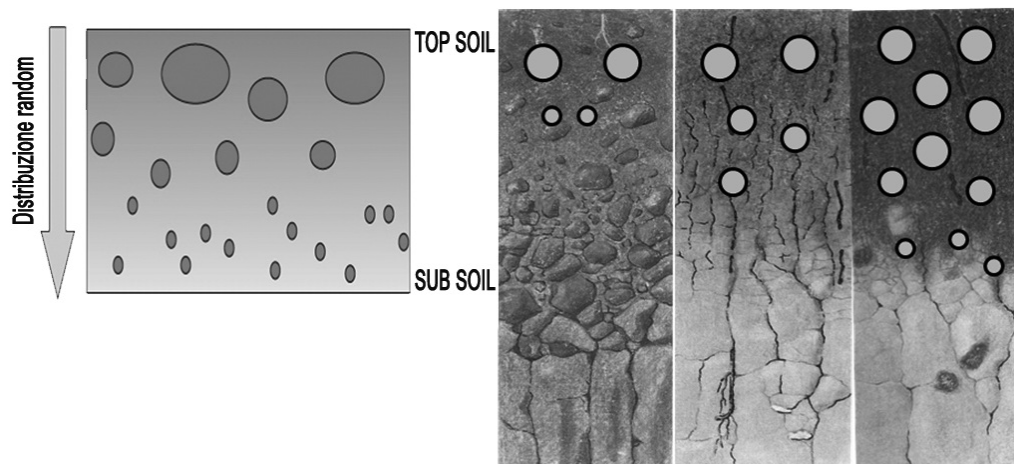


Figura 1 – Schema semplificato di distribuzione delle comunità microbiche e della variazione con la profondità nei vari tipi di suolo.

Partendo da queste considerazioni, si possono fare una serie di ipotesi sulle tipologie di caratteristiche pedologiche che possono influenzare lo sviluppo della attività microbica in generale. Si distinguono quindi ad un livello più alto *caratteristiche genetiche*, definite dai criteri diagnostici dei vari sistemi di classificazione (es. epipedon melanici dei suoli vulcanici), e ad un secondo livello a maggior dettaglio *caratteri e qualità funzionali del suolo*, che non hanno incidenza ai fini classificatori ma sono pertinenti alla definizione di diverse possibilità di gestione.

In tabella 1 si riporta uno schema dei principali caratteri di possibile correlazione al Livello I (genetici) e Livello II (funzionali) per le tipologie di suolo presenti nella Regione Lazio, e quelli verificati in questa prima fase di studio.

Tabella 1 – Parametri di classificazione diagnostici, caratteri funzionali e loro descrizione presi in considerazione e verificati nello studio per i due livelli di indagine (I e II).

Livello I – Criteri diagnostici per caratteri genetici	Descrizione/note	Verificata
Tipologia e classificazione degli Humus	Solo per gli orizzonti organici, nelle aree agricole vale per i soli Histosuoli, altrimenti si utilizza nelle aree con copertura forestale	No
<u>Andosuoli Vulcanici</u>		
Orizzonte Melanico	Presenza composti organo-metallici a alto peso molecolare	Si
Proprietà Andiche	Da suddividere eventualmente in Si-Andiche o Alu-Andiche a seconda di presenza di Si o Al liberi	Si

Livello I – Criteri diagnostici per caratteri genetici	Descrizione/note	Verificata
Proprietà Vitriche	Presenza di materiali vetrosi nella frazione sabbiosa	Si
<u>Altri suoli</u>		
Orizzonte Histico	Sostanza organica indecomposta prevalente in peso (torbe)	No
Orizzonte Gypico	Accumulo Sali CaSO_4	No
Orizzonte Salico	Accumulo Sali più solubili di CaSO_4	No
Orizzonte Argico	Di illuviazione argilla	Si
Orizzonte Albico	Eluviale molto povero di sostanza organica	No
Caratteri Vertici	Presenza fessure e slickensides dovute a minerali argillosi fortemente espandibili	Si
Orizzonte Calcico	Presenza di accumulo secondario di carbonati di origine pedogenetica, relazionato con alte percentuali di ione calcio attivo in soluzione circolante nel suolo	Si
Livello II – Caratteristiche e Qualità Funzionali		
<u>Chimico-fisico di base e descrittive morfologiche</u>		
Tessitura	sabbia %, limo %, argilla % (classe tessiturale USDA)	Si
pH		Si
Capacità di Scambio Cationico Totale		No
Carbonati totali	CaCO_3 totale	Si
Struttura orizzonti	Tipo e grado aggregazione	No
Colore orizzonti	Colore Munsell	No
Rapporto limo/argilla	Indicatore su stato di alterazione matrice minerale rispetto al Parent Material	No
<u>Fisico-idrologiche</u>		
Massa volumica apparente (g/cm ³)	Metodo del carotaggio a volume costante	Si
Packing density	[Massa Vol. App. + 0.009 x argilla (%)] – esprime il grado di compattazione della matrice solida	Si
Capacità di Acqua Disponibile	(AWC - mm) ricavata da dati curva ritenzione caratteristica	No
Punto di Appassimento	mm H ₂ O	No

Capacità di Campo	mm H ₂ O	No
Permeabilità satura K _s	cm/day – velocità con cui l'acqua circola nel suolo	No
<u>Pedoclimatiche</u>		
Regime idrico	aquico, udico, ustico, xerico, (percentuale e distribuzione giorni con suolo umido e/o secco e /o saturo di acqua – nel caso degli aquici)	No
Regime termico	criico, frigido, mesico, termico (temperatura media del suolo a profondità superiori ai 20-30 cm)	No

Materiali e metodi

La cartografia pedologica e di uso del suolo della Regione Lazio

Al momento attuale, in attesa del Piano di rilevamento per la realizzazione della Carta dei Suoli in scala 1:250.000 della Regione Lazio prevista e finanziata dal MIPAAF nell'ambito del Programma "Agricoltura e Qualità" a livello nazionale e coinvolgente tutte le regioni d'Italia, il livello cartografico attualmente elaborato è quello dei Sistemi di Suolo in scala 1:500.000 nell'ambito delle attività svolte dal CRA per il mantenimento delle basi dati dei suoli nazionali (CRA-ABP e CRA-RPS, Progetto BIODATA).

Allo stato dell'arte, le informazioni pedologiche presenti sul territorio regionale e acquisite in banca dati dal CRA derivano da vari progetti, sia legati ad attività sperimentale che di tipo nazionale (Progetto AGRIT MIPAAF), ammontando ad un totale di 1306 osservazioni pedologiche: 248 profili con analisi routinarie e 1058 osservazioni speditive di altro tipo (pozzetti e trivellate), parzialmente completi di descrizione morfologica, classificazione e/o analisi.

La cartografia di uso del suolo regionale fa riferimento al Progetto CORINE Land Cover Europeo, utilizzato per la copertura del territorio di tutti gli Stati Nazionali, nella sua ultima versione aggiornata al 2006. Poiché il Progetto Corine prevedeva una legenda abbastanza dettagliata che arriva al IV livello, in relazione alla scala cartografica di riferimento (1:100.000) per rendere compatibile il dettaglio di indagine con quello dei Sistemi di Suolo si è deciso di utilizzare le classi fino al II livello, riportate in tabella 2.

Tabella 2 – Classi di Uso del Suolo al II livello e loro descrizione (EEA – Progetto Corine Land Cover, 2006).

Codice CLC	Descrizione classe
21	Seminativi e colture intensive
22	Colture arboree (oliveti, frutteti e frutteti minori)
23	Prati stabili (foraggiere permanenti)
24	Sistemi colturali e particellari complessi, e aree agricole con spazi naturali
31	Boschi con prevalenza di castagno (*)

(*) Questa classe è stata indagata solo per due siti di monitoraggio e non riportata in cartografia per problemi di dettaglio di visualizzazione.

Campionamenti di monitoraggio Biodiversità e Tipologie di suolo indagate

I progetti fin qui condotti di monitoraggio della Biodiversità del suolo del Lazio (Progetti BIORELA 2004-2006 e BIORELA 2010-2011) hanno investigato rispettivamente 100 e 88 siti; tra tutti i dati raccolti, a titolo esemplificativo nel presente lavoro sono stati esaminati n. 127 suoli comprensivi di analisi chimico-fisiche e microbiologiche, rappresentativi di 21 Unità Cartografiche e relative Tipologie di suolo in aree prevalentemente agricole.

Metodologia di analisi esplorativa sulle relazioni tra indici di biodiversità e pedodiversità dei suoli

L'esplorazione delle relazioni tra biodiversità e pedodiversità parte dalla presa in considerazione di indici di riferimento microbiologici oramai di uso comune nella pratica standard della definizione della qualità del suolo come **Indice di Fertilità Biologica (IBF)**. Gli indici considerati sono stati:

Cmic – Carbonio microbico – (Vance *et al.*, 1987);

Corg – Carbonio organico totale – (Springer & Klee, 1954);

Cbas – Respirazione basale del terreno – (Isermeyer, 1952);

Ccum – Respirazione cumulata – (Isermeyer, 1952);

qM – Quoziente di mineralizzazione (Ccum/Corg) – (Dommergues, 1960);

qCO₂ – Quoziente metabolico (Cbas/Cmic) – (Anderson & Domsch, 1990, 1993).

Per il calcolo dell'IBF e le classi di allarme e pre-allarme è stato utilizzato come riferimento a quanto descritto la tabella di valutazione (Figura 2) sviluppata per il I livello (Mocali e Benedetti, 2008).

Parametri utilizzati	Punteggio				
	1	2	3	4	5
Sostanza organica (%)	<1	1 - 1,5	1,5 - 2	2 - 3	>3
Respirazione basale (ppm)	<5	5 - 10	10 - 15	15 - 20	>20
Respirazione cumulativa (ppm)	<100	100 - 250	250 - 400	400 - 600	>600
Carbonio microbico (ppm)	<100	100 - 200	200 - 300	300 - 400	>400
Quoziente metabolico	>0,4	0,3 - 0,4	0,2 - 0,3	0,1 - 0,2	<0,1
Quoziente di mineralizzazione	<1	1 - 2	2 - 3	3 - 4	>4

Classe Fertilità	I	II	III	IV	V
Valutazione	stanchezza allarme	stress allarme	media	buona	alta
Punteggio	0-6	7-12	13-18	19-24	25-30

Figura 2 – Schema di valutazione dell'indice di fertilità biologica IBF e classi relative.

Un altro indicatore utilizzato per la verifica di relazione con la variabilità pedologica è il rapporto tra carbonio microbico (Cmic) e carbonio totale nel suolo (TOC). Questo indicatore, espresso in percentuale, definisce la relazione tra frazione di carbonio organico “attiva” e “passiva” all'interno del contenuto totale di sostanza organica, ed è considerato da molti autori come un indicatore di salute/stress della comunità microbica del suolo; in particolare, a parità di contenuto di carbonio organico totale, tanto più alto è il livello di Cmic tanto maggiore è lo stato di salute di una comunità e quindi a basso stress (Magdoff and Weil, 2004).

L'andamento di queste variabili (Bloem *et al.*, 2006) è stato assegnato, a seconda del posizionamento dei punti di monitoraggio, ai vari tipi di suolo riportati dalla cartografia dei Sistemi del Lazio, con particolare riferimento alle diverse tipologie di suolo principali (STS) presenti in ogni unità cartografica. Una fase di ulteriore controllo puntuale ha consentito di verificare la corretta corrispondenza con questa informazione pedologica, attraverso una serie di parametri e caratteri chimico-fisici degli orizzonti superficiali oggetto del campionamento di biodiversità (classe tessiturale, carbonio organico totale, pH, $\text{CaCO}_3\%$).

L'esplorazione delle relazioni è stata effettuata a vari livelli, partendo da una analisi generale dell'andamento dell'IBF in riferimento ai tipi di suolo e alle classi di uso del suolo.

Successivamente, sono stati esplorati più in dettaglio: a) gli andamenti di alcuni parametri del suolo, stazionali e climatici, con l'applicazione di analisi di correlazione; b) distribuzione di andamento dei valori dei singoli indici, raggruppati per livello generale di gruppo referenziale secondo il sistema di classificazione del World Reference Base (IUSS WRB, 2006) e per la presenza/assenza di orizzonti, proprietà e materiali diagnostici, correlati a proprietà e processi pedogenetici e relazionati a precise soglie analitiche e/o di riconoscimento morfologico; c) un livello di maggiore dettaglio con i singoli caratteri "funzionali" del suolo sia di tipo chimico, biochimico che fisico, quali classe tessiturale (USDA), massa volumica apparente e packing density (indicatore di addensamento particellare che relaziona la massa volumica apparente alla % di argilla granulometrica – Thomasson, 1992), contenuto % in CaCO_3 , pH, contenuto in carbonio organico. Inoltre sono stati confrontati i Gruppi referenziali di suolo con l'andamento dell'indice Cmic/TOC , indicante il rapporto tra pool attivo della frazione organica rispetto al totale.

Discussione e risultati

Primi risultati dell'analisi e trend di relazione a livello generale

La prima analisi qualitativa (Figura 3) mostra come in generale la distribuzione dei valori di IBF si attesti nelle classi buona e media su tutti i tipi di suoli, in quella elevata in corrispondenza di Luvisols (Chromic e Cutanic), Phaeozems (Calcaric, Leptic e Luvic), mentre raggiunge soglie negative di stress e pre-allarme in alcune particolari situazioni con Arenosols (Hypoluvic e Calcaric) e in pochi siti con Cutanic Luvisols.

Nel boxplot (IBF-CLC) di figura 4, la valutazione dell'IBF rispetto alle diverse classi di uso del suolo dei campioni esaminati si attesta prevalentemente tra media e buona, sebbene con una certa dispersione, ad eccezione delle classi 23 (prati stabili) e 31 (zone boscate) che non hanno una rappresentatività sufficiente. La dispersione nelle diverse classi indica che la variabilità dell'IBF non è dovuta solo al diverso uso suolo ma presumibilmente concorrono altri fattori specifici nei diversi siti.

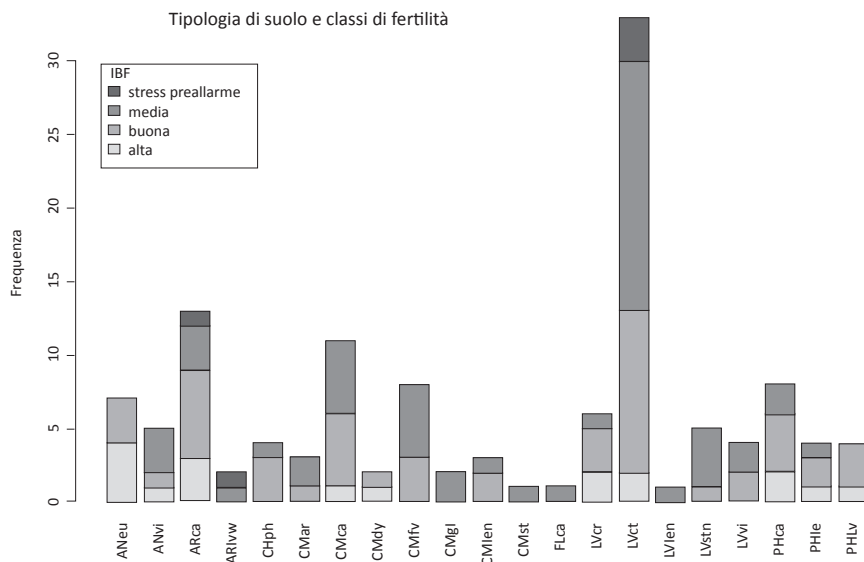


Figura 3 – Istogramma cumulativo delle classi di IBF in relazione alla numerosità campionaria per le tipologie di suolo indagate. Legenda: Eutric Andosols – ANeu; Vitric Andosols – ANvi; Calcaric Arenosols – ARca; Hypoluvic Arenosols – ARLvw; Pachic Chernozems – CHph; Arenic Cambisols – CMar; Calcaric Cambisols – CMca; Dystric Cambisols – CMdy; Fluvic Cambisols – CMfv; Gleyic Cambisols – CMgl; Endoleptic Cambisols – CMLen; Stagnic Cambisols – CMst; Calcaric Fluvisols – FLca; Chromic Luvisols – LVcr; Cutanic Luvisols – LVct; Endoleptic Luvisols – LVlen; Endostagnic Luvisols – LVstn; Vitric Luvisols – LVvi; Calcaric Phaeozems – PHca; Leptic Phaeozems – PHle; Luvic Phaeozems – PHLv.

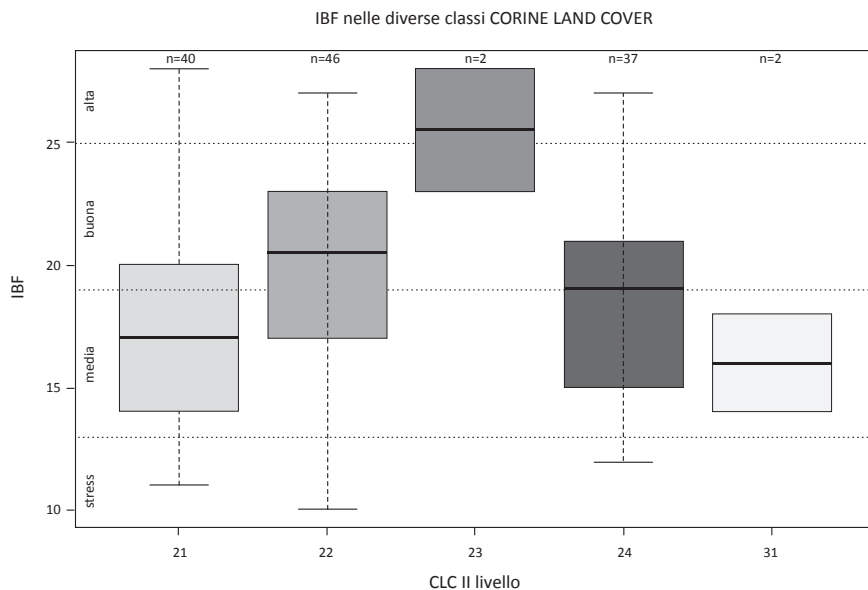


Figura 4 – Box-plot dell'andamento dei valori di IBF in relazione ai vari tipi di copertura ed uso del suolo fin qui oggetto di monitoraggio, secondo la legenda CORINE riportata in tabella 2.

Valutazione della correlazione diretta parametri: interni e stazionali con indici microbiologici

Il primo step di indagine è stato condotto con un'analisi generale di tutti i suoli-caposaldo prendendo in considerazione i valori interni e alcuni aggiuntivi morfo-stazionali e climatici (ETP, quota, esposizione, precipitazione), non raggruppati per tipo di suolo ma sottoforma di matrice generale. L'analisi di correlazione (Tabella 3) mostra relazioni molto basse tra valori in generale e non significative singolarmente. Valori più alti e appena al di sotto della soglia di significatività sono rilevati con l'evapotraspirazione potenziale (ETP) media annua, la temperatura media annua ed il contenuto di sostanza organica. Questi risultati di bassa significatività ci hanno spinto verso la considerazione di confrontare gli indici microbiologici raggruppandoli per tipo di suolo e per classi di caratteri funzionali, per esplorare andamenti coerenti con la diversità pedologica dei vari ambienti.

Tabella 3 – Matrice di correlazione tra caratteri interni, morfo-stazionali e climatici dei singoli suoli-caposaldo e indicatori microbiologici. In grigio scuro e chiaro evidenziati i valori a correlazione rispettivamente elevata e moderata.

	C_MIC	C_BAS	C_CUM	ARGILLA	ASPECT	CACO3	DEM_ELEV	ETP_ANNO	LIMO	pH	PREC_ANNO	SABBIA	SOM	TEMP_ANNO
C_MIC	1	0.65	0.71	0.26	0.02	0.21	0.34	-0.45	0.02	0.13	0.21	-0.2	0.37	-0.41
C_BAS	0.65	1	0.82	0.06	-0.13	0.38	0.37	-0.45	0.1	0.21	0.23	-0.08	0.39	-0.38
C_CUM	0.71	0.82	1	0.21	-0.16	0.35	0.34	-0.41	0.08	0.15	0.24	-0.18	0.42	-0.36
ARGILLA	0.26	0.06	0.21	1	0.15	0.21	-0.23	-0.15	0.05	0.2	0.39	-0.83	0.04	-0.09
ASPECT	0.02	-0.13	-0.16	0.15	1	0.02	0.11	-0.21	0.07	0.12	0	-0.17	-0.13	-0.2
CACO3	0.21	0.38	0.35	0.21	0.02	1	-0.02	-0.19	0.11	0.77	0.21	-0.22	-0.06	-0.05
DEM_ELEV	0.34	0.37	0.34	-0.23	0.11	-0.02	1	-0.62	0.2	-0.23	-0.08	0.11	0.32	-0.71
ETP_ANNO	-0.45	-0.45	-0.41	-0.15	-0.21	-0.19	-0.62	1	-0.17	-0.11	-0.41	0.21	-0.2	0.9
LIMO	0.02	0.1	0.08	0.05	0.07	0.11	0.2	-0.17	1	0.1	-0.03	-0.54	0.4	-0.08
PH	0.13	0.21	0.15	0.2	0.12	0.77	-0.23	-0.11	0.1	1	0.24	-0.24	-0.18	0.06
PREC_ANNO	0.21	0.23	0.24	0.39	0	0.21	-0.08	-0.41	-0.03	0.24	1	-0.32	0.08	-0.31
SABBIA	-0.2	-0.08	-0.18	-0.83	-0.17	-0.22	0.11	0.21	-0.54	-0.24	-0.32	1	-0.23	0.12
SOM	0.37	0.39	0.42	0.04	-0.13	-0.06	0.32	-0.2	0.4	-0.18	0.08	-0.23	1	-0.24
TEMP_ANNO	-0.41	-0.38	-0.36	-0.09	-0.2	-0.05	-0.71	0.9	-0.08	0.06	-0.31	0.12	-0.24	1

Analisi dei trend di andamento degli indicatori microbiologici rispetto ai caratteri/orizzonti pedologici diagnostici di livello I

Partendo dall'analisi dell'indicatore di salute/stress Cmic/TOC, dal box-plot della figura 5 si può notare come ci sia una notevole differenza tra vari gruppi referenziali di suoli. In particolare si notano valori mediamente più alti correlati a situazioni a minore stress nei Phaeozems (suoli con orizzonte mollico ad alta saturazione ma senza concentrazioni di CaCO₃ secondarie), e subordinatamente nei Chernozems, anche se in questi ultimi la variabilità intorno alla media è più elevata. Valori tendenzialmente più bassi risultano negli Andosols e Luvisols, mentre per gli Arenosols sabbiosi delle fasce costiere si hanno valori mediani alti ma di bassa significatività, a causa del range di variabilità estremamente elevato. Infine l'esiguo numero dei campioni non ha consentito una valutazione per i Fluvisols.

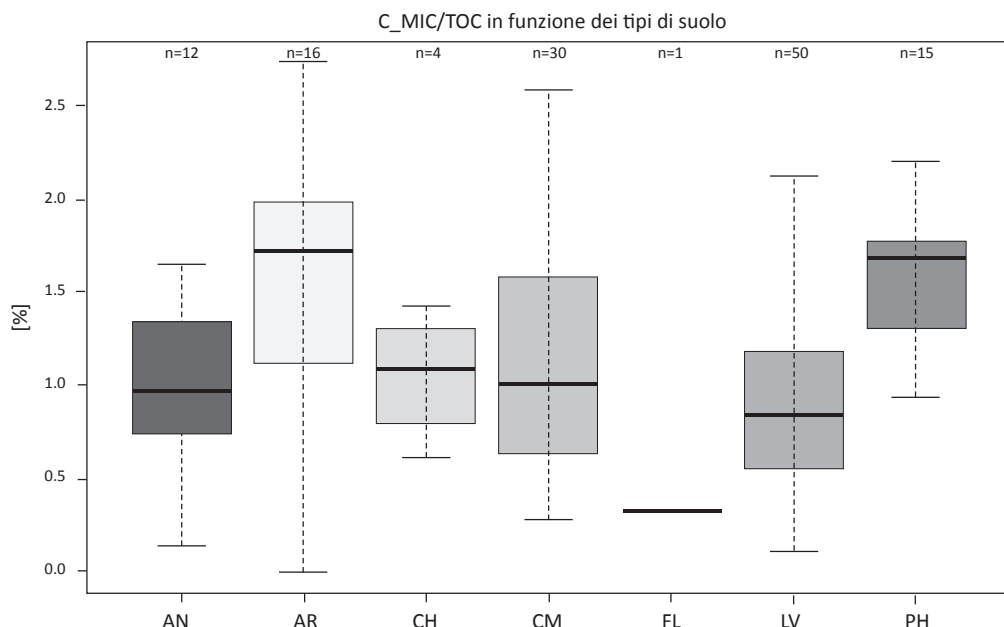


Figura 5 – Box-plot di andamento del rapporto C_{mic}/TOC nei suoli del Lazio raggruppati secondo i Gruppi Referenziali WRB. Legenda: AN – Andosols; AR – Arenosols; CH – Chernozems; CM – Cambisols; FL – Fluvisols; LV – Luvisols; PH – Phaeozems.

Il confronto degli indici microbiologici utilizzati per il calcolo dell'IBF (C_{mic}, C_{bas} e C_{cum}) con i Gruppi referenziali indica una distribuzione complessiva verso valori più elevati per i gruppi dei Chernozems e Phaeozems, ed in particolare per i primi che sono al limite della soglia di stress.

Il confronto con le soglie diagnostiche ha indicato differenze di distribuzione poco significative eccetto per la presenza di orizzonti mollici, per i quali si rileva un aumento degli indici, e negativa per il solo caso di suoli con proprietà andiche e argiche rispettivamente negli Andosols e Luvisols, in relazione ai valori di respirazione basale sotto la soglia di allarme di 10 ppm (Figura 6).

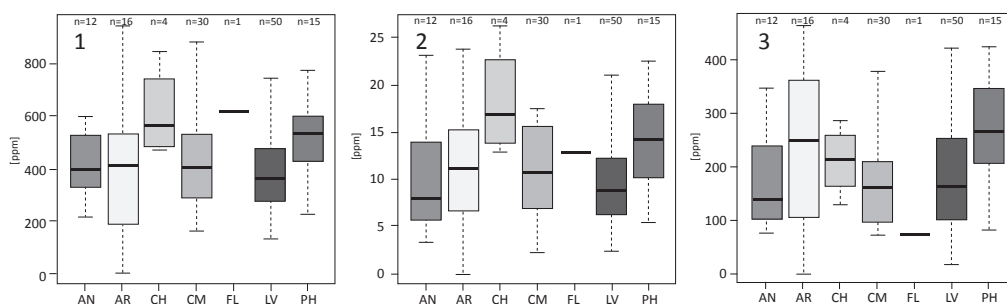


Figura 6 – Box-plot di andamento degli indici microbiologici C_{cum} (1), C_{bas} (2) e C_{mic} (3) raggruppati per suoli secondo i Gruppi referenziali WRB. Legenda: AN – Andosols; AR – Arenosols; CH – Chernozems; CM – Cambisols; FL – Fluvisols; LV – Luvisols; PH – Phaeozems.

Analisi dei trend di andamento degli indicatori microbiologici rispetto ai caratteri pedologici funzionali di livello II

In riferimento al confronto di dettaglio sui diversi tipi di esplorazione dei trend di andamento, si può notare come il confronto con i singoli caratteri funzionali ha mostrato interessanti trend di correlazione positiva, nel caso del passaggio a classi di massa volumica apparente più elevate da bassa ($1.0-1.4 \text{ g cm}^{-3}$) a media ($1.4-1.7 \text{ g cm}^{-3}$), e negativi per corrispondenti classi di packing density (Figura 7). Si può quindi ipotizzare un generale trend negativo dalle classi tessiturali, dalle fini alle grossolane

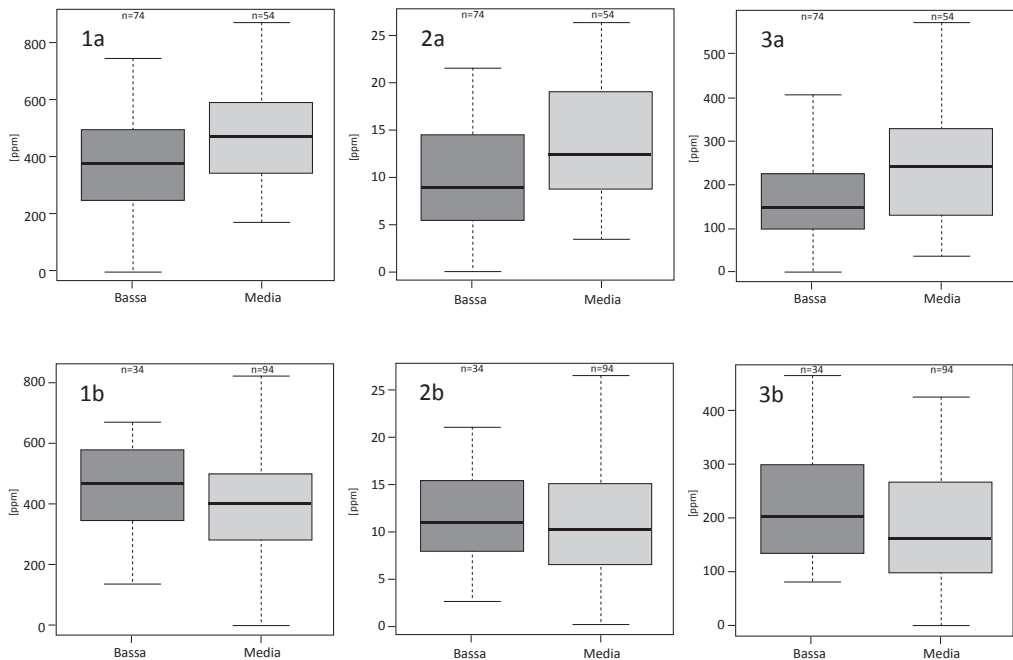


Figura 7 – Box-plot di andamento degli indici (ppm) in funzione delle classi di massa volumica apparente (Ccum-1a, Cbas-1b e Cmic-1c) e delle classi di packing density (Ccum-2a, Cbas-2b e Cmic-2c).

Il confronto dei suddetti caratteri funzionali con i caratteri chimici evidenzia (Figura 8) per il contenuto di CaCO_3 un trend di aumento dei valori degli indici fino ad un valore soglia corrispondente alle percentuali diagnostiche per la presenza di orizzonte calcico (15% di CaCO_3 nella matrice del suolo o sottoforma di aggregati/noduli): oltre tale soglia si ha un crollo dei valori mediani degli indicatori, riflesso di condizioni pedomicrobiche fortemente limitanti. Ciò è confermato dall'andamento del pH, che ha un generale trend di innalzamento da condizioni di acidità a quelle di basicità.

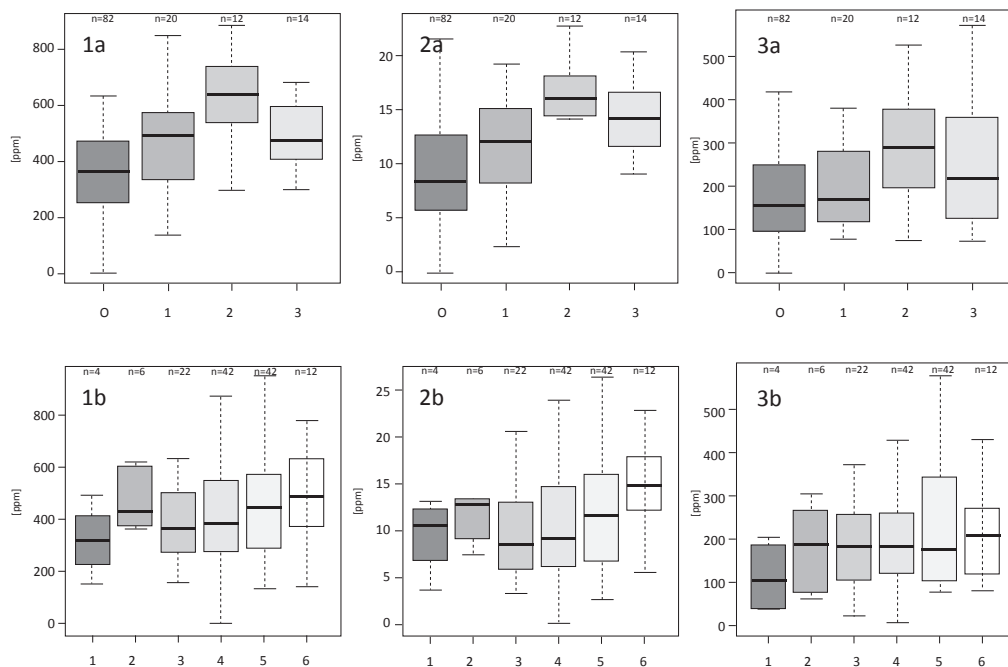


Figura 8 – Box-plot di andamento degli indici (ppm) in funzione delle classi di CaCO₃ (Ccum-1a, Cbas-2a e Cmic-3a), e delle classi di packing density (Ccum-1b, Cbas-2b e Cmic-3b). Legenda classi CaCO₃: 0-assente; 1-trascurabile; 2-calcareo; 3-calcico. Legenda classi di reazione (pH): 1-fortemente acidi; 2-acidi; 3-sub-acidi; 4-neutri; 5-sub-basici; 6-basici.

Conclusioni

Questa prima indagine ha consentito di mettere a fuoco prime ipotesi di relazione tra l'andamento degli indici microbiologici, Cbas, Ccum e Cmic, e le principali tipologie di suolo, gli orizzonti diagnostici e i caratteri funzionali dei suoli all'interno dei pedopaesaggi della regione Lazio.

I risultati hanno dimostrato che non tutti i parametri diagnostici e funzionali influenzano o sono correlati con l'attività e lo stato di salute delle popolazioni microbiche ma solo alcuni, di tipo fisico e chimico (caratteri funzionali), e relativi alla presenza di orizzonti mollici, andici e di illuviazione.

Gli sviluppi in corso prevedono di consolidare i trend verificandoli su dataset più ampi e geograficamente distribuiti (prosecuzione inserimento dati ed analisi relazioni su suoli del Lazio, Lombardia, Piemonte, Marche) e di esplorare nuove relazioni con altre caratteristiche fisico-idrologiche, mineralogiche e biochimiche. Si prevede inoltre di esplorare anche l'aspetto metodologico tramite tecniche di misura aggiuntive che si avvicinino più alle condizioni reali, senza un'eccessiva influenza della standardizzazione analitica, quali per esempio misure di respirazione su campioni indisturbati freschi in condizioni di temperatura e umidità controllate.

Si sottolinea infine che sono in corso sui medesimi siti approfondimenti di tipo molecolare, per una definizione della diversità genetica delle comunità microbiche ed esprimere quindi un indice completo di biodiversità del suolo.

Ringraziamenti

Si ringrazia l'ente ARSIAL che ha finanziato i progetti di indagine sulla biodiversità del suolo nel Lazio ed il MIPAAF per le banche dati fornite.

BIBLIOGRAFIA

- Anderson, T.H., Domsch, K.H. *Application of eco-physiological quotients (qCO_2 and qD) on microbial biomasses from soils of different cropping histories*, Soil Biol. Biochem., 22, 1990, pp. 251-255.
- Anderson, T.H., Domsch, K.H. *The metabolic quotient for CO_2 (qCO_2) as a specific activity parameter to assess the effects of environmental conditions, such as pH, on the microbial biomass of forest soils*, Soil Biology and Biochemistry, vol. 25, n. 3, 1993, pp. 393-395.
- Bloem, J., Hopkins, D., Benedetti, A., *Microbiological methods for assessing soil quality*, CABI Publishing, 2006.
- Dommergues, Y., *La notion de coefficient de minéralisation du carbone dans le sol*, L'Agronomie Tropicale, XV (1), 1960, pp. 54-60.
- European Environmental Agency EEA – *Progetto Corine Land Cover 2006*, <http://www.sinanet.isprambiente.it/it/coperturasuolo> (controllato ottobre 2012).
- Isermeyer, H., *Eine einfache Methode zur bestimmung der Bodenatmung und der Karbonate im Boden*, Z., Pflanzenernähr Bodenkd., 56, 1952, pp. 26-38.
- IUSS WORKING GROUP WRB, *World reference base for soil resources*, World Soil Resources, Report n. 103, Rome, FAO, 2006.
- Magdoff, F., Weil, R.R., *Soil Organic Matter in Sustainable Agriculture*, Advances in Agroecology, CRC Press LCC, 2004, pp. 524.
- Mocali, S., Benedetti, A. *Analisi a livello suolo* in F. Caporali F. (coord.), *Indicatori di biodiversità per la sostenibilità in agricoltura*, ISPRA., 2008, pp. 159-208.
- Nunan, N., Wu, K., Young, I.M., Crawford, J.W., Ritz, K., *In Situ Spatial Patterns of Soil Bacterial Populations, Mapped at Multiple Scales, in an Arable Soil*, Microbial Ecology, vol. 44, n. 4, Springer-Verlag, 2002, pp. 296-305.
- Ranjard, L., Richaume, A., *Quantitative and qualitative microscale distribution of bacteria in soil*, Research in Microbiology, vol. 152, Issue 8, October 2001, pp. 707-716.
- Sessitsch, A., Weilharter, A., Gerzabek, M.H., Kirchmann, H., Kandeler, E., *Microbial Population Structures in Soil Particle Size Fractions of a Long-Term Fertilizer Field Experiment*, Appl. Environ. Microbiol., vol. 67, n. 9, September 2001, pp. 4215-4224.
- Springer, U., Klee, J., *Prüfung der Leistungsfähigkeit von einigen wichtigen verfahren zur Bestimmung des Kohlenstoffes mittels Chromschwefelsäure sowie Vorschlag einer neuen Schnellmethode*, Z., Pflanzenernähr, Dung. Bodenkd., 64, 1954, pp. 1-26.
- Thomasson, A.J., *Soil climate classification*, Report for the Food and Agriculture Organization of the United Nation, Fao Roma, 1992.
- Vance, E.D., Brookes, P.C., Jenkinson, D.S., *An extraction method for measuring soil microbial biomass C.*, Soil Biol. Biochem., 19, 1987, pp. 703-707.

La diversità dei suoli siciliani: quale futuro?

C. Dazzi, G. Lo Papa, V. Palermo

Dipartimento dei Sistemi AgroAmbientali – Università di Palermo.

Riassunto

Il concetto di diversità applicato ai suoli, poggia sulla considerazione del fatto che essi costituiscono sistemi che in un'ottica termodinamica, si sviluppano mediante scambio di materia e di energia con l'ambiente esterno. La lenta, ordinata trasformazione del substrato in un "pedon" orizzontato, determinata dai flussi di energia e di materia, conduce concettualmente ad un decremento dell'entropia e quindi ad un aumento dell'ordine nel sistema suolo. Ordine pedologico che in molti casi viene completamente annullato per intervento antropico. È quanto avviene in Sicilia già da alcuni anni.

La Sicilia, una delle regioni d'Italia per le quali è disponibile una cartografia a scala regionale (1:250.000), per la sua posizione geografica, di centralità nel bacino del Mediterraneo, per le vicende geologiche, climatiche, vegetazionali, e da ultimo antropiche che l'hanno interessata, mostra caratteristiche del tutto peculiari che si riflettono sugli aspetti pedologici.

Il panorama pedologico dell'isola risulta, infatti, costituito da una varietà assai interessante di suoli che ricoprono tutta una vasta gamma che va dai tipi pedologici meno evoluti ai più evoluti. A livello regionale sono stati cartografati 18 diversi tipi pedologici che, in combinazione, danno origine alle 33 associazioni di suoli riportati sulla Carta (per un totale di 1821 delineazioni cartografiche) ognuna delle quali mostra una particolare composizione, cioè la diffusione, in percentuale, dei differenti tipi pedologici presenti nell'ambito di una stessa associazione.

Negli ultimi decenni, tuttavia, l'enorme pressione antropica che ha interessato anche i pedopaesaggi siciliani e la conseguente introduzione di suoli antropogenici ha determinato un incremento della pedodiversità complessiva della regione. Un'attenta riflessione su questo aspetto, supportata anche da diverse indagini condotte in campo, porta comunque a considerare che, a fronte di un incremento della pedodiversità nel breve periodo, nel lungo periodo si potrà anche arrivare ad una omogeneizzazione spinta delle caratteristiche dei suoli che può, a tutti gli effetti, essere considerata alla stessa stregua dell'erosione genetica che restringe il campo di variabilità ed omogeneizza gli esseri viventi.

Parole chiave: *pedodiversità, pedotecnica, sostenibilità ambientale.*

Introduzione

Nel "razionale" che correda il pieghevole del convegno organizzato in occasione della celebrazione della Giornata Mondiale del Suolo, si sottolinea come nell'edizione 2011 si vuole "stimolare un confronto su nuove frontiere di studio circa le relazioni che legano il suolo al soprassuolo ed

in particolare agli organismi viventi rappresentati dalla biodiversità animale, vegetale e microbica”.

Sovente si dimentica che nel novero degli “organismi viventi” e della “biodiversità animale” è da considerare anche e soprattutto l'uomo che, in relazione al concetto di diversità dei suoli, ha assunto in questi ultimi decenni un ruolo di fondamentale importanza tanto da essere considerato un ulteriore fattore della pedogenesi: il sesto.

In questa ultima decade, il potenziale effetto delle varie attività umane sui pedopaesaggi e sulla pedodiversità è stato un importante argomento di indagine nel campo della scienza del suolo, come testimoniano anche i numerosi lavori presenti in letteratura.

Il concetto di diversità applicato ai suoli, poggia sulla considerazione del fatto che essi costituiscono sistemi che in un'ottica termodinamica, si sviluppano mediante scambio di materia e di energia con l'ambiente esterno. La lenta, ordinata trasformazione del substrato in un “pedon” orizzontato, determinata dai flussi di energia e di materia, conduce concettualmente ad un decremento dell'entropia e quindi ad un aumento dell'ordine nel sistema suolo. Ordine pedologico che in molti casi viene completamente annullato per intervento antropico. La trasformazione dei suoli naturali in antropogenici può essere considerata alla stessa stregua dell'erosione genetica poiché ogni suolo perde la propria configurazione genetica naturale che permette di distinguerlo da un altro, così come accade per i sistemi viventi: piante ed animali. Ciò è quanto avviene in Sicilia già da alcuni anni.

La Sicilia, per la sua posizione geografica, di centralità nel bacino del Mediterraneo, per le vicende geologiche, climatiche, vegetazionali e, da ultimo, antropiche che l'hanno interessata, mostra caratteristiche del tutto peculiari che si riflettono sugli aspetti pedologici. La pedogenesi siciliana è profondamente influenzata non solo dalla sua morfologia e dalle differenti formazioni litologiche da cui i suoli hanno ereditato gran parte dei loro caratteri, ma anche dalle condizioni climatiche caratterizzate da elevate temperature estive, accompagnate da accentuata aridità che si contrappongono alle elevate precipitazioni e alle miti temperature invernali. Il panorama pedologico dell'isola risulta, infatti, costituito da una varietà assai interessante di suoli che ricoprono tutta una vasta gamma che va dai tipi pedologici meno evoluti ai più evoluti. Basti pensare che in Sicilia sono rappresentati ben 6 dei 12 ordini della Soil Taxonomy: Entisuoli ~ 983.000 ha, Mollisuoli ~ 12.000 ha, Vertisuoli ~ 208.000 ha, Inceptisuoli ~ 876.000 ha, Alfisuoli ~ 205.000 ha e Andosuoli ~ 50.000 ha.

A livello regionale sono stati cartografati 18 diversi tipi pedologici che, in combinazione, danno origine a 33 associazioni di suoli (Carta dei suoli della Sicilia, 1988), per un totale di 1821 delineazioni cartografiche ognuna delle quali mostra una particolare composizione, cioè la diffusione, in percentuale, dei differenti tipi pedologici presenti nell'ambito di una stessa associazione.

Gli indici di diversità di Shannon e di Equiripartizione¹ (Tabella 1) hanno messo in evidenza, a parte le associazioni di suolo n° 32 e n° 33 poco estese e che comprendono particolari tipi pedologici oasisticamente rappresentati, il minimo e il massimo valore di diversità dei suoli della regione. Il minimo valore di H' ($H'=0,23$) corrisponde ad un valore di E pari

1. Indici ecologici oramai ampiamente impiegati come indici di pedodiversità. (Guo *et al.*, 2003; Ibáñez *et al.*, 1995; Ibáñez *et al.*, 1998; Phillips 2001; Dazzi, 2002; Saldana and Ibáñez 2004; McBratney and Minasny 2007, Lo Papa *et al.*, 2011).

a 0,21 e si ha per l'associazione n° 19, costituita da Typic Chromoxererts e Typic Pelloxererts, con inclusioni di Vertic Xerofluvents, il valore massimo di H' ($H'=1,42$), invece, corrisponde ad un valore di E pari a 0,88 e si ottiene per le associazioni n° 3 (Lithic Rhodoxeralfs, Typic e Calcixerollic Xerochrepts con inclusioni di Lithic Xerorthents) e n° 21 (Calcixerollic Xerochrepts, Lithic Xerorthents, Typic Xerorthents, con inclusioni di Typic e Lithic Rhodoxeralfs); inoltre più della metà delle associazioni presentano un valore di $E \geq 0,80$, delineando quanto equamente siano ripartiti, i tipi pedologici, all'interno di ogni singola associazione.

Tabella 1 – Diversità statistica delle unità cartografiche (UC) della Carta dei Suoli della Sicilia (scala 1:250.000); (R = ricchezza; H' = indice di Shannon; $H_{\max}$ = diversità massima; E = equiripartizione).

UC	R	H'	$H_{\max}$	E	UC	R	H'	$H_{\max}$	E
1	4	0,72	1,39	0,52	17	3	0,39	1,10	0,35
2	3	0,95	1,10	0,86	18	4	0,99	1,39	0,71
3	5	1,42	1,61	0,88	19	3	0,23	1,10	0,21
4	5	1,33	1,61	0,83	20	5	1,29	1,61	0,80
5	5	1,14	1,61	0,71	21	5	1,42	1,61	0,88
6	5	1,33	1,61	0,83	22	5	1,29	1,61	0,80
7	5	1,29	1,61	0,80	23	5	1,34	1,61	0,83
8	5	1,28	1,61	0,80	24	4	1,10	1,39	0,79
9	5	1,39	1,61	0,86	25	5	1,23	1,61	0,76
10	5	1,32	1,61	0,82	26	5	1,34	1,61	0,83
11	5	1,29	1,61	0,80	27	5	1,27	1,61	0,79
12	5	1,35	1,61	0,84	28	4	1,10	1,39	0,79
13	4	0,99	1,39	0,71	29	4	0,96	1,39	0,69
14	4	1,01	1,39	0,73	30	4	0,92	1,39	0,66
15	5	1,28	1,61	0,80	31	5	1,29	1,61	0,80
16	5	1,35	1,61	0,84	32 e 33	1	0	0	0

Negli ultimi decenni, questa diversità pedologica è minacciata da attività antropiche che hanno visto una crescente influenza dell'uomo sulla pedogenesi. In Sicilia tali attività sono riconducibili, principalmente, all'interramento dei rifiuti, alle operazioni minerarie, al *soil sealing* nonché in campo agronomico all'impiego di procedure volte alla modificazione delle caratteristiche del suolo fino alla costruzione di suoli per scopi specifici. La creazione di suoli antropogenici/tecnogenici ha determinato un incremento della pedodiversità complessiva della regione, determinando però nel contempo una perdita graduale o drastica del *pool* genetico di differenti tipi di suolo.

Si vuole qui riportare un'indagine condotta in campo che porta a considerare come, a fronte di un incremento della pedodiversità nel breve periodo, nel lungo periodo si potrà anche arrivare ad una omogeneizzazione spinta delle caratteristiche dei suoli che può, a tutti gli effetti, essere considerata alla stessa stregua dell'erosione genetica che restringe il campo di variabilità ed omogeneizza gli esseri viventi.

Materiali e metodi

Nel campo agronomico, si ricorre alla pedotecnica allorquando si hanno notevoli ritorni economici, ma nel fare questo, spesso non si tiene conto dell'obiettivo fondamentale della pedotecnica stessa: soddisfare le esigenze dell'uomo evitando ogni indesiderabile conseguenza ambientale che potrebbe verificarsi durante la manipolazione di materiali terrosi e ciò in considerazione del fatto che, ogni qual volta vi è un intervento antropico su vasta scala, si originano nuovi paesaggi e nuovi suoli.

Si riportano qui i risultati di una lunga attività di ricerca condotta nell'area del comune di Mazzarrone (37,101347° N, 14,575877° E), Sicilia sud-orientale, caratterizzata dallo sviluppo della viticoltura intensiva su vasta scala e dall'impiego di pedotecniche atte alla creazione di suoli idonei alla coltivazione dell'uva Italia. In particolare sono considerati i seguenti aspetti: le pedotecniche impiegate e l'evoluzione subita dai suoli in un arco temporale di 20 anni; i riflessi che queste hanno avuto sulla pedodiversità anche in proiezione futura; i problemi ambientali che si sono originati.

Nell'area di Mazzarrone l'evoluzione del territorio e gli elementi che lo caratterizzano (in particolare il suolo) vanno considerati sulla base di un'analisi complessiva dei fattori condizionanti l'ambiente, in particolare l'attività dell'Uomo, inteso come agente modificatore del territorio il quale, soprattutto a far data dagli anni 1970, diviene sempre più partecipe del contesto fisico, sociale ed economico dell'area. In pochi anni gran parte dei suoli del territorio di Mazzarrone persero la loro identità e vennero sostituiti da masse terrose ove non si riesce più a distinguere alcun frammento degli orizzonti originari e la logica distribuzione degli elementi organici e minerali risulta completamente persa (Dazzi e Monteleone, 2002) (Figura 1). Al fine di evidenziare le tecniche impiegate nel territorio, per realizzare suoli idonei alla coltura della vite, sono stati distinti i successivi stadi di trasformazione del suolo nel tempo. In origine i suoli presentavano un profilo di tipo A-C o A-Bw-C. Nel 1984, vi è stato un primo incisivo intervento per l'impianto di un vigneto a tendone. Uno scasso effettuato fino ad una profondità di circa 100 cm eseguito con aratro monovomere a versoio ha determinato un completo rovesciamento con rimescolamento profondo degli orizzonti originali. Evidentissimi, all'osservazione in campo, gli orizzonti artatamente creati disposti obliquamente rispetto al piano di campagna. Dal punto di vista tassonomico questi suoli sono stati classificati come Aric Regosols.

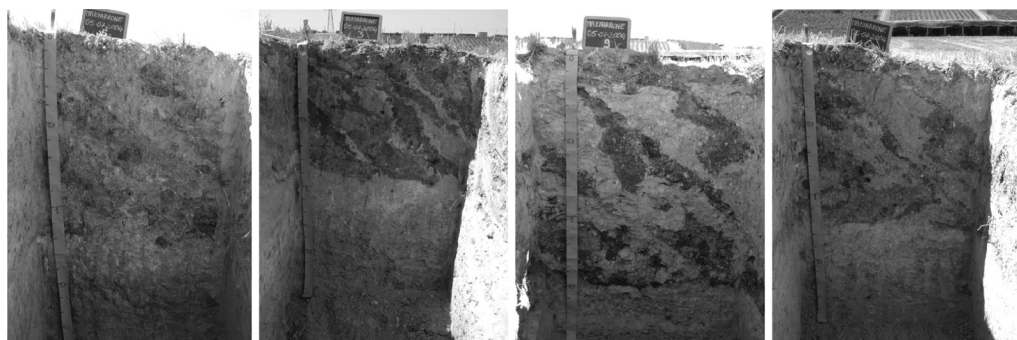


Figura 1 – Geomisc Anthrosols (Dazzi *et al.*, 2009), Miscic Geofragmexeran (Dazzi e Monteleone, 2007).

Nel 2002 il vigneto è stato espantato e nella primavera del 2003 è stato eseguito un intervento di modellamento della superficie che, in pratica, è consistito nel ricoprire il Regosuolo con una coltre di spessore variabile dai 50 ai 70 cm di calcare marnoso, che si configura come HTM (*human transported material*) materiale trasportato dall'uomo (ICOMANTH, 2003).

Nel luglio del 2003, gli Aric Regosols ricoperti dal manto di calcare marnoso sono stati sottoposti ad un ulteriore scasso profondo fino ad una profondità variabile intorno ai 100 cm, eseguito con aratro monovomere dotato di versoio. Se le caratteristiche morfo-descrittive e fisico-chimiche di questi suoli conseguenti al secondo intenso ed articolato intervento dell'uomo si considerano in un'ottica tassonomica, questi suoli, così tecnologicamente formati sono classificabili come Geomiscic Anthrosols (Dazzi *et al.*, 2009) o Miscic Geofragmexerant (Dazzi e Monteleone, 2007).

Considerando gli sconvolgenti effetti prodotti dall'antropizzazione sul suolo originario, si può ammettere che sia avvenuto un processo irreversibile nello spazio, intendendo una profonda modifica sulla diversità dei suoli nell'intera area investigata. Alcune carte dei suoli, infatti, realizzate sulla base dei cambiamenti del pedopaesaggio nel periodo 1966-2008, ci indicano come alcune tipologie di suoli originari del nostro spazio geografico passano alla tipologia dei suoli antropogenici (Figura 3).

Un modello di simulazione spazio-temporale (Lo Papa *et al.*, 2011), ha consentito di ricavare una previsione dell'evoluzione del pedopaesaggio riferita al 2050 (Figura 3). La previsione indica che, verosimilmente, il pedopaesaggio di Mazzarrone perderà i Calcic Haploxerolls, i Typic Haploxerolls e i Pachic Haploxerolls, i quali potrebbero essere completamente trasformati in suoli antropogenici. Inoltre i Typic Calcixerepts, Vertic Haploxerepts, Typic Haploxeralfs and Inceptic Haploxeralfs, ridotti a pochi ettari, potrebbero anch'essi essere trasformati in suoli antropogenici in un più lungo scenario probabilistico.

Tutti gli indici di diversità adottati (Indice di diversità di Shannon, Indice di diversità di Simpson, Indice di diversità di Simpson modificato, Indice di equiripartizione di Shannon, Indice di equiripartizione di Simpson e Indice di equiripartizione di Simpson modificato), in riferimento alla distribuzione spaziale dei suoli dell'area di Mazzarrone, hanno mostrato un leggero incremento della pedodiversità dal 1955 al 1966 (Grafico 1), indicando che l'introduzione di una nuova classe di suolo (suoli antropogenici) ha portato il sistema ad una più alta variabilità e di conseguenza all'aumento della diversità a livello di pedopaesaggio (il numero di classi pedologiche (s) è pari a 15 nel 1955 e pari a 16 nei successivi anni). Nel 2050 il numero scende a 13 poiché tre classi di suolo potrebbero non essere più presenti: i Typic Haploxerolls, i Calcic Haploxerolls, e i Pachic Haploxerolls.

Nel caso specifico, in funzione di ciò che si è osservato nel tempo, possiamo affermare che l'intervento dell'uomo nella trasformazione del suolo potrebbe condurre ad un incremento della diversità nel paesaggio in una fase iniziale, ma accelerato da un'agricoltura su vasta scala, il risultato evidente è una perdita enorme di diversità nel tempo, come dimostrano i valori degli indici calcolati (grafico 1).

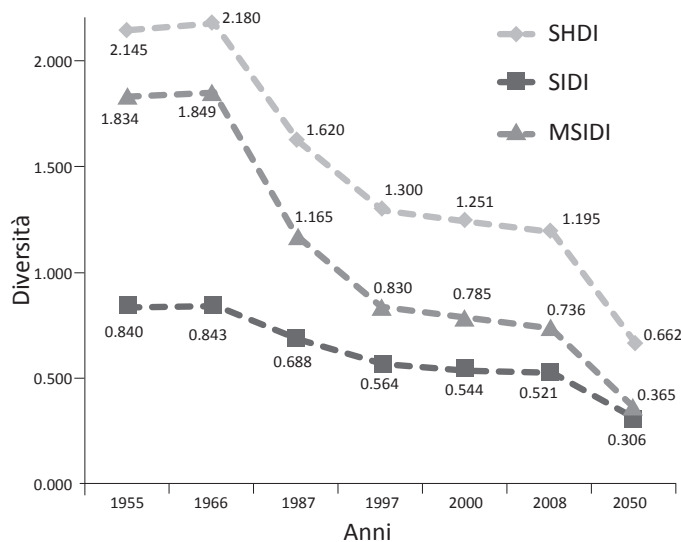


Grafico 1 – Pedodiversità nel tempo. SHDI= indice di diversità di Shannon, SIDI= indice di diversità di Simpson, MSIDI= Indice di diversità di Simpson modificato.

Interpretando la diversità secondo l'andamento degli indici di equiripartizione, sempre decrescenti, si può affermare che il pedopaesaggio era in origine un sistema in buon equilibrio, dove le classi di suolo erano equamente distribuite (grafico 2). La trasformazione del suolo su ampia scala operata nel territorio di Mazzarrone con le pedotecniche impiegate porta nel tempo alla rottura di tale equilibrio; la presenza di una sola classe dominante rende uniforme il pedopaesaggio e mina, da un punto di vista tassonomico, la variabilità del suolo.

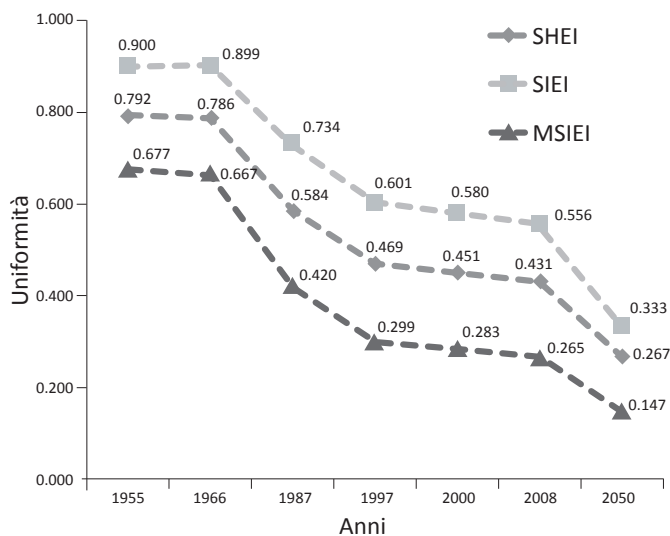


Grafico 2 – Equiripartizione nel tempo. SHEI= indice di equiripartizione di Shannon, SIEI=indice di equiripartizione di Simpon, MSIEI= indice di equiripartizione di Simpon modificato.

Discussione

Alla luce dei dati ottenuti si può certamente affermare che la trasformazione del territorio dovuta all'agricoltura intensiva su vasta scala rompe l'equilibrio pedologico creando, nel tempo, una classe di suolo dominante, la quale rende uniforme il pedopaesaggio e indebolisce, da un punto di vista tassonomico, la variabilità del suolo. Questa analisi permette, inoltre, l'identificazione dei tipi di suolo che sono minacciati di vedere ridotta o annullata la loro presenza. Nell'area di studio, tutte le superfici che non ponevano limiti all'uso dei mezzi meccanici per la realizzazione di nuovi impianti di vigneto, anche quelli tendenzialmente acclivi, sono state interessate da un processo di "entisolizzazione" che ha causato una notevole riduzione della diversità del pedopaesaggio di Mazzarrone. Ma cosa si nasconde dietro la fredda aridità dei valori numerici ottenuti? L'ambiente continua a mantenere la sua potenzialità anche se si ha un incremento degli individui suolo e della pedodiversità?

L'uso di mezzi meccanici pesanti, volto all'ottenimento di aree coltivabili, ha determinato dissodamenti e movimenti di terra che, oltre a cambiare il naturale assetto dei suoli, ha modificato l'idrografia e innescato una notevole erosione di tipo laminare e a solchi. Tali interventi hanno assunto, nel tempo, una valenza sempre più consistente sia per rendere meno acclivi e più lavorabili alcune pendici, sia per realizzare dei laghetti collinari dove invasare le acque della falda idrica, sempre più sfruttata e il cui livello freatico, negli ultimi anni, si è abbassato al ritmo di 2-3 centimetri/anno (Dazzi e Monteleone, 2002). Questa enorme pressione esercitata sull'ecosistema suolo, porta a sconvolgimenti di altra natura: il suolo così violentato si offre indifeso all'erosione. Sotto questi vigneti infatti, ogni anno tonnellate di suolo vengono portate via dal vento o finiscono a valle attraverso ampi solchi d'erosione che, a mano a mano che si formano, vengono riempiti con materiale terroso trasportato da altri luoghi ove sono suoli che presentano ancora una propria configurazione. In queste condizioni è chiaro che l'elasticità del suolo, cioè la capacità di riprendere la propria configurazione a seguito di una azione di disturbo (Szabolcs, 1994), è minima e sovente nulla, poiché i flussi di energia esogeni, a seguito dell'intervento umano, superano di gran lunga ogni soglia critica. Accanto a questi occorre considerare anche gli aspetti legati alla gestione agronomica della coltura e che derivano dall'impiego di film plastici, di pesticidi e di fertilizzanti. Infatti, per lasciare il frutto sulla pianta ed effettuare la raccolta in prossimità delle festività natalizie, i vigneti vengono coperti, tra la seconda e la terza decade di agosto, con film plastici dello spessore di 2-4 mm che vengono utilizzati solo per due anni. Sulle piante così coperte si interviene con massicce dosi di anticrittogamici e con trattamenti che, in dipendenza dell'andamento climatico, vengono eseguiti anche ogni 2-3 giorni. I film plastici, anche se la legge impone il loro riciclo, spesso vengono abbandonati nell'ambiente e bruciati, rilasciando composti tossici che, insieme ai pesticidi usati così massicciamente, possono permanere nell'ambiente per un periodo più o meno lungo. Tutti questi aspetti ambientali non emergono dalla cruda analisi dei dati riportati in tabella, ma possono solo essere evidenziati mediante accurate indagini di campo e osservazioni che solo il pedologo è in grado di condurre. Purtroppo tale fenomeno non rimane circoscritto all'area di Mazzarrone; si stima che in Sicilia, attualmente, 60.000 ha su 1.281.655 ha di SAU, circa il 4,7 % della SAU, siano soggetti ad antropizzazione del pedopaesaggio dovuta all'attività agricola su vasta scala.

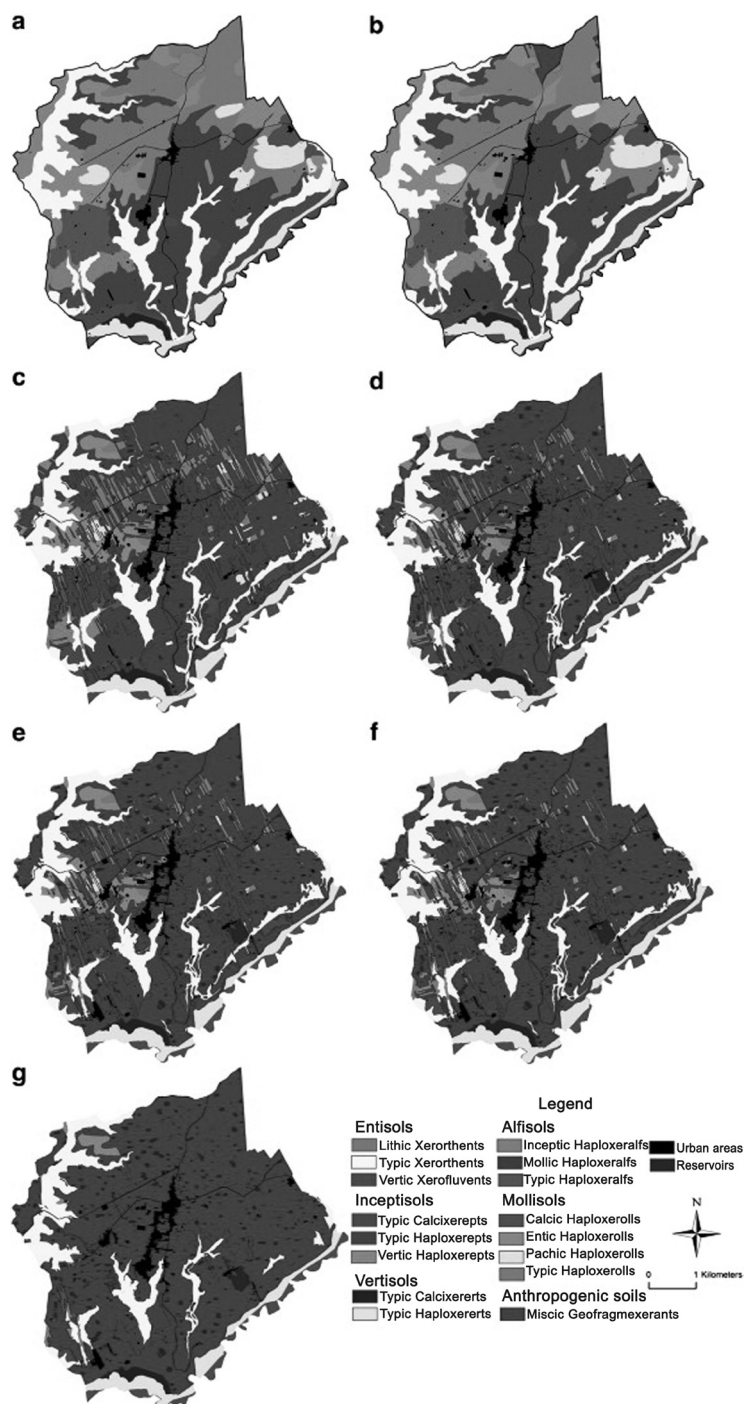


Figura 3 – Carta del suolo di Mazzarrone nel 1955 (a); 1966 (b); 1987 (c); 1997 (d); 2000 (e); 2008 (f) e nella previsione del 2050 (g). I suoli antropogenici sono classificati secondo proposta tassonomica di Dazzi e Monteleone (2007).

Conclusioni

Lo sviluppo della società tecnologica, tipico di questo ultimo secolo, accompagnato dal continuo aumento della popolazione, ha accentuato quel fenomeno di distruzione delle risorse naturali cui tanta attenzione poneva la cosiddetta società contadina. Maggiormente esposte a questo fenomeno sono state, e sono, le specie vegetali e animali il cui numero si è drasticamente ridotto fino a toccare i limiti oltre i quali non bisogna assolutamente avventurarsi. E' questo il grande problema della biodiversità per la cui soluzione sono impegnati scienziati, tecnici e politici, ma solo dopo avere preso consapevolezza del fatto che, a causa della attività antropica, sono già scomparse numerose specie, animali e vegetali, che esistevano all'inizio del secolo scorso e che diverse altre potrebbero andare perdute entro i prossimi anni.

Più recentemente, il concetto di diversità è stato esteso anche al suolo ma, anche in questo caso solo dopo avere preso consapevolezza del fatto che il suolo deve essere considerato alla stessa stregua di un essere vivente e dopo avere realizzato che ad ogni variazione delle caratteristiche dei suoli corrispondono profonde ripercussioni qualitative e quantitative della biodiversità animale e vegetale, che risultano tanto più pericolose per l'ambiente quanto più è incisiva l'azione di disturbo sul suolo. Si evidenzia come a fronte di un notevole ritorno finanziario, che la trasformazione del pedopaesaggio ha determinato, vi sia stato per contro un notevole riduzione della qualità dell'ambiente.

E' chiaro che lo sviluppo sociale ed economico non può essere arrestato, ma questo deve avvenire nel rispetto dell'ambiente e delle sue risorse. In particolare, nelle procedure di valutazione di impatto delle attività dell'uomo sul territorio, occorrerebbe sempre considerare la tutela della diversità del suolo che rappresenta una risorsa naturale non-rinnovabile. Le scelte devono coinvolgere tecnici e politici e devono assolutamente poggiare sul concetto di sviluppo sostenibile. Invece, lungi dall'usare con cautela la risorsa suolo, la stiamo consumando come se avessimo un pianeta di riserva parcheggiato nello spazio.

BIBLIOGRAFIA

- Binkley, D., 2006. *Soils in ecology and ecology in soils*, in B.P. Warkentin, *Footprints in the Soil*, Elsevier, Amsterdam, The Netherlands, 2006, pp. 259-279.
- Dazzi, C., *Pedodiversità: il Suolo fra Ordine e Caos*, in *Suoli, Ambiente, Uomo. Omaggio a Fiorenzo Mancini, 80 anni di pedologia*, Bini, Firenze, 2002, pp. 9-18.
- Dazzi, C., Lo Papa, G., Palermo, V., *Proposal for a new diagnostic horizon for WRB Anthrosols*, *Geoderma*, 151, 2009, pp. 6-21.
- Dazzi, C., Monteleone, S., *Emergenza suolo e antropizzazione del territorio: un esempio di perdita della pedodiversità per entisolizzazione*, *Bollettino della Società Italiana della Scienza del Suolo*, 51 (1-2), 2002, pp. 557-570.
- Dazzi, C., Monteleone, S., *Anthropogenic processes in the evolution of a soil chronosequence on marly-limestone substrata in an Italian Mediterranean environment*, *Geoderma*, 141, 2007, pp. 201-209.
- Fierotti, G., Dazzi, C., Raimondi, S., *Carta dei suoli della Sicilia*, Palermo, 1988.
- Guo, Y., Amundson, R., Gong, P., Ahrens, B., *Taxonomic structure, distribution, and abundance of the soils in the USA*, *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 67, 2003, pp.1507-1516.

- Huston, M., *Biological diversity, soils, and economics*, Science, 262, 1993, pp.1676-1680.
- Ibáñez, J.J., Boixadera, J.Y., Barahona, E., *Análisis de la variabilidad espacial y temporal de los suelos: Procedimientos y paradojas* in, Ibáñez, J.J. e Machado, C., *Análisis de la Variabilidad Espacio-Temporal y Procesos Caóticos en Ciencias Medioambientales*, Geoforma-CSIC, 1995, pp. 189-211.
- Ibáñez, J.J., De Alba, S., Lobo, A., Zucarello, V., *Pedodiversity and global soil patterns at coarse scales* (with discussion), Geoderma, 83, 1998, pp. 171-192.
- ICOMANTH, *Circular letter n° 4*, clic.cses.vt.edu/icomanth/circlet4.pdf [verificato il 22 febbraio 2012], 2003.
- Lo Papa, G., Palermo, V., Dazzi, C., *Is land use change a cause of loss of pedodiversity? The case of the Mazzarrone study area*, Geomorphology, 135, 2011, pp. 332-342.
- McBratney, A.B., Minasny, B., *On measuring pedodiversity*, Geoderma, 141, 2007, pp. 149-154.
- Phillips, J.D., *The relative importance of intrinsic and extrinsic factors in pedodiversity*, Ann. Assoc. Am. Geogr., 91, 2001, pp. 609-621.
- Saldaña, A., Ibáñez, J.J., *Pedodiversity analysis at large scales: an example of three fluvial terraces of the Henares River (central Spain)*, Geomorphology, 62, 2004, pp. 123-138.
- Szabolcs, I., *The concept of soil resilience*, in Greenland, D.J., Szabolcs, I., *Soil resilience and Sustainable Land Use*, Wallingford, Oxfordshire, CAB International, 1994, pp. 32-39.

Biodiversità e pedodiversità: affinità e divergenze nell'areale italiano

PARTE IV

PRESENTAZIONI LIBERE

Studio integrato della diversità vegetale e pedologica in un'area protetta del Lazio

G. Dowgiallo¹, C. De Nicola¹, F. Sicuriello², A. Testi¹

¹Dipartimento di Biologia Ambientale, Sapienza – Università di Roma, P.le Aldo Moro, 5 – 00185 Roma.

²Dipartimento delle Risorse Forestali Ambientali, Università della Tuscia, Via S. Camillo de Lellis, snc – 01100 Viterbo; IBAF-CNR Via Salaria km 29,3 – 00016 Monterotondo Scalo (RM).

Riassunto

Vengono presentati i risultati di uno studio pedologico-vegetazionale svolto nella Riserva Naturale “Gattaceca e Macchia del Barco” (M. Cornicolani, Roma), dove sono stati effettuati un profilo di suolo ed un rilievo fitosociologico in ciascuno dei 31 siti di saggio. Alla matrice floristica è stato applicato un indice di funzionalità del suolo derivato dal modello di bioindicazione di Ellenberg. Lo studio dei suoli in campo e in laboratorio ha evidenziato una notevole diversificazione della coltre pedologica – da Alfisuoli sulle morfologie pianeggianti o leggermente acclivi, a Mollisuoli e Inceptisuoli sulle pendici dei rilievi; i rilievi di vegetazione hanno invece portato alla identificazione di 2 tipi prevalenti di bosco: cenosi decidue meso-igrofile e cenosi termofile sempreverdi e decidue. Viene evidenziata una forte corrispondenza tra tipi di suolo e tipi di vegetazione. In particolare la disponibilità idrica dei suoli espressa con il parametro AWC è il fattore edafico che maggiormente influenza lo smistamento di queste cenosi forestali nel comprensorio di studio. Inoltre la correlazione esistente tra l'AWC e l'indice di funzionalità del suolo consente di distinguere differenze floristiche ed ecologiche anche piccole tra i boschi rilevati.

Parole chiave: *Suolo, Vegetazione, AWC, Ellenberg, Indice di funzionalità del suolo.*

Introduzione

Molti studi recenti trattano le interazioni pianta-suolo, enfatizzando i *feedbacks* tra vegetazione e fattori edafici chimico-fisici, geomorfologici e antropici che giocano un ruolo chiave negli ecosistemi. Da un punto di vista ecologico, queste relazioni contribuiscono a generare differenti *pattern* di diversità vegetale e pedologica. Negli ecosistemi, due categorie di fattori influenzano la distribuzione di specie e comunità: fattori statici e dinamici. Lo studio dei fattori statici viene condotto attraverso i profili di suolo e le analisi pedologiche, mentre quelli dinamici, come i cicli dell'acqua e dei nutrienti, possono essere misurati solo con difficoltà (Schimel e Bennet, 2004) e con tempi lunghi. I fattori dinamici possono essere invece facilmente analizzati e valutati attraverso l'uso di ecoindicatori, come quelli derivati dal modello di Ellenberg che esprime, con un valore numerico, la nicchia ottimale delle specie vegetali lungo 7 gradienti fondamentali – luce, temperatura, continentalità,

umidità del suolo, pH, nutrienti, salinità – (Ellenberg, 1974-1979).

Il nostro studio è stato condotto in una Riserva della Regione Lazio (Gattaceca – Macchia del Barco) in cui sono stati rilevati litotipi, parametri edafici, tipi di suolo e comunità vegetali.

Area di studio

La Riserva di Gattaceca-Macchia del Barco, istituita nel 1997, copre un'area boschiva collinare di circa 1000 ha con un'altitudine massima di 241 m s.l.m, tra la Valle del Tevere e i Monti Lucretili (Figura 1). Dal punto di vista geologico l'area è principalmente costituita da formazioni calcaree Mesozoiche della Dorsale Tiberina (M. Soratte – M.ti Cornicolani) riferibili alla successione “Umbro-Sabina”. A partire dal Pliocene cicli di ingressione e regressione marina hanno portato alla deposizione di sabbie gialle, conglomerati calcarei, sabbie argillose e argille giallastre, fino alla definitiva emersione di tutta l'area (Pleistocene inferiore). Sopra questi sedimenti si depositarono infine i prodotti piroclastici Pleistocenici provenienti dai distretti vulcanici Sabatino e Laziale. Le rocce calcaree nell'area dei M.ti Cornicolani sono intensamente fratturate e carsificate. Vi sono numerosi *sink-holes*, tra cui il pozzo più profondo del mondo, il “Pozzo del Merro” (- 392 m s.l.m).

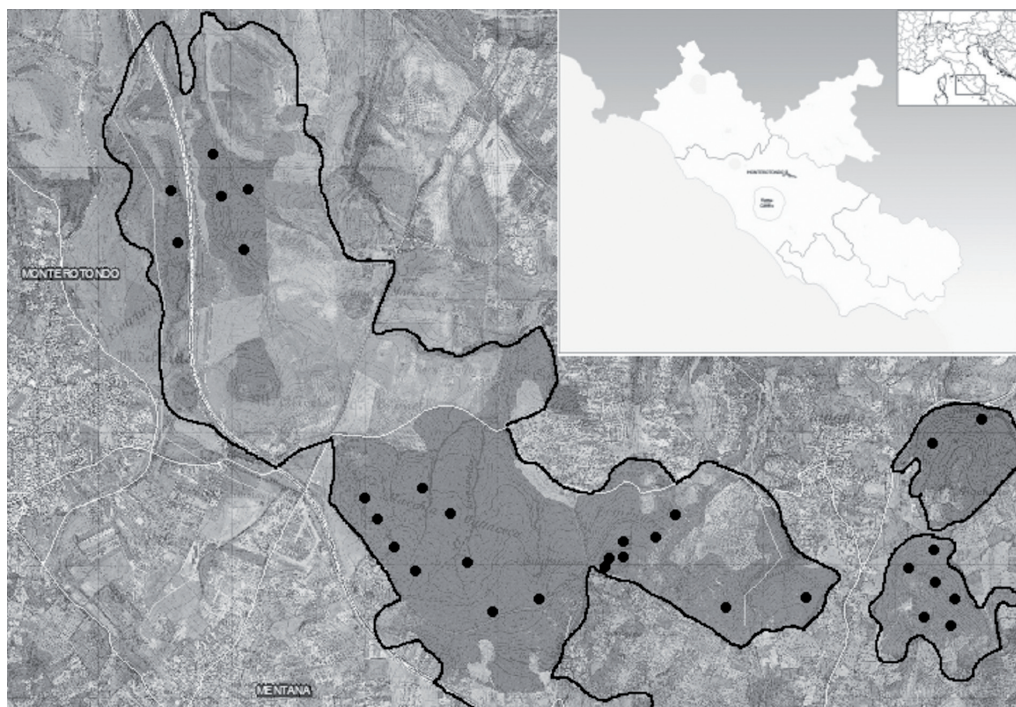


Figura 1 – Area di studio con l'ubicazione dei 31 siti di saggio.

Clima e pedoclima

Il quadro climatico è stato tracciato attraverso i dati termopluviometrici del periodo 1971-2000 registrati nella stazione meteorologica dell'Aeronautica Militare di Guidonia Montecelio (89 m s.l.m.), molto vicina all'area di studio. La temperatura media annua è di 15.2 °C e la precipitazione media annua di 812 mm, con un periodo di siccità da Giugno ad Agosto ed un massimo in Ottobre, Novembre ed Aprile. Per quanto riguarda il pedoclima (U.S.D.A., 2010), la maggior parte dei suoli rilevati risultano avere un regime di temperatura *termico* ed un regime di umidità *xerico*, mentre alcuni suoli, quelli con AWC più alta, rientrano nel regime *udico*.

Metodi

I 31 siti di saggio sono stati scelti in maniera *random* nelle diverse unità geomorfologiche e vegetazionali presenti nell'area. In ognuno dei 31 siti sono stati effettuati un profilo di suolo ed un rilievo fitosociologico.

Suolo

I profili di suolo sono stati descritti secondo le linee guida riportate da Costantini (2007). Le analisi fisico-chimiche sono state effettuate seguendo i metodi M.I.P.A.F. (2000): Granulometria, pH in H₂O, Carbonati totali, Carbonio organico, Acidità di scambio, Basi di scambio, Capacità di scambio cationico, Azoto totale, Fosforo disponibile.

Sono stati inoltre calcolati la saturazione in basi e il parametro AWC (Available Water Capacity) utilizzando la formula di Salter e Williams.

I profili di suolo sono stati classificati secondo USDA (2010).

Vegetazione

Alla matrice specie/rilievi è stato applicato un indice – R*N – che corrisponde ad un aggregato dei due indici di Ellenberg R-pH ed N-nutrienti. In ogni rilievo l'indice R*N è stato ponderato sulla copertura delle specie ottenendo un valore per ciascun sito di saggio. Questo prodotto viene considerato un indicatore della qualità degli humus e della funzionalità del suolo (Rogister, 1978).

Trattamento statistico dei dati

I dati di suolo e vegetazione sono stati sottoposti a procedure di analisi statistica multivariata (*Cluster Analysis*). Dato che gli indici derivati dalla vegetazione e i parametri edafici misurati hanno differenti unità di misura, si è proceduto ad una standardizzazione dell'intero set dei dati. La forza delle associazioni lineari tra gli indici e i parametri e la loro significatività è stata misurata attraverso il Test di Correlazione di Pearson.

Risultati

Vegetazione – In base alla *Cluster Analysis* i rilievi di vegetazione sono stati suddivisi in due clusters principali (Figura 2):

1° cluster: boschi mesofili e igrofilo;

2° cluster: boschi sempreverdi mediterranei e boschi decidui sub-mediterranei.

I due clusters sono discriminati dal parametro edafico AWC e dall'indice R*N che presentano valori marcatamente più alti nel 1° cluster: AWC = 208 *vs* 101; R*N = 42 *vs* 33. I suoli sono molto profondi con disponibilità idriche molto elevate nel 1° e superficiali, ricchi di scheletro e con scarse disponibilità idriche nel 2° (Tabella 1).

Tabella 1 – Schema delle corrispondenze tra pedo-diversità e diversità vegetale.

MORFOLOGIA	TIPI DI BOSCHI	Clusters	TIPI DI SUOLI DOMINANTI
Superfici pianeggianti, depressioni, doline	Boschi misti decidui con <i>Quercus cerris</i> e <i>Quercus frainetto</i> , silvofacies con <i>Carpinus orientalis</i>	1°a	TYPIC HAPLOXERALS , MOLLIC HAPLOXERALS , fine, thermic, superactive. Suoli profondi con disponibilità idriche molto elevate (200-240 mm). Tessitura franco limoso argilloso-argilloso. Debolmente acidi. C.S.C. elevata (35-50 cmol/kg); saturazione in basi molto alta.
Pendici da moderatamente acclivi a acclivi	Boschi termofili mediterranei caratterizzati da <i>Styrax officinalis</i> , <i>Quercus pubescens</i> e boschi sclerofili mediterranei con <i>Quercus ilex</i> solo su versanti esposti a S	2°	LITHIC HAPLOXEROLS fine, thermic, superactive. Suoli superficiali, scheletrici, con disponibilità idriche piuttosto scarse (< 100 mm). Franco argilloso-argilloso. Debolmente alcalini, debolmente calcarei o acalcarei. C.S.C. molto elevata (50-70 cmol/kg) e saturazione in basi molto alta (>90%). LITHIC HAPLOXERALS , fine, thermic, active. Suoli di scarso spessore con disponibilità idrica moderata o bassa. Franco argilloso limoso-argilloso. Da debolmente acidi a debolmente alcalini.
Versanti debolmente acclivi	Boschi misti termofili decidui con <i>Quercus cerris</i> e <i>Quercus pubescens</i>	1°c	TYPIC HAPLOXERETS e TYPIC HAPLOXEREPTS , fine, thermic, superactive. Suoli profondi con elevate disponibilità idriche (200 mm). Argilloso. Da neutri a debolmente alcalini, debolmente calcarei. C.S.C. molto elevata (40-50 cmol/kg) e saturazione in basi molto elevata (80-90%).
Superfici pianeggianti o subpianeggianti	Boschi misti decidui con <i>Quercus cerris</i> e <i>Quercus frainetto</i> , silvofacies con <i>Carpinus orientalis</i>	1°a	ULTIC HAPLOXERALS , fine, thermic, active. Suoli profondi con disponibilità idriche molto alte (> 200 mm). Argilloso limoso-argilloso. Da moderatamente a debolmente acidi. C.S.C. elevata (40 a >50 cmol/kg), saturazione in basi alta (60-70%).
Pendici da moderatamente acclivi a acclivi	Boschi più umidi con <i>Quercus frainetto</i> e <i>Quercus robur</i>	1°b	TYPIC HAPLOXEREPTS e LITHIC HAPLOXEREPTS , fine, thermic, active. Suoli di spessore da scarso a moderato, con disponibilità idrica da moderata ad alta (90-200 mm). Debolmente acidi. Tessitura argilloso limosa-argillosa. C.S.C. elevata e alta saturazione in basi (60-75%).
Versanti acclivi dei fossi	Boschi più umidi con <i>Quercus frainetto</i> e <i>Quercus robur</i>	1°b	ENTIC HAPLUDOLLS , fine silty, thermic, superactive. Suoli molto profondi con disponibilità idriche molto elevate (240-250 mm) e regime di umidità udico. Franco limosi. Moderatamente alcalini, da debolmente a molto calcarei (2-14% CaCO ₃). C.S.C. molto elevata (60-70 cmol/kg) e saturazione in basi prossima al 100%.

Il primo cluster può essere ulteriormente suddiviso in tre sub-clusters, in relazione ai diversi valori di AWC e di R*N (Tabella 2).

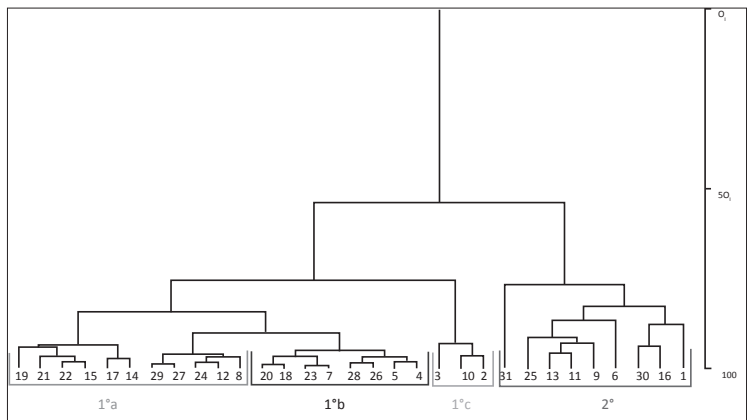


Figura 2 – Dendrogramma dei rilievi di vegetazione e dei profili di suolo.

	1°a	1°b	1°c	2°
pH	6.8	6.9	7.9	7.3
CaCO ₃ %	0.1	2.3	6.7	2.3
C org %	1.4	2.8	2.3	4.2
N %	0.2	0.3	0.2	0.5
C/N	8.5	9.6	9.5	8.8
AWC	195	229	142	101
R*N	39.4	40	41.7	33

Tabella 2 – Valori medi dei parametri edafici e dell'indice R*N di funzionalità del suolo.

L'output del test di correlazione di Pearson mostra una correlazione significativa tra AWC ed R*N (coefficiente di correlazione $r=0.5$; $p<0.05$), come si evince dalla figura 3.

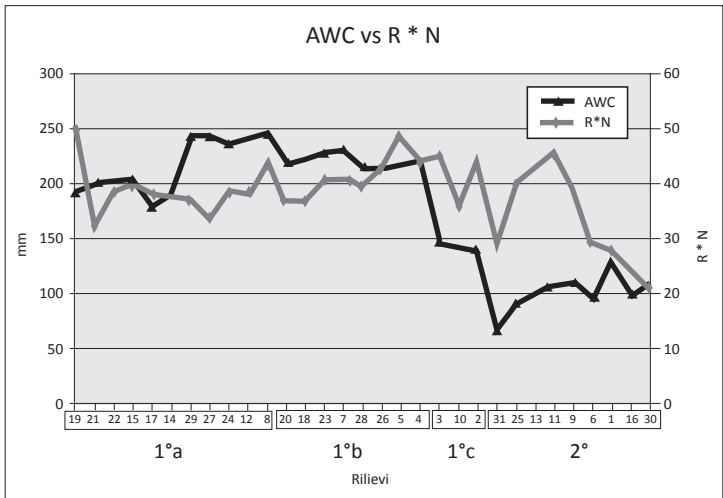


Figura 3 – Andamenti dell'AWC e di R*N. I valori sono ordinati secondo i raggruppamenti dei rilievi/profili nei clusters. I boschi meso-igrofilo (clusters 1°a e 1°b) mostrano i valori più alti, mentre i boschi termofili mediterranei con *Quercus ilex* (cluster 2°) e quelli sub-mediterranei con *Quercus pubescens* e *Quercus cerris* (cluster 1°c) mostrano i più bassi valori di AWC ed R*N.

Discussione

I pattern di diversità espressi da tipi di suolo, substrati e geomorfologie corrispondono alla presenza e distribuzione delle differenti specie e comunità vegetali.

La diversità vegetale è legata principalmente alla disponibilità idrica nel suolo, che gioca un ruolo chiave in quest'area, come mostrato anche in precedenti studi (Testi *et al.*, 2004). L'AWC è inoltre correlato all'indice R^*N , che esprime la qualità dell'humus e la funzionalità del suolo (Rogister, 1978): la mineralizzazione dell'azoto è più veloce nei siti con un alto valore di R^*N (Seidling e Rohner, 1993). Queste condizioni di elevata disponibilità idrica e di nutrienti sono presenti principalmente negli impluvi, in corrispondenza delle fitocenosi con caratteristiche di meso-igrofilia più accentuate. Questo studio conferma, come mostrato dai dati disponibili in letteratura (Dickmann, 1995; Schaffers e Sykora, 2000; Pignatti *et al.*, 2001), la capacità degli indici di Ellenberg di rilevare i parametri ambientali. In particolare R^*N può essere considerato un valido indicatore, basato sulla composizione floristica, per valutare le differenze all'interno delle comunità vegetali. La correlazione trovata tra i parametri edafici misurati (AWC) e l'indice R^*N sottolinea sia l'importanza ecologica che metodologica che ne conseguono: questo indice, finora applicato solo a dati riguardanti il nord e il centro-Europa (Seidling e Rohner, 1993) e per la prima volta ad un set mediterraneo, mostra una correlazione significativa tra funzionalità del suolo e pattern di distribuzione della vegetazione (De Nicola *et al.*, in press). Gli altri fattori abiotici, come la diversità geomorfologica, interagiscono e si sovrappongono, influenzando fortemente la diversità pedologica e vegetale: ne risulta una grande ricchezza di specie e comunità in un'area relativamente piccola, peraltro circondata da una matrice ad elevata antropizzazione.

Conclusioni

L'approccio e i metodi utilizzati in questo studio hanno permesso di rilevare l'eterogeneità ambientale dell'area a scala fine, sottolineando il fatto che la Riserva Gattaceca-Macchia del Barco rappresenta un *hotspot* di pedo-diversità e di diversità vegetale. La varietà dei fattori legati al *sistema suolo* – parametri chimico-fisici, roccia madre, geomorfologia e tipi di suolo – hanno mostrato una stretta corrispondenza con le specie e le comunità vegetali presenti. I principali fattori discriminanti sono risultati l'AWC e l'indice di funzionalità del suolo R^*N : la disponibilità idrica del suolo è un buon indicatore della struttura e composizione floristica delle comunità e può essere considerato un fattore *chiave* che contribuisce a mantenere la diversità in un ecosistema forestale; l'indice di funzionalità del suolo è risultato correlato alla disponibilità idrica ed è in grado di distinguere differenze floristiche ed ecologiche anche piccole tra i boschi rilevati.

BIBLIOGRAFIA

- Costantini, E.A.C., *Linee guida dei metodi di rilevamento e informatizzazione dei dati pedologici*, CRA-ABP, Firenze, 2007.
- De Nicola, C., Testi, A., Crosti, R., Zanella, A., D'Angeli, D., Fanelli, G., Pignatti, S., *Humus e vegetazione come indicatori della qualità dell'ecosistema suburbano nella Tenuta di Castelporziano*, Accademia delle Scienze, "Scritti e Documenti", 2011.
- Diekmann, M., *Use and improvement of Ellenberg's indicator values in deciduous forests of the Boreo-nemoral zone in Sweden*, *Ecography*, 18, 1995, pp. 178-189.
- Ellenberg, H., *Zeigerwerte der Gefäßpflanzen Mitteleuropas (Indicator values of vascular plants in Central Europe)*, *Scripta Geobot.*, 9, 2nd ed., Göttingen, 1979.
- M.I.P.A.F. (Ministero delle Politiche Agricole e Forestali), *Metodi di analisi chimica del suolo*, Franco-Angeli, 2000.
- Pignatti, S., Bianco, P.M., Fanelli, G., Guarino, R., Petersen, J., Tescarollo, P., *Reliability and effectiveness of Ellenberg's indices in checking flora and vegetation changes induced by climatic variations*, in J.R. Walter, C.A. Burga, P.J. Edwards, *Fingerprints of climate changes: adapted behaviour and shifting species ranges*, Kluwer Academy/Plenum Publishers, New York and London, 2001, pp. 281-304.
- Rogister, J., *De ekologiske mR-en mN-waarden van de kruidlaag en de humuskwiteit van bosplantengezelschap-pen. _/ Proefstation van Waters en Bossen*, 1978.
- Schaffers, A., Sykora, K., *Reliability of Ellenberg indicator values for moisture, nitrogen and soil reaction: a comparison with field measurements*, *J. Vegetation Sci.*, 11, 2000, pp. 225-244.
- Schimel, J.P., Bennet, J., *Nitrogen mineralization: challenges of a changing paradigm*, *Ecology*, 85(3), 2004, pp. 591-602.
- Seidling, W., Rohner, M.S., *Zusammenhänge zwischen Reaktions-Zeigerwerten und bodenchemischen Parametern am Beispiel von Waldbodenvegetation*, *Phytocoenologia*, 23, 1993, pp. 301-317.
- Testi, A., Crosti, R., Dowgiallo, G., Tescarollo, P., De Nicola, C., Guidotti, S., Bianco, P.M., Serafini Sauli, A., *Soil water availability as a discriminant factor in forest vegetation: preliminary results on sub-coastal mixed oak woodlands in central-southern Latium (Central Italy)*, *Annali di Botanica*, vol. IV, 2004, pp. 49-64.
- U.S.D.A. (United States, Department of Agriculture), *Keys to Soil Taxonomy*, Eleventh Edition, 2010.

Lo studio della banca semi del suolo per la conservazione integrata di specie rare: un caso sperimentale

G. Fabrini¹, R. Crosti², S. Feola³, B. Piotto⁴, A. Morgutti⁵.

¹ Dipartimento di Biologia Ambientale, Sapienza Università di Roma; giuseppe.fabrini@uniroma1.it

² ISPRA, Dipartimento Difesa della Natura, Roma.

³ Riserva Naturale Regionale di Tor Caldara, Anzio (RM).

⁴ ISPRA, Dipartimento Difesa della Natura, Roma.

⁵ Coop. Climax, Roma.

Riassunto

Cyperus polystachyos Rottb. è una specie rara e minacciata. In Europa è presente solo in due siti italiani, dove è considerata un relitto termofilo. Questo studio presenta i risultati, a breve termine, di un progetto pilota per il restauro della banca dei semi del suolo attraverso una conservazione integrata del germoplasma della specie.

Parole chiave: banca semi del suolo, *Cyperus polystachyos* Rottb., conservazione integrata, translocazione.

Introduzione

Tra i diversi elementi che caratterizzano le proprietà biologiche del suolo la conservazione nel terreno di semi o spore vitali riveste importanza particolare. La banca semi del suolo, infatti, è una delle componenti il cui ruolo e funzionalità sono fondamentali per la rigenerazione naturale delle piante in determinate condizioni ambientali (Bakker *et al.*, 1996; Roberts, 1981).

Con il termine banca semi del suolo si definisce la conservazione naturale nel suolo di semi o spore, spesso dormienti, che permettono il rinnovamento delle specie vegetali quando le condizioni naturali sono favorevoli (Baskin e Baskin, 1989; APAT, 2006).

Lo studio delle banche dei semi del suolo ha origini lontane. Uno dei primi studiosi è stato Charles Darwin che nel 1859 osservò la nascita di piantine da campioni di terreno provenienti dal fondo di un lago (Christoffoleti *et al.*, 1998).

La banca semi può essere definita di tipo transitorio quando i semi di una specie non persistono allo stato vitale nel suolo per più di un anno e germinano durante la prima stagione favorevole; si definisce, invece, persistente quando i semi rimangono vitali nel suolo, allo stato dormiente o comunque senza germinare, per più di un anno (Walck *et al.*, 2005; Thompson, 1993). I semi che formano banche permanenti sono (quasi) sempre ortodossi (semi che mostrano naturalmente un basso contenuto di umidità al momento della disseminazione e mantengono per lungo tempo la vitalità se conservati in luoghi asciutti).

La diversità delle specie vegetali e la complessità delle interazioni che avvengono sopra il suolo si ritrovano, in gran parte, anche all'interno del suolo (Cabin *et al.*, 2000), il terreno

può quindi custodire il patrimonio genetico dell'ecosistema circostante e renderlo disponibile nel tempo.

Nel caso di specie rare e a rischio di estinzione, l'analisi della capacità e delle risorse della banca semi del suolo riveste un ruolo fondamentale sia per lo studio del rinnovamento della specie sia per la sua conservazione. Tra i diversi metodi utilizzati per il restauro della vegetazione, il ripristino della banca semi del suolo risulta essere una tecnica efficiente ed ecologicamente appropriata per la rivegetazione di ambienti con caratteristiche molto diversificate: da luoghi umidi ad ambienti mediterranei proni ad incendi (McKinstry e Anderson, 2005; Crosti e Piotto, 2006).

Cyperus polystachyos Rottb. è una specie rara, presente in Europa solo in due siti in Italia. Il suo *status* di conservazione è stato definito CR (gravemente minacciato) dalle liste rosse regionali (Conti *et al.*, 1997), tale status è stato confermato anche applicando i nuovi criteri di *assessment* dello IUCN (Fabrini e Crosti, 2012).

La specie è presente in Italia a Ischia (NA) e nella Riserva Naturale Regionale di Tor Caldara (RM).

La prima segnalazione della specie a Ischia risale a Michele Tenore nel 1802 (Tenore, 1811-38), presso le fumarole di Frasso. In seguito, numerosi botanici si sono interessati alla specie (De Candolle, Gussone, Mauri, ecc.). Uno studio approfondito sulla distribuzione ed ecologia della specie a Ischia è stato realizzato da Merola (1957). Nel suo lavoro Merola elenca la presenza di 10 stazioni, sparse su tutta l'isola (tutte presso fumarole). Sopralluoghi effettuati nel 2006 e nel 2008 hanno accertato la presenza della specie solo in 6 delle 10 citate da Merola; non risultano, inoltre, segnalazioni di altre stazioni sull'isola.

Nel Lazio la specie è presente presso la Riserva Naturale Regionale di Tor Caldara, nel comune di Anzio (RM) con tre stazioni principali e diverse presenze sporadiche sparse per la Riserva. Il primo ridotto popolamento è stato rinvenuto per la prima volta da Moraldo *et al.* (1987-1988), lungo un piccolo tratto di costa, di una decina di metri quadrati. In seguito è stata trovata e conseguentemente monitorata una nuova stazione, definita esclusivamente ai fini di questo lavoro “laghetto” (41°29' 22,38" N; 12°35' 39,41" W), più cospicua della precedente, e distanziata da questa di circa 1 km. Una terza, piccola, stazione è stata rinvenuta nel 2006 in località “miniera piccola”, a poche centinaia di metri dal “laghetto”.

La specie ha nel sito di Tor Caldara un comportamento prettamente annuale (terofita), mentre nel sito di Ischia è perenne. La specie, che ha una distribuzione pantropicale, è stata definita da Merola (1957) come un relitto termofilo in Italia.

Cyperus polystachyos ha una tarda e ristretta finestra di germinazione poiché richiede condizioni di elevata temperatura e umidità del suolo per germinare; ne consegue, quindi, una forte competizione con le specie perenni (*site limitation*) ed una dispersione dei semi tardo-estiva.

Materiali e metodi

Il sito di Tor Caldara

Il territorio dell'attuale Riserva Naturale Regionale “Tor Caldara” (istituita con la L.R. 50/1988) è uno dei frammenti residui dell'antica “Selva di Nettuno”, un'area boschiva di

circa 10.000 ettari che fino agli inizi del XX sec. si estendeva dalla zona di Tor S. Lorenzo fino al fiume Astura (Caneva e Travaglini, 2003). Nella Riserva la stazione del “laghetto” è situata in una delle antiche zone di estrazione dello zolfo (XV-XIX sec., AA.VV., 1995). La piccola conca artificiale (interessata da emissioni di gas), non raggiunge il livello della falda freatica ed è alimentata dalle precipitazioni meteoriche. Fino al 2006 l'area rimaneva allagata in estate mentre negli anni successivi la conca si è disseccata quasi completamente nel periodo estivo.

Nel libro sulla riserva “Tor Caldara dalla Selva al bosco” (AA.VV., 1995) la specie è citata fra le “Piante notevoli presenti” e, nello stesso anno, è stata inserita nel formulario standard del sito Natura 2000 come uno dei principali elementi che conferiscono qualità ed importanza al SIC di Tor Caldara IT6030046.

La specie è stata inserita nella lista delle emergenze floristiche della Provincia di Roma come entità rarissima nel Lazio e con il massimo grado di emergenza (Blasi in PTPG, 2010).

La peculiare geomorfologia della regione, con la presenza di una duna antica che sbarrava l'afflusso delle acque provenienti dai rilievi calcarei circostanti (M. Lepini, M. Ausoni, M. Aurunci), ha trasformato l'area, dal pleistocene superiore, in un grosso bacino palustre dove anche d'estate persistevano acquitrini e “piscine” (raccolte d'acqua più o meno persistenti in estate). Diversi tentativi di bonifica, cominciati fin dai tempi dell'Impero Romano e conclusi definitivamente nel 1930, hanno radicalmente cambiato l'uso del suolo e ridotto drasticamente gli originali habitat palustri.

Diversi importanti fitogeografi, come Beguinot (1934-36), Almagià (1966) e Montelucci (1977), hanno evidenziato come prima delle bonifiche nell'area acquitrinosa e paludosa dell'agro romano, e dell'agro pontino, ci fossero più di 250 tra idrofite ed igrofite e come l'area sulle sponde paludose fosse ricca di Graminacee, Ciperacee (tra cui *Cyperus* sp. e *Scirpus* sp.) e Juncacee.

La Banca semi del suolo del “laghetto”

Nell'area del “laghetto”, nella primavera del 2005, prima dei prosciugamenti estivi, e del 2010, successivamente ai prosciugamenti estivi, sono stati prelevati dei campioni di suolo (5 repliche 10x15x4cm) (Figura 1a).

I campioni di suolo sono stati inseriti (immediatamente dopo il loro prelievo) in armadio germinatoio impostato alla temperatura di 30°/15° con un fotoperiodo di 12 ore in coincidenza con la temperatura più elevata; in tali condizioni, infatti, precedenti esperimenti (Crosti e Fabrini, 2010) hanno evidenziato una germinazione superiore al 90%.

Dal paragone (Figura 2) è emerso come nei campioni del 2010 ci sia stata una riduzione del numero di semi per cm² presenti nel suolo ($7,6 \pm 3,8$) pari all'82% ($P < 0,01$ al T-Test) rispetto al numero di semi presenti nel 2005 ($42,8 \pm 10,4$).

La popolazione di Tor Caldara si comporta da terofita (pianta annuale) e all'interno della banca semi del suolo, ha un comportamento transitorio e non di tipo persistente. Questo significa che la gran parte dei semi germina nella prima stagione favorevole successiva alla dispersione e, di conseguenza, lo stoccaggio nel suolo è garantito solo per una generazione (Crosti e Fabrini, 2010). Questo suo comportamento rende la specie molto vulnerabile in caso di stress ambientali anche di breve durata, come nel caso del prosciugamento estivo

del “laghetto”, riducendo fortemente la produzione, solitamente tardo estiva, di semi (*seed limitation*).

La translocazione del 2008

All'interno del programma di conservazione di *Cyperus polystachyos* (Crosti e Fabrini, 2010) nella primavera del 2008, è stata realizzata una translocazione (*sensu* IUCN 1998) di germoplasma dal sito di Tor Caldara ad un sito all'interno della Riserva Naturale Regionale di Decima-Malafede (*conservation translocation*) (Crosti e Fabrini, 2010) (Figura 3a). La riserva di Decima-Malafede, distante in linea d'aria meno di 25 km, è stata scelta in quanto parte dell'areale dedotto (*indigenous range*) si trova all'interno dell'area naturale di dispersione della specie. In particolare il sito di traslocazione è stato scelto sia per la presenza di un habitat ecologicamente idoneo, sia perché racchiuso all'interno di un bosco (a prevalenza di cerro, frainetto, farnia, sughera e roverella) a sua volta circondato da una vasta area adibita a coltivazioni. Tale condizione, che funge da barriera ecologica per la specie, impedisce la dispersione del germoplasma al di fuori del sito. Prima della translocazione, è stata comunque valutata, attraverso un *Risk Assessment* (secondo Crosti *et al.*, 2010), la capacità di dispersione della specie che è risultata essere molto bassa.

Semi e plantule provenienti dal sito originale di Tor Caldara sono stati trasferiti nel sito di Decima-Malafede e difesi da recinzioni (75x150 cm) al duplice scopo di proteggerle dalla competizione con le specie perenni presenti nell'area e dal pascolo (questo per evitare sia il danno alle piante sia la dispersione zoocora all'esterno del sito).

Nell'ambito del programma di conservazione della specie, sono state realizzate altre translocazioni: presso i Giardini della Landriana, in località Tor S. Lorenzo (RM), e nel padiglione di “BiodiversItalia” nel Bioparco di Roma (Rambelli e Crosti, 2011).

Un atto vandalico nel 2011 ha distrutto a Decima-Malafede l'impianto con le recinzioni mettendo a serio rischio la sopravvivenza della stazione trapiantata.

Il rafforzamento del 2010

A seguito dello studio sulla banca semi del suolo del sito “laghetto” di Tor Caldara (vedi sopra), che ha evidenziato un depauperamento della stazione, è stato predisposto un progetto pilota di rafforzamento della popolazione originale. A questo scopo, nel 2010, dal sito di Decima-Malafede sono stati raccolti dei semi; parte di questi sono stati racchiusi all'interno di uno strato-lamina protettivo realizzato con cellulosa, amido, torba e suolo superficiale prelevato dalle sponde del “laghetto” (Figura 1b), un'altra parte di semi, invece, sono serviti per ottenere plantule (presso la Banca del Germoplasma dell'Orto Botanico di Roma).

I semi nello strato protettivo e le plantule ottenute sono stati poi trasferiti in due zone separate, a maggio 2011, sulla sponda Nord del laghetto in un'area, dove la presenza della specie non era stata mai osservata (Figura 3b).

Il sito di Decima-Malafede, di conseguenza, ha avuto così la funzione sia di “*ex situ in wild conservation*” con la realizzazione di una nuova stazione sia di “*seed orchard*” per la produzione di germoplasma da utilizzare per fini di conservazione diversi, tra cui il rafforzamento della popolazione originale.

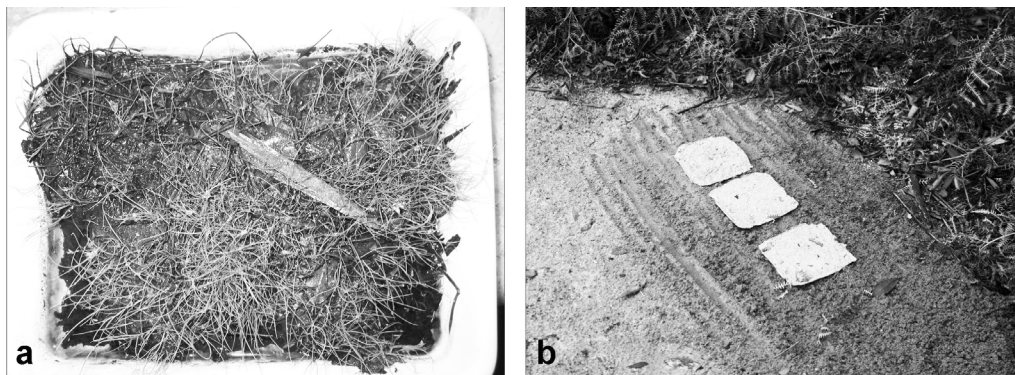


Figura 1 – a) campione di banca semi del suolo con semi germinanti; b) strato-lamina protettivo con semi.

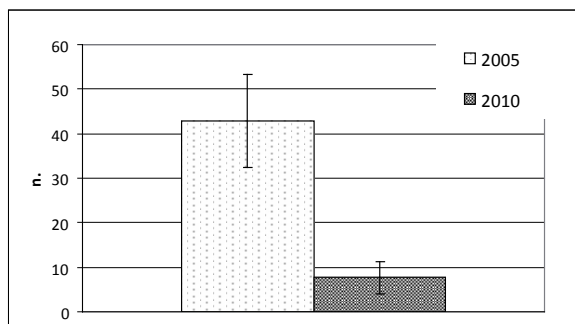


Figura 2 – Numero di semi di *Cyperus polystachyos* per cm² nella banca semi del suolo prima (aprile 2005) e dopo (aprile 2010) i prosciugamenti estivi (media di 5 replicats $\pm$ SE).

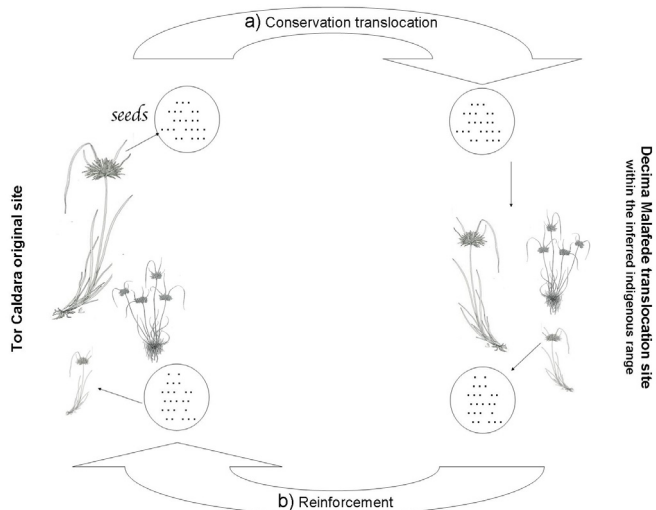


Figura 3 – Schema di a) translocazione e successivo b) rafforzamento popolazione di *Cyperus polystachyos*.

Risultati

Il rafforzamento del 2010

Rilievi, realizzati a partire dall'estate del 2011, nell'area dove è stato eseguito il rafforzamento della popolazione sulla sponda Nord del "laghetto" hanno evidenziato l'avvenuta crescita di plantule dallo strato di semi, l'avvenuta fioritura sia delle plantule dallo strato di semi sia dalle plantule trasferite, la dispersione di semi della nuova generazione.

La prova del taglio (*cut test*) ha dato informazioni sulla vitalità dei semi della nuova generazione ottenuti sia dallo strato di semi sia dalle plantule. I valori riscontrati sono simili tra di loro ($\approx 90\%$) risultando conformi ai valori di vitalità presenti nella stazione originale del "laghetto" ($87.7\% \pm 2.33$).

Conclusioni

Vista l'importanza che riveste la specie, sia per la sua rarità, sia quale elemento principale del SIC di Tor Caldara (e per il suo ruolo di *flag species* della Riserva), sarebbe opportuna la creazione di un ambiente "ottimale" (anche artificiale) per la conservazione permanente della specie che possa metterla al riparo da inaspettati eventi catastrofici, come ad esempio aridità prolungate non infrequenti nell'attuale regime di cambiamenti climatici. Il risultato positivo del progetto pilota, infatti, potrebbe essere causato da particolari condizioni climatiche favorevoli dell'anno di esecuzione che potrebbero non ripetersi nel futuro. Il progetto di conservazione del *Cyperus polystachyos* ha evidenziato l'importanza dello studio della banca dei semi del suolo sia per integrare le conoscenze sulla biologia riproduttiva della specie sia per pianificare opportune azioni di conservazione della specie. Questo tipo di analisi integrata tra la biologia riproduttiva "*above and below soil*", dovrebbe essere considerata un elemento costante e qualificante nello studio della vegetazione soprattutto nei progetti di conservazione di piante rare.

Ringraziamenti

Il lavoro qui presentato è stato reso possibile solo unicamente grazie alla disponibilità e alla professionalità del personale (in particolare di Tor Caldara) e della Direzione (in particolare Vittorio Castellana e Luca Marini) delle due riserve. Carlo Jacomini, Antonella Arcangeli e Carmela Cascone di ISPRA hanno collaborato al progetto. I disegni del *Cyperus* di figura 3 sono tratti da Moraldo *et al.* (1987) e Conti *et al.* (1992).

BIBLIOGRAFIA

- AA.VV., *Tor Caldara dalla Selva al Bosco, un Ambiente, la sua storia, i suoi abitanti*, a cura di Mantero F.M., Roma, Viella, 1995.
- Almagià, R., *Lazio*, UTET, Torino, 1966.
- APAT, *Manuale per la raccolta, studio, conservazione e gestione ex situ del germoplasma*, in Bacchetta G., Fenu G., Mattana E., Piotto B., Virevaire M., *Manuali e linee guida* 37/2006.
- Bakker, J.P., Poschlod, P., Strykstra, R.J., Bekker, R.M., Thompson, K., *Seed banks and seed dispersal: important topics in restoration ecology*, Acta Botanica Neerland, 45, 1996, pp. 461-490.
- Baskin, J.M., Baskin, C.C., *Physiology of dormancy and germination in relation to seed bank ecology*, in Leck M.A., Parker V.T., Simpson R.L., *Ecology of Seed Banks*, Academic Press, Inc., London, UK, 1989, pp. 53-66.
- Beguinot, A., *Flora e fitogeografia delle Paludi Pontine studiate nelle condizioni anteriori all'attuale bonifica incluso il settore Terracina – Lago di Fondi*, Archivio Botanico, 10 (3-4), 1934-1936, pp. 329-382.
- Blasi, C. (a cura di), *Elenco delle emergenze floristiche della Provincia di Roma*, in PTPG, Piano Territoriale Provinciale Generale della Provincia di Roma, 2010.
- Cabin, R.J., Marshall, D.L., *The demographic role of soil seed banks. I. Spatial and temporal comparisons of below – and above – ground populations of the desert mustard Lesquerella fendleri*, Journal of Ecology, 88, 2000, pp. 283-292.
- Caneva, G., Travaglini, C.M., *Atlante Storico-Ambientale Anzio e Nettuno*, De Luca Editori d'Arte, Roma, 2003.
- Christoffoleti, P.J., Caetano, R.S.X., *Soil seed banks*, Sci. agric., Piracicaba, 55 (Número Especial), 1998, pp. 74-78.
- Conti, F., Manzi, A., Pedrotti, A., *Libro Rosso delle Piante d'Italia*, WWF Italia - Ministero dell'Ambiente, Roma, 1992.
- Conti, F., Manzi, A., Pedrotti F., *Liste Rosse Regionali delle piante d'Italia*, WWF, SBI, Camerino, 1997.
- Crosti, R., Cascone, C., Cipollaro, S., *Use of a weed risk assessment for the Mediterranean region of Central Italy to prevent loss of functionality and biodiversity in agro-ecosystems*, Biological Invasion 12 (6), 2010, pp. 1607-1616.
- Crosti, R., Fabrini, G., *Integrated conservation of the rare and endangered thermophilous species Cyperus polystachyus: investigation on recruitment strategies and short-term assessment of translocation*, Annali di Botanica, 2010.
- Crosti, R., Piotto, B., *Soil seed bank restoration: the role of post-fire enhancing agents, such as smoke, in germination of Mediterranean native species*, Proceedings of the 16th Meeting of the Italian Society of Ecology, Viterbo, 2006.
- Fabrini, G., Crosti, R., *Cyperus polystachyus Rott*, Informatore Botanico Italiano, 2012 (in stampa).
- IUCN/SSC Reintroduction Specialist Group, *IUCN Guidelines for Re-introductions*, IUCN, Gland, Switzerland and Cambridge, UK, 1998.
- McKinstry, M.C., Anderson, S.H., *Salvaged-wetland soil as a technique to improve aquatic vegetation at created wetlands in Wyoming, USA*, Wetl Ecol Manage, 13 (5), 2005, pp. 499-508.
- Merola, A., *Ecologia del Cyperus polystachyus Rottb. Nelle sue stazioni eterotipiche dell'isola d'Ischia*, Delpinoa 10, 1957, pp. 21-92.
- Montelucci, G., *Lineamenti della vegetazione del Lazio*, Annali di Botanica, 35-36, 1976-1977, pp. 1-107.
- Moraldo, B., Minutillo, F., Rossi, V., *Una nuova stazione di Cyperus polystachyos Rottb. in Italia*, Delpinoa, 29-30, 1987-1988, pp. 69-75.

- *Natura 2000 formulario standard*, ftp://ftp.dpn.minambiente.it/Cartografie/Natura2000/schede_e_mappe/Lazio/SIC_schede/IT6030046.pdf.
- Rambelli, S., Crosti, R., *Progetto di conservazione ex situ di Cyperus polystachyos al bioparco*, Fondazione Bioparco di Roma n. 10, Ottobre 2011.
- Roberts, H.A., *Seed banks in soils*, Advances in Applied Biology, 6, 1981, pp. 1-55.
- Tenore, M., *Flora Napolitana*, vol. 3, Stamperia Reale, Napoli, 1811-1838.
- Thompson, K., Band, S.R., Hodgson, J.G., *Seed size and shape predict persistence in soil*, Functional Ecology, 12, 1993, pp. 236-241.
- Walck, J.L., Baskin, J.M., Baskin, C.C., Hidayati, S.N., *Defining transient and persistent seed banks in species with pronounced seasonal dormancy and germination patterns*, Seed Science Research, 15, 2005, pp. 189-196.

Relazioni tra biomassa microbica, attività metabolica e diversità genetica della comunità batterica lungo il profilo in quattro suoli calabresi: un approccio mediante analisi statistica multivariata

A. Gelsomino¹, A. Azzellino², G. Vecchio³

¹ Dipartimento di Biotecnologie per il Monitoraggio Agroalimentare ed Ambientale (BIOMAA), Università Mediterranea di Reggio Calabria, Salita Melissari, 89124 Reggio Calabria, Italy.

² Dipartimento di Ingegneria Idraulica, Ambientale, Infrastrutture Viarie, Rilevamento (DIIAR), Politecnico di Milano, Piazza Leonardo da Vinci 32, 20133 Milano, Italy.

³ TechfemSud s.r.l., S.S. 280 Bivio Aeroporto 2, 88046 Lamezia Terme (CZ), Italy.

* Corresponding author.

I processi di pedogenesi determinano l'evoluzione del suolo con la formazione di orizzonti diversi, caratterizzati da distinte proprietà chimico-fisiche, che ospitano le comunità microbiche del terreno e sono sede di attività biologica. Scopo del presente lavoro è stato quello di correlare le variazioni delle variabili biochimiche, microbiche e molecolari del suolo in risposta a diversificate caratteristiche chimiche, fisiche e pedogenetiche di suoli provenienti da quattro diversi siti e, per ciascun sito, rappresentativi di profondità di campionamento (orizzonti) differenti. Le aree di campionamento, tutte ricadenti nell'ambito territoriale della regione Calabria, sono state individuate nella Media Valle del fiume Crati e nel Bacino del lago Cecita nella Sila Grande. Sono stati indagati: un suolo calcareo ad uso agricolo; un suolo di prateria che si evolve su depositi fluvio-lacustri e caratterizzato da un processo pedogenetico di accumulo superficiale di sostanza organica; un suolo agrario costituito da depositi colluviali e che si evolve su rocce acide intrusive; un suolo forestale a reazione acida. Gli orizzonti campionati hanno presentato marcate differenze nelle proprietà fisiche (tessitura, struttura, colore) e chimiche (pH, TOC, TN, CSC, CE), a cui hanno fatto riscontro diversificate risposte funzionali (C ed N della biomassa microbica, respirazione basale, attività enzimatiche). Sono state inoltre monitorate le variazioni nella diversità microbica lungo ciascun profilo mediante analisi DGGE di DNA batterico estratto da suolo. L'approccio statistico mediante analisi dei componenti principali ha evidenziato una significativa correlazione tra il contenuto in C organico ed i pool funzionali del C organico, quali il C e l'N della biomassa microbica, la respirazione basale, le attività enzimatiche. Sono inoltre risultati evidenti i gradienti verticali di attività e biomassa microbica in tutti i profili indagati. La caratterizzazione molecolare delle comunità batteriche mediante analisi DGGE ha mostrato un riassortimento della struttura molecolare delle popolazioni batteriche variabile per tipo di suolo e, per ogni sito, diversificato lungo il profilo. L'analisi statistica multivariata ha permesso di correlare la variabilità dei profili molecolari ottenuti per tipo di suolo e per orizzonte pedogenetico alle variabili chimiche e biochimiche, mostrando che le caratteristiche chimiche (in particolare TOC, pH, contenuto in CaCO_3) e tessiturali influenzano significativamente sia i livelli di attività biochimica sia la struttura della comunità batterica residente nel suolo.

Biodiversità microbica del suolo per la valorizzazione di agrosistemi tipici della realtà italiana: caso studio del ciliegio “Durone di Vignola”

S. Mocali^{1,2}, L. Manici³, A. Fabiani¹, F. Caputo³, A. Florio², A. Mengoni⁴, M. Castaldini¹, A. Frascella⁴, B. Felici², G. Renzi², A. Benedetti²

¹ Consiglio per la Ricerca e la sperimentazione in Agricoltura, Centro di Ricerca per l’Agrobiologia e la Pedologia (Italy).

² Consiglio per la Ricerca e la sperimentazione in Agricoltura, Centro di Ricerca per lo Studio delle Relazioni tra Pianta e Suolo, Roma (Italy).

³ Consiglio per la Ricerca e la sperimentazione in Agricoltura, Centro di Ricerca per le Colture Industriali, Bologna (Italy).

⁴ Dipartimento di Biologia Evoluzionistica, Università di Firenze, Firenze (Italy).

Introduzione

Una delle principali emergenze ambientali è sicuramente rappresentata dalla perdita di biodiversità dei suoli. Inoltre è noto che gran parte della biodiversità dei suoli sia rappresentata dai microrganismi il cui ruolo è assolutamente cruciale per la sostenibilità dell’ecosistema suolo. L’obiettivo di questo lavoro è stato quello di verificare la relazione che lega la risorsa genetica microbica dei suoli a colture arboree di interesse agrario per la conservazione delle colture di qualità strettamente legate al territorio, in particolare prodotti DOP e IGP.

Materiali e metodi

Lo studio è stato condotto su 3 ecosistemi agrari di riferimento per la coltura del ciliegio, individuati a Vignola (VIG), a Monterotondo (GIA) e presso il campo catalogo del CRA-FRU a Ciampino (CRA). Le principali caratteristiche chimico-fisiche dei tre suoli sono qui di seguito riportate:

Tabella 1 – Principali caratteristiche chimico-fisiche dei tre siti di studio.

Soil	Sand %	Silt %	Clay %	pH (1:2,5)	N tot %	P (ppm)	K (ppm)	O.M. %
VIG	45	37	18	7,5	0,131	7	148	2,34
GIA	37	20	43	6,0	0,149	52	500	2,65
CRA	52	23	25	6,5	0,143	19	735	2,53

È stata considerata la vecchia varietà in via di estinzione “*durone di Vignola*” innestata su portainnesto “*Colt*” in modo da poter confrontare l’interazione dello stesso germoplasma vegetale con le comunità microbiche del suolo di tre ambienti molto diversi fra loro.

Le analisi sono state effettuate sia sui batteri che sui funghi filamentosi del suolo mediante un approccio multidisciplinare condotto sia in pieno campo (*bulk soil*) che in vaso per le comunità batteriche della rizosfera e per gli endofiti delle radici. Per ciascun sito sono stati

determinati i valori di carbonio organico totale, TOC (Springer *et al.*, 1952), ed estraibile, TEC (Ciavatta *et al.*, 1991), la respirazione microbica effettuando la misura dell'emissione di CO₂ secondo il metodo "statico" dopo 1, 2, 4, 7, 10, 14, 17, 21 e 28 giorni (Isermayer, 1952). Per ciascun terreno tal quale è stato quindi il parametro C₀ espresso come carbonio potenzialmente mineralizzabile (mg CO₂/Kg di terreno in 28 giorni) e calcolato in base alla formula $C = C_0 (1 - e^{-kt})$ (Riffaldi *et al.*, 1996). La biomassa microbica (C_{mic}) è stata determinata secondo il metodo di Vance *et al.* (1987), mentre la diversità funzionale mediante la tecnica Community Level Physiological Profile (CLPP) (Garland e Mills, 1991), utilizzando piastre Ecoplate (Biolog®).

La diversità genetica dei batteri è stata determinata mediante la tecnica molecolare Denaturing Gradient Gel Electrophoresis (DGGE) condotta sia su DNA che RNA dei geni 16S come riportato in precedenza (Castaldini *et al.*, 2005), previa estrazione degli acidi nucleici (DNA e RNA) mediante il "RNA Power Soil Total RNA Isolation kit" e il "RNA Power Soil DNA Elution Accessory Kit (MoBio Laboratories Inc.). L'analisi DGGE è stata condotta su un gel di polyacrylamide 6% (acrylamide/bis ratio, 37.5:1), in condizioni denaturanti (urea, 7 M; 40% formamide con gradiente denaturante da 42% a 58%), attraverso l'utilizzo del sistema INGENYphorU-2 (Ingeny, Netherlands).

Inoltre è stata effettuata anche l'analisi Terminal-restriction fragment length polymorphism (T-RFLP) dei geni 16S rRNA sui campioni di DNA estratti sia dalle radici che dal suolo rizosferico dei vasi, digerendo gli ampliconi mediante 20U di MspI, HhaI, TaqI, o Hinf I per 3 ore a 37 °C (o a 65 °C per TaqI) e analizzati mediante elettroforesi capillare (ABI310 Genetic Analyzer) utilizzando TAMRA 500 (Applied Biosystems) come standard (Mengoni *et al.*, 2005). Le analisi dei funghi saprofitari del suolo e degli endofiti delle radici sono state eseguite con metodi colturali (rispettivamente: diluizioni seriali e isolamenti da tessuti) e successivo riconoscimento su base tassonomica e molecolare.

È stata infine effettuata l'analisi dei profili fingerprint T-RFLP e DGGE per la realizzazione delle matrici di similarità che, attraverso l'utilizzo dei coefficienti di Dice (DGGE) o Jaccard (T-RFLP), hanno consentito la costruzione dei dendrogrammi in accordo con l'analisi cluster (unweighted pair group method arithmetic average, UPGMA).

Risultati e discussione

I risultati hanno indicato una correlazione positiva fra il contenuto di sostanza organica e la diversità delle comunità batteriche e fungine nel bulk soil e di quelle batteriche della rizosfera. In particolare i campioni provenienti dal sito GIA hanno mostrato valori di TOC significativamente maggiori dei suoli CRA e VIG così come i valori di TEC (dati non riportati).

L'attività microbica totale è stata determinata mediante la misura della respirazione del terreno. In particolare si osserva che i campioni CRA e GIA mostrano differenze significative di C_{cum} indipendentemente dalla presenza delle piante, mentre i campioni VIG mostrano la maggior variabilità. Questo potrebbe essere dovuto prevalentemente ai valori di biomassa microbica estremamente diversi tra i diversi campioni (Figura 1).

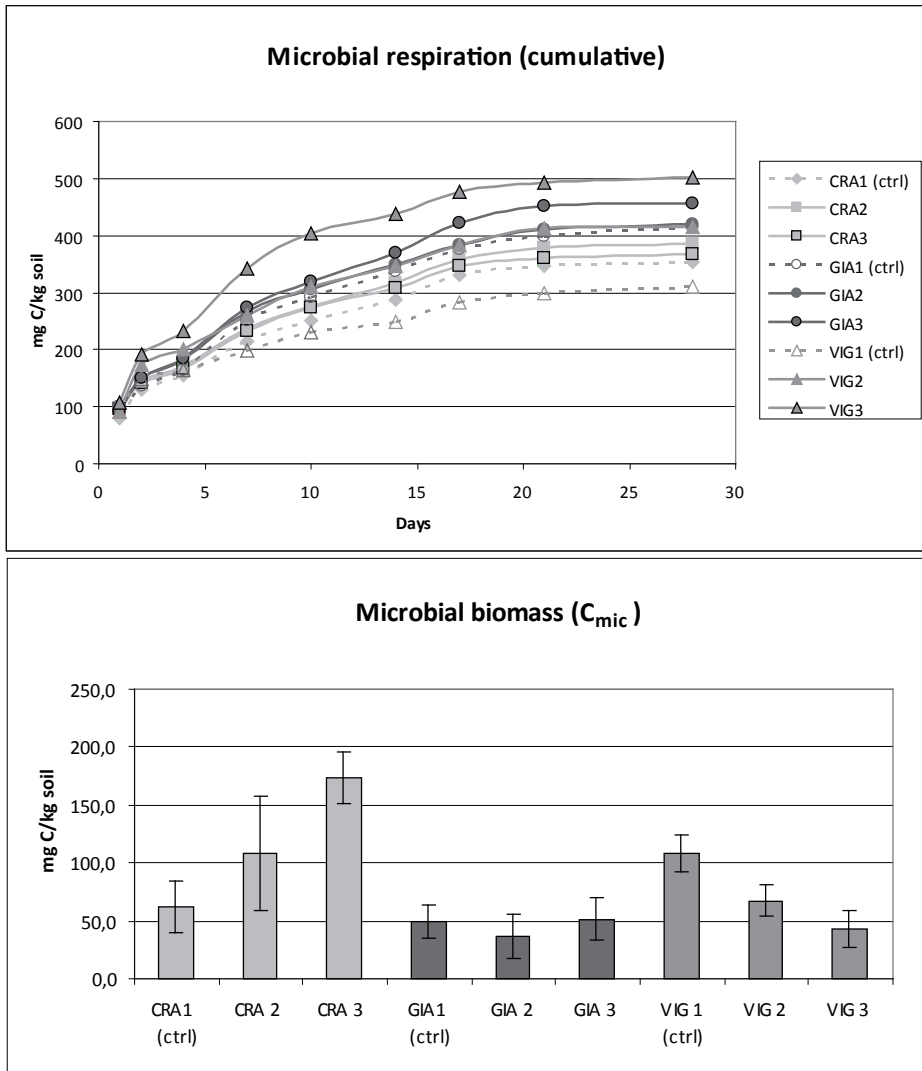


Figura 1 – L'attività e la quantità della comunità microbica è stata determinata mediante la respirazione potenziale (in alto) e la biomassa microbica (in basso).

L'analisi DGGE e quella dei funghi condotte sui campioni prelevati in pieno campo hanno differenziato le comunità microbiche in tre cluster corrispondenti ai tre agro-sistemi, sottolineando un ruolo selettivo dell'ambiente sulla composizione delle comunità microbiche (Figura 2). Nella prova in vaso i valori di TRFs sono risultati significativamente diversi per i campioni rizosferici (32 in GIA, 22 in VIG and 16 in CRA), ma non per quelli endofitici (11,6 in GIA, 14,2 in VIG and 14,0 in CRA), indicando che i diversi ambienti hanno influenzato le comunità batteriche della rizosfera, ma non quelle endofitiche che, invece, sembrano essere selezionate dalla pianta. Gli stessi risultati sono stati osservati anche per i funghi endofiti delle radici (dati non riportati).

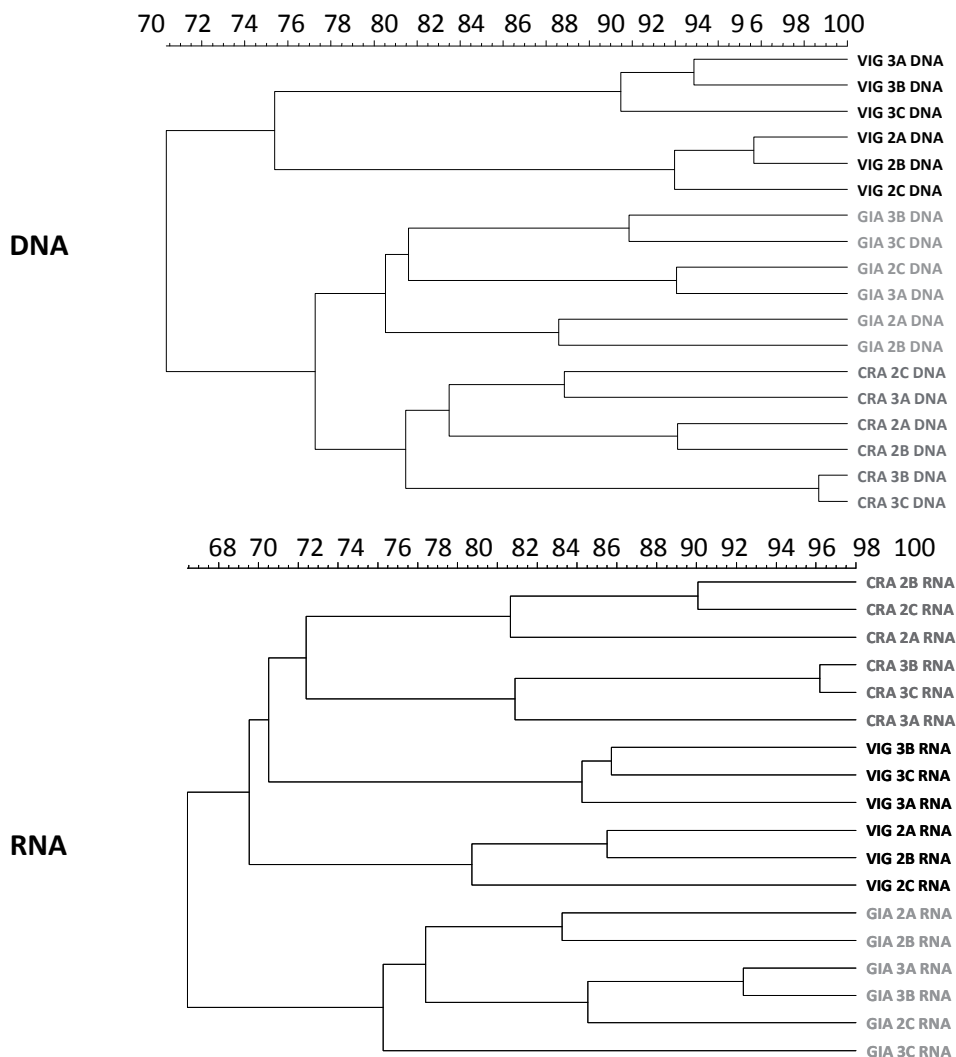


Figura 2 – L’analisi cluster (UPGMA) dei risultati DGGE condotta sui geni 16S rDNA mostra una netta e significativa differenza nelle comunità batteriche dei tre siti, evidenziata sia con campioni di DNA che RNA, indipendentemente dalla presenza delle piante.

Gli indici di diversità basati sui funghi saprofitari del suolo differiscono significativamente tra i tre agro-ambienti. Un esempio di confronto tra due siti sotto studio è riportato nella tabella 2, in cui si utilizzano diversi indici di diversità in funzione di *richness* e *eveness*. Le comunità fungine differiscono anche in base alla composizione; infatti solo poche specie sono condivise dalle comunità dei tre diversi agro-ambienti. Inoltre sono state isolate diverse specie biologicamente attive specifiche per ciascun sito e perlopiù appartenenti ai generi *Penicillium*, *Aspergillus* e *Paecilomyces* (Figura 3).

Tabella 2 – Indici di diversità per le comunità fungine del suolo nei siti di Frutticoltura (FRU) e Giangiolami (GIA).

	FRU	GIA	B	P	
Taxa	21	14	**	**	
Shannon H ^R	2.93	2.50	**	**	^E diversity index mostly biased toward evenness
Simpson ind ^E	0.94	0.91	**	**	
Menhinick ^R	0.37	0.28	**	**	^R diversity index mostly biased toward richness
Margalef ^R	2.48	1.66	**	**	
Fisher alpha ^E	3.00	1.91	**	**	d= Berger-Parker dominance
Berger-Parker(1/d) ^E	0.09	0.13	**	**	** significant (P≥0.01)

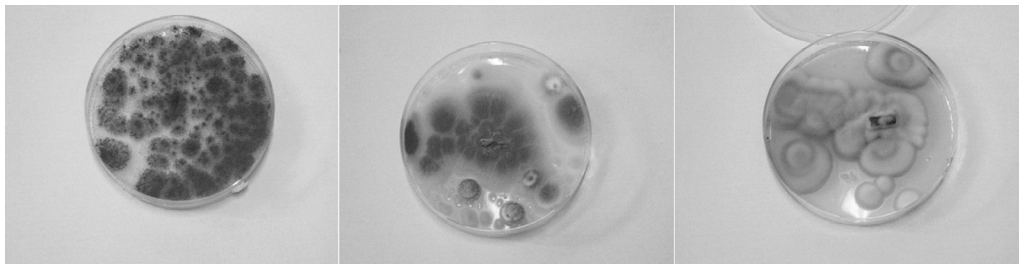
*Aspergillus flavus**Penicillium cremeogriseum**Paecilomyces lilacinus*

Figura 3 – Funghi appartenenti a specie biologicamente attive e specifiche per i tre siti.

Conclusioni

L'insieme dei dati ottenuti dalla sperimentazione in pieno campo ha indicato una influenza predominante ad opera del tipo di suolo sia sull'attività microbica totale che sul suo metabolismo rispetto ad effetto pianta. La DGGE sembra confermare questi dati, mostrando cluster separati per i batteri estratti da suoli diversi. Tuttavia, in microcosmi questo effetto è notevolmente diminuito e anche la comunità endofita è sembrata maggiormente connessa con la diversità intraspecifica delle piante piuttosto che al tipo di suolo. Nuovi studi saranno effettuati sui complessi rapporti tra le proprietà del suolo e le funzioni microbiche. Si può quindi concludere che i batteri e i funghi del suolo possono essere utili indicatori di biodiversità degli agro-sistemi, mentre le comunità endofite delle radici hanno mostrato una forte specificità verso l'ospite suggerendo quanto sia importante preservare la biodiversità degli ecosistemi agrari.

BIBLIOGRAFIA

- Castaldini, M., Turrini, A., Sbrana, C., Benedetti, A., Marchionni, M., Mocali, S., Fabiani, A., Landi S., Santomassimo, F., Pietrangeli, B., Nuti, M.P., Miclaus, N., Giovannetti, M., *Impact of Bt on rhizospheric and soil enbacterial communities and on baneficial mycorrhizal symbiosis in experimental microcosms*, Applied and Environmental Microbiology, 71 (11), 2011, pp. 6719-6729.

- Ciavatta, C., Govi, M., Vittori Antisari, L., Sequi, P., *Characterization of humified compounds by extraction and fractionation on solid polyvinylpyrrolidone*, J. Chromatogr., 509, 1990, pp. 141-146.
- Garland, J.L., Mills, A.L., *Classification and Characterization of heterotrophic microbial communities on the basis of patterns of Community-Level Sole-Carbon-Source Utilization*, Applied and Environmental Microbiology, 57, 1991, pp. 2351-2359.
- Isermeyer, H., *Eine einfache Methode zur Bestimmung der Bodenatmung und der Karbonate im Boden*. Z, Pflanzenernaehr Bodenk, 56, 1952, pp. 26-38.
- Mengoni, A., Tatti, E., Decorosi, F., Viti, C., Bazzicalupo, M., Giovannetti, L., *Comparison of 16S rRNA and 16S rDNA t-RFLP approaches to study bacterial communities in soil microcosms treated with chromate as perturbing agent*, Microb. Ecol, 50, 2005, pp. 375-384.
- Riffaldi, R., Saviozzi, A., Levi-Minzi, R., *Carbon mineralization kinetics as influenced by soil properties*, Biology and Fertility of Soils, 22, 1996, pp. 293-298.
- Springer, U., Klee, J., *Profung der leistungsfähigkeit von einigen nichtgerenverfahren zur Bestimmung des Kohlenstoffs mittels Chromschwefelsäure sowie Vorschlag einer neuen Schnellmethode*. Z, Pflanzenernaehr, Dang, Bodenkundem, 64, 1, 1954.
- Vance, E.D., Brookes, P.C., Jenkinson, D.S., *An extraction method for measuring soil microbial biomass C*, Soil Biol. Biochem., 19, 1987, pp. 703-707.

Caratterizzazione molecolare di comunità batteriche funzionali del suolo in sistemi gestionali da fortemente antropici a naturali

R. Pastorelli, R. Piccolo, S. Landi

Consiglio per la Ricerca e la sperimentazione in Agricoltura, Centro di Ricerca per l'Agrobiologia e la Pedologia, Firenze.

Riassunto

L'obiettivo della ricerca è stato quello di studiare l'attività funzionale della microflora batterica mediante estrazione diretta di RNA da suoli provenienti da diversi sistemi gestionali in un bacino collinare in Gallura (Sardegna). È stata analizzata la comunità batterica attiva e le comunità funzionali coinvolte in processi implicati nel riscaldamento globale (World Global Warming). Ambienti a minore impatto ambientale accrescono la biodiversità della comunità batterica attiva.

Parole chiave: comunità batteriche del suolo, gas serra, RT-PCR, DGGE.

Introduzione

L'evoluzione dell'attività antropica dell'ultimo secolo ha provocato un progressivo incremento delle emissioni gassose nell'atmosfera, fra cui ritroviamo anche i principali gas responsabili dell'incremento dell'effetto serra. I microrganismi del suolo oltre che esercitare una profonda influenza sullo stato di fertilità del suolo, svolgono un ruolo cruciale per la qualità e la sostenibilità dell'agro-ecosistema; infatti sono strettamente legati a molti processi che regolano le emissioni di questi gas, come il sequestro di carbonio organico, la liberazione di CO_2 , CH_4 e N_2O o l'ossidazione del CH_4 atmosferico. La composizione e l'attività delle comunità microbiche del suolo sono fortemente influenzate dal tipo di suolo, dalle diverse pratiche agricole e dalle variazioni stagionali (Powlson *et al.*, 2001; Terahara *et al.*, 2009).

In questo lavoro viene caratterizzata, mediante metodi molecolari, l'intera comunità batterica attiva proveniente da diversi sistemi gestionali, allo scopo di comprendere l'influenza dei fattori ambientali e antropici sulla biodiversità. Inoltre, particolare riguardo viene posto alle comunità funzionali dei batteri denitrificanti e dei metanotrofi, in quanto sono implicate nell'emissione di N_2O nell'atmosfera (gas serra 296 volte più potente della CO_2) e nell'ossidazione di CH_4 a CO_2 .

È stato preso in esame un bacino collinare in Gallura, omogeneo dal punto di vista climatico e pedologico, sul quale è possibile evidenziare una progressione ecologica da una condizione di estrema intensità colturale (vigneto lavorato) fino a una estremamente conservativa (foresta mediterranea), attraverso tappe intermedie (vigneto inerbito, erbaio, pascolo). L'analisi delle comunità batteriche è stata condotta, mediante un approccio RT-PCR DGGE (Denaturant Gradient Gel Electrophoresis), calcolando i valori di richness e diversità (indice di Shannon-Weiner) sui profili elettroforetici ottenuti, ed eseguendo Cluster-Analysis (Unweighted Pair Group Mathematical Average-UPGMA).

Materiali e metodi

Caratteristiche del sito e campionamento del suolo. L'area sperimentale è situata a Berchidda (OT, Sardegna) in un bacino a 275-300 m s.l.m.. Il suolo, a tessitura franco-sabbiosa, è classificato come Typic Dystrochrepts secondo l'USDA Soil Taxonomy (Tabella 1). I due vigneti (cv. Vermentino) erano gestiti rispettivamente a vigneto lavorato (VL) mediante lavorazione del suolo a 40 cm di profondità con concimazione organica, e a vigneto inerbito (VI) mediante inerbimento spontaneo con concimazione fogliare. Nell'erbaio (ER) al momento del campionamento sussisteva avena, loglio e trifoglio micheliano. Il pascolo (PA) era rappresentato principalmente da *Hordum leporinum*, *Trifolium michelianum*, *T. subterraneum* e *T. resupinatum*. La foresta (SU) era costituita da essenze di *Quercus suber* frammiste a cespugli spontanei. In maggio e novembre del 2007 sono stati raccolti 5 repliche di suolo dai 5 differenti sistemi gestionali ad una profondità di 0-20 cm. I campioni di suolo sono stati posti in sacchetti sterili e immediatamente congelati a -80 °C in ghiaccio secco.

Tabella 1 – Caratteristiche chimico-fisiche dei suoli; lettere diverse indicano differenze statisticamente significative all'analisi della varianza (ANOVA) per $P < 0,05$. FC, capacità di campo; C org, carbonio organico; N tot, azoto totale; OM, sostanza organica; CSC, capacità di scambio cationico.

	Sabbia %	Limo %	Argilla %	FC vol%	C org g/kg	N tot g/kg	C/N	OM g/kg	CSC meq/100g
VL	83,0±18,8 a	4,8±23,3 b	12,3±7,6	14,6±0,9 b	14,4±2,8	1,0±0,1	14,3±1,6	24,7±4,7	12,5±1,6 b
VI	80,2±4,1 a	8,4±6,9 b	11,4±6,8 b	14,6±0,8 b	12,3±2,5 b	1,0±0,1	12,1±2,3	21,2±4,3 b	14,9±0,9
ER	73,3±2,2 b	13,6±2,1 a	13,1±3,9	20,1±1,3 a	24,3±4,5	1,7±0,7	14,8±1,4 a	41,9±7,7	16,9±2,0
PA	73,2±5,9 b	13,1±2,1 a	13,6±3,8 a	19,1±0,6	19,4±2,0	2,2±0,1	8,9±0,9 b	33,4±3,5	17,2±1,9
SU	73,2±16,3 b	12,7±11,4 a	12,1±6,2	20,7±2,9 a	36,4±13,7 a	3,1±1,3	13,2±1,3	62,7±23,7 a	21,8±4,3 a

Analisi DGGE della comunità microbica. L'estrazione dell'rRNA e la retrotrascrizione sono state effettuate come precedentemente descritto da Pastorelli *et al.* (2009). La regione V6-V8 del 16S rRNA è stata amplificata con i primer 986f e Uni1401r (Felske e Akkermans, 1998); i geni per il 16S rRNA dei metanotrofi di I e II tipo e i geni funzionali *nirK*, *nirS*, *qnorB* e *nosZ* per i batteri denitrificanti sono stati amplificati come descritto da Landi *et al.* (2011) e Pastorelli *et al.* (2011). Le analisi DGGE sono state eseguite come precedentemente descritto (Pastorelli *et al.*, 2009 e 2011; Landi *et al.* 2011).

Analisi statistica. I profili DGGE sono stati analizzati con Gel Compar II Software v 4.6 (Applied Maths). Le differenze statistiche della richness (numero di bande) e dell'indice di Shannon-Weiner sono state statisticamente validate con il test ANOVA a 2 vie e le medie comparate con il test di Duncan ($P < 0,05$). La similarità genetica delle comunità batteriche dei differenti suoli è stata determinata utilizzando il coefficiente Dice e l'algoritmo UPGMA. L'analisi canonica delle corrispondenze (CCA) è stata eseguita con il programma PAST (<http://folk.uio.no/ohammer/past>). I valori di richness e l'indice di Shannon-Weiner sono stati trattati come variabili delle comunità batteriche e comparate con le variabili ambientali (temperatura; parametri fisico-chimici del suolo: tessitura, pH, capacità di campo, carbonio organico, capacità di scambio cationico). Le relazioni significative sono state validate dal test di permutazione sia per la prima che per la seconda asse.

Risultati

Analisi della comunità batterica. In primavera è stato rilevato il maggior numero di specie batteriche attive: le differenze nel numero di bande e nell'indice di Shannon-Weiner tra le due stagioni campionate sono state altamente significative. In riferimento ai diversi sistemi gestionali la foresta di sughera ha presentato i valori più bassi sia di richness che di diversità, mentre il vigneto inerbito e il pascolo hanno mostrato i valori più alti (Figura 1A). In entrambe le stagioni l'analisi UPGMA dei profili elettroforetici ha evidenziato dei cluster separati in base al tipo di gestione del suolo, con l'eccezione del pascolo e dell'erbaio che hanno formato un unico cluster. In primavera nelle conduzioni più intensive la variabilità tra le specie è risultata minore mentre in autunno le differenze tra le varie gestioni sono state meno marcate pur rimanendo ben definita la clusterizzazione (Figura 1B).

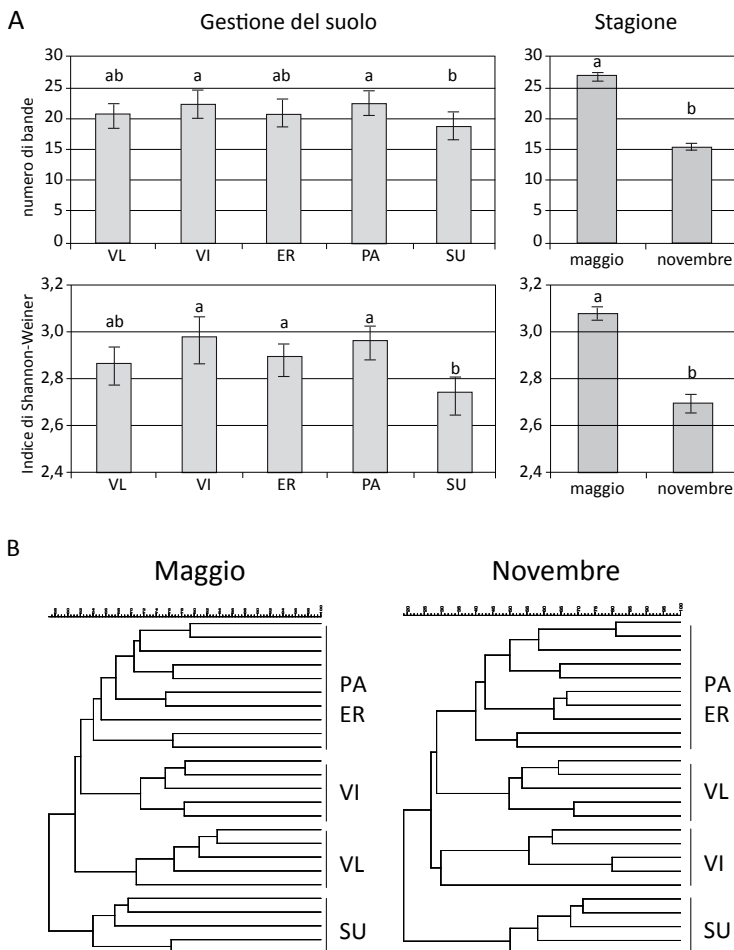


Figura 1 – Analisi dei profili DGGE dell'rRNA 16S. A: istogrammi rappresentativi dei valori di richness e diversità in funzione del tipo di gestione del suolo e della stagione. Lettere diverse indicano differenze statisticamente significative per $P < 0,05$. B: dendrogrammi UPGMA.

Analisi della comunità denitrificante. Significative differenze stagionali sono state rilevate nell'espressione dei geni *nirK*, *nirS* e *qnorB*. I valori primaverili di richness e diversità sono stati nettamente superiori a quelli registrati nel periodo autunnale. Al contrario in *nosZ* la comunità attiva non ha evidenziato differenze significative tra le due stagioni (Pastorelli *et al.*, 2011). Riguardo ai sistemi gestionali solo per il gene *nirK* sono state rilevate differenze significative: le conduzioni più naturali quali il pascolo e la foresta di sughera hanno presentato i valori superiori sia per richness che per diversità. L'analisi UPGMA dei profili elettroforetici non ha evidenziato suddivisione in cluster in base al sistema gestionale fatta eccezione per la foresta di sughera che ha formato un cluster separato in primavera ma solo nel caso del gene *nirK* (Pastorelli *et al.*, 2011).

Analisi della comunità metanotrofa. L'rRNA 16S dei metanotrofi di I e II tipo è risultato poco presente in questi suoli: il numero di bande per profilo per ambedue i geni è compreso tra 0 e 3 per i due vigneti e l'erbaio e tra 0 e 5 per pascolo e foresta di sughera. Non sono state registrate differenze significative né tra le due stagioni esaminate né tra i cinque tipi di gestione. L'analisi UPGMA ha mostrato una clusterizzazione, sia in base alla stagione che in base al sistema gestionale. Nella comunità metanotrofa di II tipo si sono formati due cluster (Figura 2), costituiti dai tipi di gestione più naturali del mese di maggio (ER, PA, SU), e dai rimanenti campioni di novembre ed il vigneto inerbito di maggio.

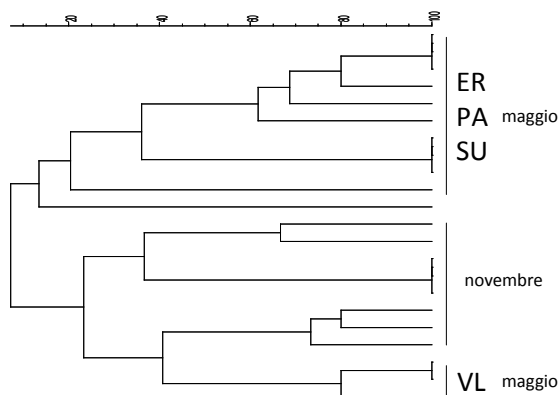


Figura 2 – Dendrogramma UPGMA dei profili DGGE del rRNA 16S dei metanotrofi di II tipo.

Analisi canonica delle corrispondenze. L'asse 1 ha espresso il 50,95% della variabilità complessiva ed è risultata significativa per $P=0,001$ (Figura 3). La temperatura (-0,91), il C organico (+0,20) e N totale (+0,18) si sono dimostrati i fattori dominanti. L'asse 2 ha espresso un rimanente 26,57% di variabilità e una significatività per $P=0,001$. I fattori dominanti sono stati la capacità di scambio cationico (+0,70), N totale (+0,70), C organico (+0,66) e capacità di campo (+0,68). La biodiversità (indice di Shannon-Weiner) delle specie batteriche attive che esprimevano i geni *nirK*, *nirS*, *qnorB* e dei ceppi metanotrofi sia di tipo I che di tipo II sono risultati influenzati dalla temperatura e dal C organico. L'abbondanza dei ceppi batterici attivi (espressa come richness dei profili DGGE del 16S rRNA) è risultata influenzata dalla temperatura.

BIBLIOGRAFIA

- Felske, A., Akkermans, A.D.L., *Spatial homogeneity of abundant bacterial 16S rRNA molecules in grassland soils*, Microbial Ecol., 36, 1998, pp. 31-36.
- Landi, S., Piccolo, R., Simoncini, S., Pastorelli, R., *Molecular characterization of the microbial community involved in the carbon cycle in different areas and type of soil management*, EQA Environmental quality/Qualité de l'Environnement/Qualità ambientale, 7, 2011, pp. 17-26.
- Pastorelli, R., Piccolo, R., Landi, S., *Changes in active microbial soil communities in agricultural managements: from anthropic to natural*, Agrochimica, 53, 2009, pp. 386-397.
- Pastorelli, R., Landi, S., Trabelsi, D., Piccolo, R., Mengoni, A., Bazzicalupo, M., Pagliai, M., *Effects of soil management on structure and activity of denitrifying bacterial communities*, Appl. Soil Ecol., 49, 2011, pp. 46-58.
- Primé, A., Bracker, G., Tiedje, J.M., *Diversity of nitrite reductase (nirK and nirS) gene fragments in forested upland and wetland soils*, Appl. Environ. Microbiol., 68, 2002, pp. 1893-1900.
- Powlson, D.S., Hirsch, P.R., Brookes, P.C., *The role of soil microorganisms in soil organic matter conservation in the tropics*, Nutr. Cycl. Agroecosys., 61, 2011, pp. 41-51.
- Terahara, T., Ikeda, S., Noritake, C., Minamisawa, K., Ando, K., Tsuneda, S., Harayama, S., *Molecular diversity of bacterial chitinases in arable soils and the affects of environmental factors on the chitinolytic bacterial community*, Soil Biol. Biochem., 41, 2009, pp. 473-480.
- Throbäck I.N., Enwall K., Jarvis Å., Hallin S., *Reassessing PCR primers targeting nirS, nirK and nosZ genes for community surveys of denitrifying bacteria with DGGE*, FEMS Microbiol. Ecol., 49, 2004, pp. 401-417.
- Zhou J., Xia B., Treves D.S., Wu L.Y., Marsh T.L., O'Niell R.V., Palombo A.V., Tiedje J.M., *Spatial and resource factors influencing high microbial diversità in soil*, Appl. Environ. Microbiol., 68, 2002, pp. 326-334.

Confronto tra gestione biologica e convenzionale nella *Vitis vinifera*: effetto sulla fertilità biologica e sulla biodiversità microbica in siti della Regione Lazio

G. Renzi, L. Canfora, A. Benedetti

Consiglio per la Ricerca e la sperimentazione in Agricoltura, Centro di Ricerca per lo Studio delle Relazioni tra Pianta e Suolo, Via della Navicella 2/4 - 00184 Roma.

Riassunto

L'agricoltura convenzionale ricorre all'impiego di fattori esterni per esaltare la produttività dei terreni. Attualmente è ancora il tipo di agricoltura più praticato. L'agricoltura biologica mira ad ottenere prodotti di qualità utilizzando tecniche di agricoltura eco-compatibili. La gestione convenzionale prevede lo sfruttamento delle risorse naturali disponibili comprese quelle non rinnovabili, mentre il terreno è una risorsa non rinnovabile e come tale va gestito. La fertilità dei suoli in agricoltura biologica e, in particolare, la biodiversità microbica, è uno degli elementi chiave su cui basare la gestione del suolo agrario.

In questa tesi sono stati presi in considerazione 4 siti coltivati a vigneto, di cui 3 gestiti con agricoltura convenzionale e 1 in biologico. In particolare questi siti sono stati scelti nell'ambito di un ampio progetto di monitoraggio della Regione Lazio (Biorela), al fine di studiare l'impatto sulla fertilità biologica e sulla biodiversità microbica rispettivamente della gestione biologica e di quella convenzionale.

Parole chiave: *suolo, microrganismi, biodiversità microbica, indicatori, IBF.*

Introduzione

L'agricoltura convenzionale ricorre all'inserimento di fattori esterni per esaltare la produzione e sfruttare ogni estensione di terreno. Attualmente è ancora il tipo di agricoltura più praticato. L'agricoltura biologica vuole ottenere prodotti di qualità utilizzando tecniche di agricoltura sostenibile. La gestione convenzionale prevede lo sfruttamento delle risorse naturali disponibili anche le non rinnovabili. Si spinge verso varietà molto produttive, per ottimizzare e migliorarne la redditività. È indispensabile il ricorso all'uso, anche massiccio, di mezzi tecnici quali fertilizzanti, fitofarmaci e lavorazioni dei suoli. La conduzione biologica si basa su sistemi e tecniche maggiormente conservative dell'ambiente naturale. Il terreno è una risorsa non rinnovabile e come tale va gestito. La fertilità biologica dei suoli è uno degli elementi chiave su cui basare la gestione del suolo agrario in agricoltura biologica. In particolare la biodiversità microbica dei suoli è importante per lo studio e per la gestione dei sistemi agrari in cui la pratica culturale e il tipo di conduzione biologica o convenzionale impattano sulla qualità delle produzioni ma anche sulla sostenibilità dell'ambiente di produzione. Gli indicatori di biodiversità possono essere considerati indice essenziale non solo per il monitoraggio della perdita di biodiversità, ma anche come strumento impiegabile in campi decisionali per i sistemi agricoli quali, per esempio, la messa a punto di disciplinari

di produzione in recepimento alle direttive europee. Infatti i microrganismi possono essere utilizzati come indicatori della qualità del suolo perché svolgono delle funzioni chiave nella degradazione e nel ricircolo sia della sostanza organica che dei nutrienti e rispondono prontamente ai cambiamenti dell'ambiente. Inoltre l'attività microbica nel suolo rispecchia la somma di tutti i fattori che regolano la degradazione e la trasformazione dei nutrienti. È comunque estremamente difficile utilizzare i valori forniti dai parametri microbiologici poiché i microrganismi del suolo reagiscono molto rapidamente anche a variazioni stagionali e si adattano alle diverse necessità ambientali. Pertanto, è stato proposto (Benedetti e Pompili, 2006) l'uso di un indice sintetico di fertilità biologica (IBF) che permette una valutazione comparativa di siti diversi sulla base di parametri di attività e contenuto della biomassa microbica del suolo, determinati in condizioni standardizzate di laboratorio. In particolare vengono considerati i seguenti parametri chiave: sostanza organica totale, carica microbica (C della biomassa) e relativa attività respirometrica (determinazione della CO_2 emessa), considerati indicatori di qualità e fertilità del suolo. Combinando questi dati è possibile ottenere i quozienti di mineralizzazione, metabolico e microbico (rispettivamente q_M , q_{CO_2} e q_{Mic}) utili ai fini del calcolo dell'indice sintetico IBF, rappresentativo su larga scala dello stato di salute di un suolo. Queste prime analisi rappresentano il primo livello di conoscenza della fertilità biologica che, naturalmente, tiene conto anche della caratterizzazione di base del suolo in termini fisici, chimici e biologici. Il secondo livello permette di evidenziare o meglio conoscere in maniera più approfondita quelle che sono le caratteristiche delle comunità microbiche.

Le analisi di tipo molecolare, T-RFLP (Terminal – Restriction fragment length polymorphism) consentono di analizzare la biodiversità microbica discriminando la popolazione tra funghi, batteri e archea (Moeseneder *et al.*, 1999; Osborn *et al.*, 2000; Richardson *et al.*, 2002; Sakano *et al.*, 2002). Le informazioni ottenute ci consentono di quantificare la comunità microbica e di discriminare le differenti entità microbiche presenti, individuando anche eventuali polimorfismi e quindi possibili marcatori molecolari utili non solo a caratterizzare più finemente la comunità microbica presente nelle differenti condizioni (convenzionale, biologico) ma anche a future applicazioni biotecnologiche.

Materiali e Metodi

Una volta trasportati in laboratorio i campioni di suolo sono stati essiccati, setacciati a 2 mm e omogeneizzati mediante quartatura e sottoposti alle seguenti determinazioni:

- C organico totale (C analyzer);
- Respirazione microbica cumulativa e basale (Isermeyer, 1952);
- C della biomassa microbica (Vance *et al.*, 1987);
- Capacità di ritenzione idrica a pF2,5.

Tutte le determinazioni sono state condotte secondo i metodi ufficiali di analisi del suolo (Supplemento Ordinario G.U. n. 61 del 13.03.2004).

Per le analisi molecolari, è stata effettuata una estrazione del DNA con il kit MoBIO Power soil DNA Extraction kit®; successivamente il DNA è stato dosato ed amplificato con i pri-

mer per il 16S P0/P6 (Barberio *et al.*, Res. Microbiol., 152, 2001, pp. 105-112). Il DNA così amplificato è stato purificato e digerito con gli enzimi di restrizione *TaqI* e *AluI*; il DNA digerito è stato infine analizzato al sequenziatore ABI 3500 al fine di ottenere il profilo dei differenti frammenti di restrizione corrispondenti alle singole unità tassonomiche presenti nel pool di DNA estratto.

Risultati

I risultati delle analisi di tipo biochimico, in relazione con le analisi chimico-fisiche, hanno permesso di evidenziare delle differenze nei 4 siti, s14, s15, s59, s66. I siti s14, s15 e s59 sono seguiti con una gestione di tipo biologica, mentre il sito s66 è condotto con un sistema di tipo convenzionale. Il dato interessante è offerto dall'indice di fertilità biologica (IBF), il quale denuncia uno stato di pre-allarme nel caso del sito s59, e un livello di fertilità media nei 3 siti s14, s15, s66.

Le applicazioni delle tecniche di biologia molecolare al campo della microbiologia, sono in grado di dare informazioni sulla struttura di popolazione, al contrario delle tradizionali tecniche limitate dalla pleora di microrganismi non coltivabili.

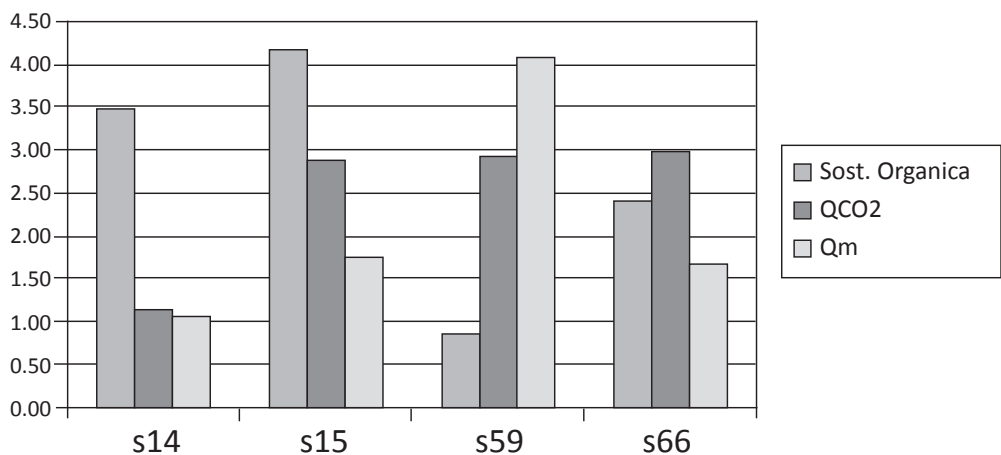
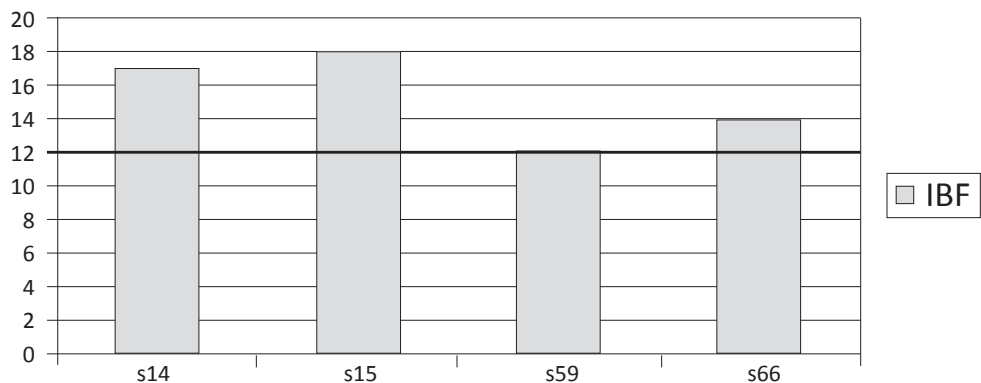
In questo studio abbiamo utilizzato una tecnica clonaggio-indipendente, T-RFLP (Terminal – Restriction fragment lenght polymorfism) che combina la tradizionale reazione di PCR ad una digestione enzimatica che consente di separare successivamente, attraverso elettroforesi capillare, dal DNA microbico totale le diverse OTU, *operational taxonomic unit*. Oltre allo studio del gene specifico per i batteri 16S rRNA, sono stati screenati anche archaea ed eubatteri amplificando con geni specifici il DNA totale estratto dai suoli presi in esame, al fine di analizzare biodiversità microbica, quantificare la comunità microbica e quindi discriminare le differenti entità microbiche presenti nei 4 siti scelti, in particolare la diversità microbica presente in condizioni di trattamento convenzionale e di trattamento biologico.

Discussione

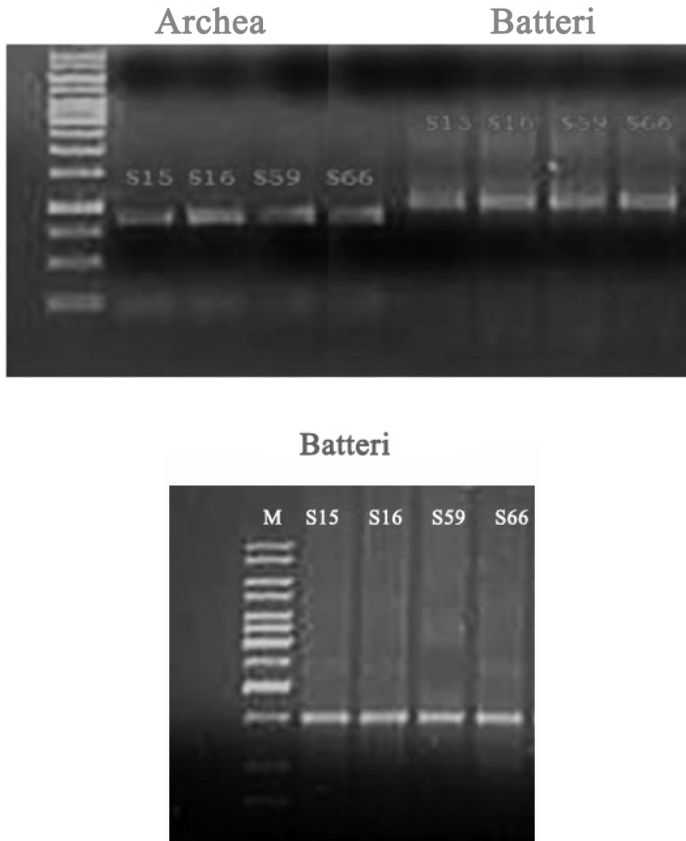
Queste analisi rappresentano il primo livello di conoscenza della fertilità biologica che, naturalmente, tiene conto anche della caratterizzazione di base del suolo in termini fisici, chimici e biologici. Da tali dati è stato possibile ricavare i valori del quoziente metabolico (qCO_2) e di mineralizzazione (qM) che rappresentano rispettivamente il livello dell'attività specifica di evoluzione di $C-CO_2$ in condizioni basali della biomassa microbica per unità di tempo, espresso in h^{-1} (Anderson e Domsch, 1993), e la misura dell'attività totale di mineralizzazione della frazione più labile della sostanza organica da parte della biomassa microbica (Dommergues, 1960). Il contenuto di sostanza organica è stato stimato indirettamente moltiplicando la concentrazione del carbonio organico per il coefficiente di conversione Van Bemmelen (1,724).

Località	N°Sito	Risorsa	IBF	CI_Fertilità	Descr_Fertilita
Corcolle (RM)	14	vite	17	III	media
Corcolle (RM)	15	vite	18	III	media
Aprilia (LT)	59	vite	12	II	stress preallarme
Terracina (LT)	66	vite	14	III	media

IBF



I risultati dello screening degli archea e dei batteri (sequenza parziale del gene 16S rRNA), mostrano che c'è presenza in tutti i siti analizzati sia di archea che di batteri. Questa analisi preliminare, fornisce un dato qualitativo e non dà informazioni sulla biodiversità in termini di quantità ed entità microbiche presenti; indubbiamente si evince soprattutto nel caso degli archea, una differenza tra i quattro siti. Successive analisi sono in corso.



Conclusioni

Lo studio di monitoraggio eseguito nei punti campionati ha permesso di ottenere una prima valutazione circa la distribuzione spaziale della fertilità biologica dell'area di studio.

In generale si è osservato un incremento dell'attività microbica in corrispondenza dei punti con maggiore contenuto in sostanza organica. Il sito S59 mostra un livello di sostanza organica al di sotto dei livelli normali, considerando che per un suolo agrario solitamente si stima una tenore variabile del 2-5%, questo valore accompagnato da un quoziente di mineralizzazione e metabolico elevati portano ad ottenere un IBF pari a 12 che denuncia uno stato di *stress pre-allarme*.

BIBLIOGRAFIA

- Benedetti, A., Dell'Abate, M.T., Mocali, S., Pompili, L., *Indicatori microbiologici e biochimici della qualità del suolo*, in *ATLAS – Atlante di Indicatori della Qualità del Suolo*, Ministero delle Politiche Agricole Alimentari e Forestali, Osservatorio Nazionale Pedologico, Edizioni Delta Grafica, Città di Castello (Pg), cap. 5, 2006, pp. 65-81.
- Isermeyer, H., *Eine einfache Methode zur bestimmung der Bodenatmung und der Karbonate im Boden*. Z., Pflanzenernäh Bodenkd., 56, 1952, pp. 26-38.
- Moeseneder, M.M., Arrieta, J.M., Muyzer, G., Winter, C., Herndl, G.J., *Optimization of terminal-restriction fragment length polymorphism analysis for complex marine bacterio-plankton communities and comparison with denaturing gradient gel electrophoresis*, Appl. Environ. Microbiol., 65, 1999, pp. 3518-3525.
- Osborn, A.M., Moore, E.R., Timmis, K.N., *An evaluation of terminal-restriction fragment length polymorphism (T-RFLP) analysis for the study of microbial community structure and dynamics*, Environ. Microbiol. 2, 2000, pp. 39-50.
- Richardson, R.E., Bhupathiraju, V.K., Song, D.L., Goulet, T.A., Alvarez-Cohen, L., *Phylogenetic characterization of microbial communities that reductively dechlorinate TCE based upon a combination of molecular techniques*, Environ. Sci. Technol., 36, 2002, pp. 2652-2662.
- Sakano, Y., Pickering, K.D., Strom, P.F., Kerkhof, L.J., *Spatial distribution of total, ammonia-oxidizing, and denitrifying bacteria in biological waste water treatment reactors for bioregenerative life support*, Appl. Environ. Microbiol. 68, 2002, pp. 2285-2293.
- Vance, E.D., Brookes, P.C., Jenkinson, D.S., *An extraction method for measuring soil microbial biomass C*, Soil Biol. Biochem., 19, 1987, pp. 703-707.

Fertilità nutrizionale e microbica lungo il profilo del suolo: effetti sulla qualità tecnologica della barbabietola da zucchero

P. Stevanato¹, M. Colombo², M. Salmaso¹, C. Broccanello¹, F. Stellin¹, A. Squartini¹, P. Piffanelli³, M. Saccomani¹, G. Concheri¹

¹ Università degli Studi di Padova, Dipartimento di Biotecnologie Agrarie, viale Università 16, 35020 Legnaro (PD), Italy.

² Consiglio per la Ricerca e la sperimentazione in Agricoltura, Centro di Ricerca per le Colture Industriali, Sede distaccata di Rovigo, Viale Amendola 82, 45100 Rovigo

³ Parco tecnologico Padano, via Einstein – Loc. Cascina Codazza, 26900 Lodi, Italy.

Parole chiave: barbabietola da zucchero, azoto, ARISA, Real Time PCR.

Introduzione

Nelle barbabietole da zucchero (*Beta vulgaris* L. ssp. *vulgaris*) coltivate in climi caldi si riscontra frequentemente, nel corso della raccolta, una diminuzione del grado polarimetrico e della qualità estrattiva. Dato il notevole danno economico che ne deriva, si è voluto approfondire la conoscenza degli effetti, sul valore tecnologico della barbabietola, della fertilità nutrizionale e microbica presente in tutto il profilo di suolo esplorato dalle radici. A tal fine, la disponibilità dei principali macronutrienti, la diversità microbica e la presenza quantitativa di geni coinvolti in funzioni chiave del ciclo dell'azoto sono state relazionate con parametri produttivi e tecnologici della barbabietola.

Materiali e metodi

Su campioni di suolo raccolti in due siti sperimentali a Ceneselli (Rovigo), per strati da 0,50 m fino a 3 m, sono state determinate le principali caratteristiche fisico-chimiche del suolo avvalendosi anche di metodologie di analisi multielemento (analisi elementare CNS e spettrometria a emissione ICP). Analisi molecolari ARISA (Amplified ribosomal intergenic spacer analysis) e Real Time PCR sono state effettuate sul DNA genomico estratto dai campioni di suolo rispettivamente per la stima della diversità microbica e della presenza quantitativa di geni per ammonio monossigenasi (*amoA* batterici e *amoA* Archea) e nitrito riduttasi (*nirK*). Per valutare direttamente lo sviluppo radicale lungo il profilo del suolo, sono state effettuate osservazioni in tubi minirhizotron mediante l'impiego di una sonda a fibre ottiche. La determinazione dei dati produttivi e tecnologici sulle radici è stata eseguita presso il laboratorio del CRA-CIN di Rovigo.

Risultati e discussione

Tra i 2 e i 3 m, sono stati rinvenuti frequentemente contenuti di sostanza organica fino al 10% e di azoto minerale di oltre 100 mg kg⁻¹. Prima della raccolta, si è inoltre osservato la presenza di radici alla profondità di 3 metri in entrambi i siti sperimentali. Le barbabietole

raccolte nel sito con il maggiore accumulo di azoto minerale fra 2,5 e 3 metri hanno evidenziato un inferiore grado polarimetrico e coefficiente di purezza in accordo con quanto precedentemente osservato (Stevanato *et al.* 2010, *Agronomy Journal* 102:17-22). Negli strati del suolo prelevati alle profondità maggiori (0,50 – 3 metri) si è riscontrato, rispetto a quello più superficiale, una maggiore omogeneità nella composizione delle comunità microbiche ma accompagnata da un maggiore numero di specie batteriche rilevabili tramite la tecnica ARISA. La presenza di geni *amoA* e *nirK* è stata rinvenuta lungo tutti gli strati di suolo fino alla profondità di 3 metri. Ciò evidenzia il contributo anche degli strati profondi del suolo a processi chiave del ciclo dell'azoto. Per evitare dannose riduzioni qualitative, si conferma l'utilità del campionamento dei suoli fino alla profondità raggiunta dalle radici e la necessità di determinare le più importanti forme di azoto. Per lo stesso scopo, dovrebbe essere evitata o adeguatamente considerata la presenza di strati organici nel profilo esplorato dalle radici.

Relazioni tra biodiversità batterica, caratteristiche pedologiche e gravità dell'attacco di *Rosellinia Necatrix* in un meieto a conduzione biologica*

N. Vignozzi¹, M. Castaldini^{1,2}, A. Fabiani¹, S. Priori¹, S. Simoncini¹, A. Agnelli¹, R. Piccolo¹

¹ Consiglio per la Ricerca e la sperimentazione in Agricoltura, Centro di Ricerca per l'Agrobiologia e la Pedologia.

² CNR IPP – Istituto per la Protezione delle Piante

Parole chiave: proprietà chimico fisiche del suolo; biodiversità batterica del suolo; *Rosellinia necatrix*; melo.

Introduzione

Rosellinia necatrix rappresenta attualmente sia in ambienti a clima temperato che tropicale una minaccia per molte specie soprattutto per molti alberi da frutto. In vivaio è possibile ostacolarne la diffusione o prevenirne gli attacchi utilizzando materiale di propagazione sano e utilizzando suolo non infestato; in pieno campo l'eliminazione del patogeno è molto difficile e costosa, quindi le strategie di controllo devono essere indirizzate a limitare il danno (Schena *et al.*, 2008). Studi condotti nell'ultimo decennio (Gonzalez-Sanchez *et al.*, 2004; Cazorla *et al.*, 2006) hanno dimostrato che alcune specie batteriche isolate nel suolo e nella rizosfera svolgono una forte azione antagonista nei confronti di *R. necatrix*. Scopo del presente lavoro è quello di valutare in un meieto colpito dal fungo a diversi gradi di infezione le relazioni fra gravità dell'attacco, biodiversità e funzionalità batterica e caratteristiche chimico fisiche del suolo.

Materiali e metodi

Il meieto situato nel comune di Montepulciano (SI) è a conduzione biologica. Sulla base delle indicazioni del frutticoltore e di controlli con test specifici per valutare la presenza del fungo è stato possibile individuare tre aree (A, B, e C) in cui nonostante la costante presenza del fungo nel suolo, le piante risultavano diversamente colpite da *Rosellinia*.

Gli attacchi di *Rosellinia* si sono verificati inizialmente nella zona A dove attualmente non vi sono meli; in questa zona sono stati infatti espianati tutti gli alberi malati e anche qualche pianta sana al fine di effettuare una sorta di isolamento del terreno infetto (quarantena). Nella zona B solo alcune piante sono state attaccate dal fungo, i meli malati sono stati tolti o drasticamente potati. Nella zona C non sono state rilevate piante infette.

Il suolo classificato come Calcaric Cambisol (WRB, 2006) è stato oggetto in passato di operazioni di livellamento che oltre a rimodellarne la superficie hanno modificato anche la sua organizzazione interna. La variabilità del suolo è stata confermata dalla mappa della conducibilità elettrica apparente (E_{Ca}) ottenuta tramite un sensore ad induzione elettromagnetica (Geonics EM38-MK2) (Figura 1.)

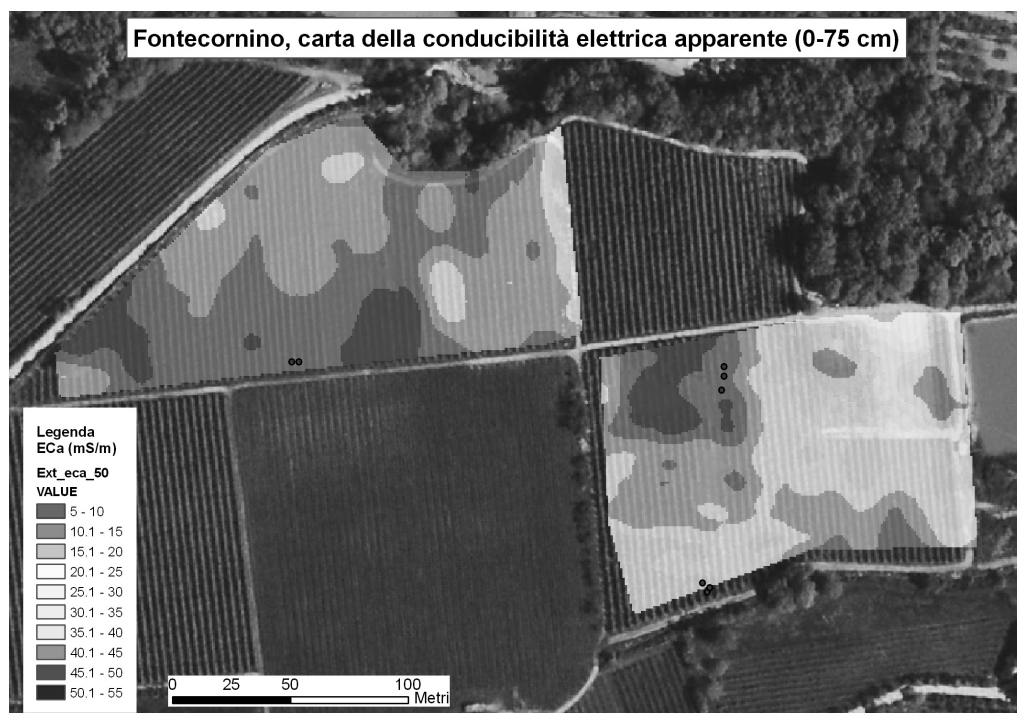


Figura 1 – Carta della conducibilità elettrica apparente.

Nelle tre aree indicate sono stati prelevati campioni di suolo disturbato e indisturbato alla profondità di 0-20 e 20-40 cm. Sui campioni di suolo sono state eseguite le seguenti analisi: tessitura, pH, conducibilità elettrica, CaCO_3 totale, carbonio organico (TOC), massa volumica apparente (BD), ritenzione idrica alla capacità di campo (-10 kPa) e al punto di appassimento (-1500 kPa) da cui è stata calcolata la quantità di acqua disponibile (AWC) seguendo le metodologie ufficiali pubblicate dal MiPAF (1997 e 2000), e la macroporosità attraverso il metodo micromorfometrico (Pagliai *et al.*, 2004). Un campionamento ad hoc è stato eseguito nei medesimi punti e alle stesse profondità anche per le analisi biologiche. Queste ultime sono state condotte per valutare la biodiversità e la funzionalità batterica con l'analisi DGGE (Denaturing Gradient Gel Electrophoresis) condotta sul gene ribosomiale 16S sia sul DNA che sull'RNA retro trascritto (Castaldini, 2010), valutando successivamente gli indici di biodiversità a partire dai pattern elettroforetici (Fabiani *et al.*, 2009).

Risultati e discussione

Le analisi chimico fisiche hanno mostrato differenze significative per molti dei parametri analizzati soprattutto fra la zona A e la zona C (Tabelle 1 e 2). Talvolta a queste differenze non corrisponde una significativa diversità funzionale, come nel caso dei valori del pH. Al contrario, alle differenze riscontrate nella distribuzione dimensionale delle particelle

elementari corrispondono differenti classi tessiturali dei suoli (i suoli delle zone B e C hanno tessitura medio-fine (franco-argillosa), mentre il suolo A presenta tessitura media (franco)).

Tabella 1 – Analisi granulometriche; dati identificati da lettera uguale non sono significativamente differenti ($P < 0,05$) secondo il test di Duncan.

Sito	Prof. (cm)	Argilla (g/kg)	Limo (g/kg)	Sabbia (g/kg)
C	0-20	386 a	393 a	221 d
C	20-40	392 a	390 a	218 d
A	0-20	237 c	363 bc	400 a
A	20-40	248 c	349 cd	403 a
B	0-20	332 b	370 b	298 c
B	20-40	306 b	337 d	357 b

Tabella 2 – Caratteristiche chimiche e fisiche analizzate; dati identificati da lettera uguale non sono significativamente differenti ($P < 0,05$) secondo il test di Duncan.

Sito	Prof. (cm)	pH	Cond. Elettrica dS m^{-1}	CaCO_3 %	C org %	Massa volumica apparente kg dm^{-3}	-10 kPa % v/v	-1500 kPa % v/v
C	0-20	8,1 a	0,34 b	18,44 d	2,61 a	1,35 b	41,6 a	16,4 b
C	20-40	8,1 a	0,30 c	22,06 d	1,38 c	1,52 a	36,1 ab	21,7 a
A	0-20	7,9 b	0,28 c	54,50 a	1,98 b	1,01 d	35,6 ab	9,5 d
A	20-40	8,0 ab	0,23 c	57,11 a	1,22 c	1,16 cd	27,1 c	9,9 d
B	0-20	8,0 ab	0,62 a	30,17 c	2,60 a	1,12 cd	36,9 ab	11,7 cd
B	20-40	8,0 ab	0,24 c	43,72 b	1,09 c	1,24 bc	29,8 bc	15,3 bc

L'analisi micromorfometrica ha consentito di determinare la macroporosità dei suoli (Pori $> 50 \mu\text{m}$); in generale non si rilevano differenze statistiche, nell'ambito della stessa profondità di indagine, fra le diverse zone (Figura 2). Al contrario, fra lo strato 0-20 e quello 20-40 cm della zona A si riscontrano differenze significative. La brusca diminuzione di porosità è una testimonianza degli effetti del livellamento avvenuto in epoca passata.

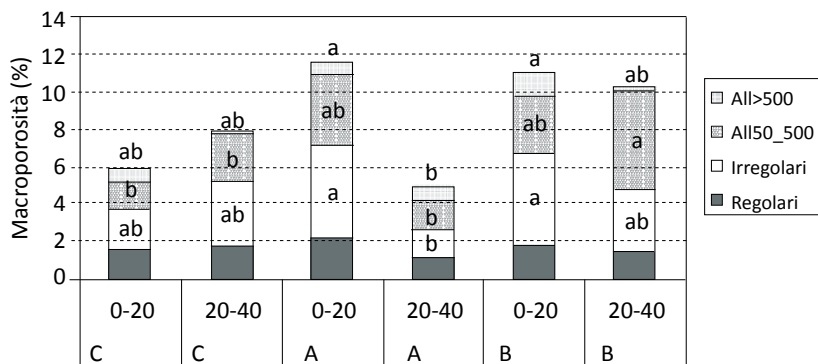


Figura 2 – Istogramma rappresentante la macroporosità totale distinta per classi morfologiche e, per i pori allungati, per classi dimensionali ($50\text{-}500 \mu\text{m}$ e $> 500 \mu\text{m}$).

I risultati delle analisi biologiche, condotte con indagine molecolare DGGE (Denaturing Gradient Gel Electrophoresis) sugli acidi nucleici estratti dal suolo, sembrano indicare comportamenti diversi nei due strati campionati. Nello strato 0-20 (Figura 3A) la presenza delle piante seleziona la microflora presente (DNA) raggruppando in un cluster separato i pattern relativi al sito in cui è stato realizzato l'espianto; l'infezione in atto invece concorre alla selezione della microflora attiva (RNA), raggruppando separatamente campioni di controllo (Figura 3B).

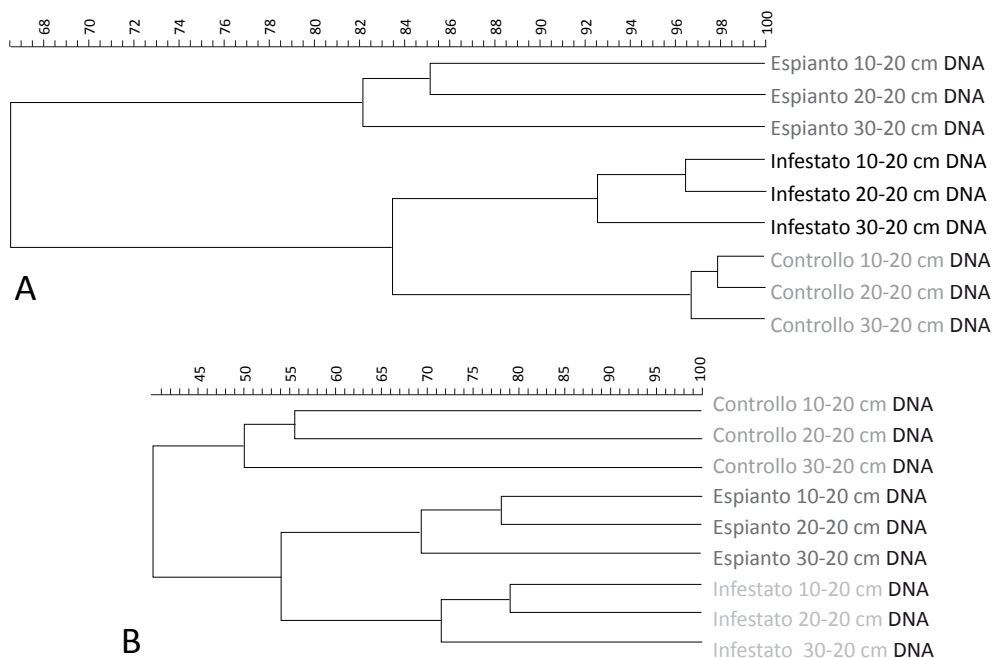


Figura 3 – Cluster derivanti dai pattern elettroforetici dell'Analisi DGGE condotta sul 16S rDNA (A) e sul 16S rRNA retro trascritto (B) estratti dai campioni di suolo dello strato 0-20 cm.

Nello strato 20-40 le differenze tra le parcelle si attenuano e l'analisi dei cluster separa i campioni di controllo a livello di DNA e quelli del sito espantato a livello di RNA (dati non mostrati).

L'analisi ANOVA a due vie effettuata sugli indici di biodiversità ottenuti dalla intensità delle bande dell'analisi DGGE considerando sia la profondità del campionamento che il diverso grado di infestazione ha evidenziato una differenza significativa dei campioni in relazione ai due fattori e alla loro interazione per quanto riguarda la microflora presente (DNA), mentre a livello di microflora attiva (RNA) le differenze sono significative solo per quanto riguarda il diverso grado di infestazione e l'interazione di questo fattore con la profondità del campionamento. In figura 4 riportiamo su grafico i dati relativi all'indice di Shannon con le classi di significatività ($p < 0.05$).

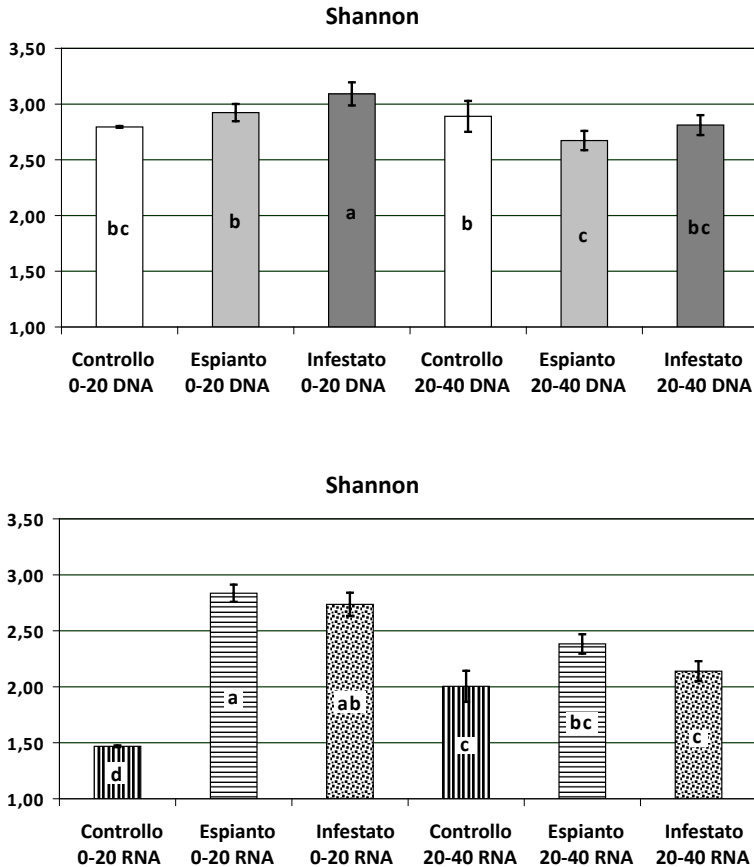


Figura 4 – Valori dell'indice di Shannon ricavati dalle intensità delle bande e i pattern elettroforetici dell'Analisi DGGE condotta sul 16S rDNA e sul 16S rRNA retro trascritto.

L'analisi multivariata dei dati nel loro complesso mette in evidenza una stretta correlazione tra gli indici di biodiversità (Richness, Shannon e Simpson) e le caratteristiche chimico-fisiche del suolo.

Con l'analisi delle componenti principali (PCA), infatti, sono state individuate 2 nuove componenti che complessivamente rappresentano quasi il 70% della varianza totale, ciascuna di esse descrive il legame esistente fra determinate proprietà fisico chimiche e rispettivamente microflora attiva (Componente 1) e microflora presente (Componente 2) (Tabella 3; Figura 5).

La “microflora attiva” (RNA), come varietà di specie (Indice di Shannon e numero di bande presenti nel DGGE), si correla positivamente con sabbia e CaCO_3 , mentre come dominanza delle specie attive (Indice di Simpson) risulta direttamente correlata con argilla, limo, massa volumica apparente (BD) e con la ritenzione idrica (FC e WP). La “microflora presente” (DNA), come varietà di specie, è influenzata positivamente dalla percentuale di sostanza organica presente, dalla conducibilità elettrica e dalla porosità totale, mentre come dominanza delle specie presenti si correla con la profondità.

Tabella 3 – Pesì fattoriali delle singole variabili in ciascuna componente.

	Fattore 1	Fattore 2
DEPTH	0,06	0,74
CLAY	-0,92	-0,12
SILT	-0,68	-0,36
SAND	0,94	0,20
C_org	-0,30	-0,71
COND_ELET	-0,32	-0,71
CACO ₃	0,91	0,29
PORI_REG	-0,05	-0,56
PORI_IRREG	0,11	-0,59
PORI_ALLUN	0,53	-0,42
PORI_TOT	0,43	-0,65
BD	-0,77	0,28
FC	-0,62	-0,42
WP	-0,79	0,15
BANDE DNA	-0,22	-0,80
SHANNON DNA	-0,03	-0,85
SIMPSON DNA	-0,09	0,83
BANDE RNA	0,91	-0,26
SHANNON RNA	0,83	-0,40
SIMPSON RNA	-0,81	0,30
Var. totale (%)	37,60	28,62
Var. cumulata (%)	37,60	66,22

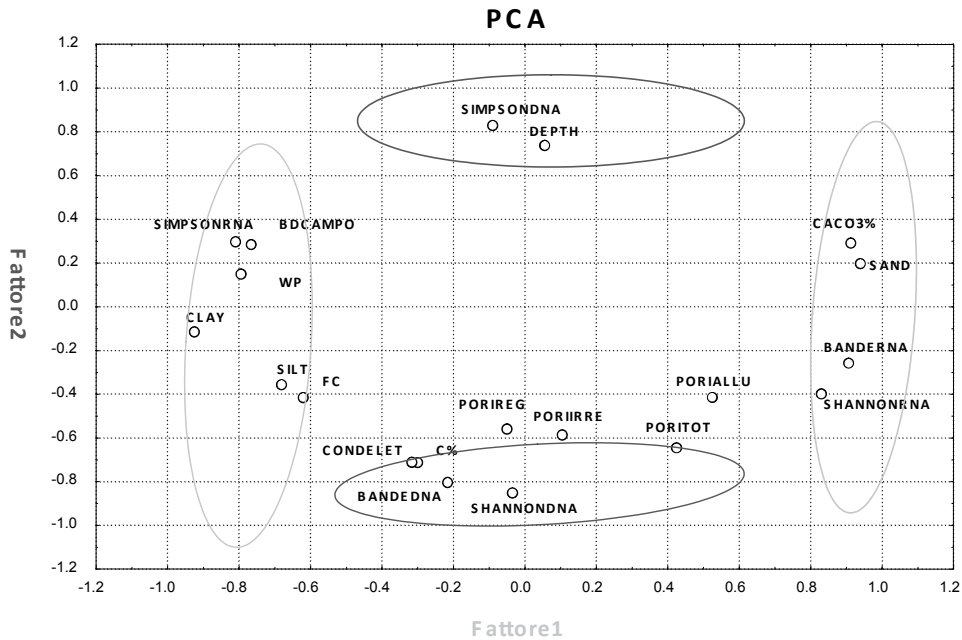


Figura 5 – Risultati della PCA: plot dei pesì fattoriali.

Conclusioni

L'approccio multidisciplinare adottato ha evidenziato l'esistenza di correlazioni tra le diverse proprietà chimico-fisiche del suolo, la biodiversità e la funzionalità batterica. Il suolo in cui Rosellinia ha provocato i maggiori danni si differenzia statisticamente dagli altri per diverse caratteristiche chimiche e fisiche ed è più eroso. Il controllo risulta avere una minore biodiversità della microflora attiva e quindi una maggiore specializzazione in tutte e due gli strati analizzati. Ulteriori indagini sulle eventuali specie batteriche antagoniste nei confronti dei patogeni presenti potranno fornire indicazioni sulle complesse interazioni tra caratteristiche chimico-fisiche del suolo, presenza della pianta, comunità batteriche e fungo patogeno.

BIBLIOGRAFIA

- Castaldini, M., *DGGE (Denaturing Gradient Gel Electrophoresis)* in S. Mocali e N. Miclaus (Coordinatori), *Metodi di analisi molecolare per lo studio dei microrganismi del suolo*, Collana di metodi analitici per l'Agricoltura, vol. 8, Cantagalli Editore, 2010, pp. 155-175.
- Fabiani, A., Gamalero, E., Castaldini, M., Cossa, G.P., Musso, C., Pagliai, M., Berta, G., *Microbiological polyphasic approach for soil health evaluation in an Italian polluted site*, Science of the Total Environment, 407, 2009, pp. 4954-4964.
- Cazorla, F.M., Duckett, S.B., Bergström, E.T., Noreen, S., Odijk, R., Lugtenberg, B.J.J., Thomas-Oates, J.E., Bloemberg, G.V., *Biocontrol of avocado dematophora root rot by antagonistic Pseudomonas fluorescens PCL1606 correlates with the production of 2-hexyl 5-propyl resorcinol*, Molecular Plant-Microbe Interactions, 19, 2006, pp. 418-428.
- González-Sánchez, M.A., Cazorla, F.M., Ramos, C., de Vicente, A., Pérez-Jiménez, R.M., *Studies of soil and rhizosphere bacteria to improve biocontrol of avocado white root rot caused by Rosellinia necatrix. Management of plant diseases and arthropod pests by BCAs and their integration in agricultural systems*, IOBC/WPRS Bulletin 27, 2004, pp. 169-172.
- MiPAF, *Metodi di analisi fisica del suolo*, FrancoAngeli, Roma, 1997.
- MiPAF, *Metodi di analisi chimica del suolo*, FrancoAngeli, Roma, 2000.
- Pagliai, M., Vignozzi, N., Pellegrini, S., *Soil structure and the effect of management practices*, Soil Till. Res., 79, 2004, pp. 131-143.
- Schena, L., Nigro, F., Ippolito, A., *Integrated management of Rosellinia necatrix root rot on fruit tree crops*, in A. Ciancio & K. G. Mukerji (eds.), *Integrated Management of Diseases Caused by Fungi, Phytoplasma and Bacteria*, 2008, pp. 137-158.
- WRB, World Soil Resources, *Report 103*, IUSS, ISRIC, FAO, Roma, 2006.

Stampato da
Tecnostampa Snc – Marsicovetere (PZ)