

Macrotema 3: Il monitoraggio della salute del suolo: supporto ai sistemi informativi armonizzati

Il monitoraggio della salute del suolo: definizione di indicatori per la valutazione degli effetti di diversi management su biodiversità, ecosystem services e soil threats.

I progetti EJPSOIL MINOTAUR, SERENA e ARTEMIS

4 Dicembre 2024 - Roma
Stefano Mocali, CREA –AA Firenze



EJP SOIL
European Joint Programme

EJP SOIL has received
funding from the European
Union's Horizon 2020
research and innovation
programme: Grant
agreement No 862695

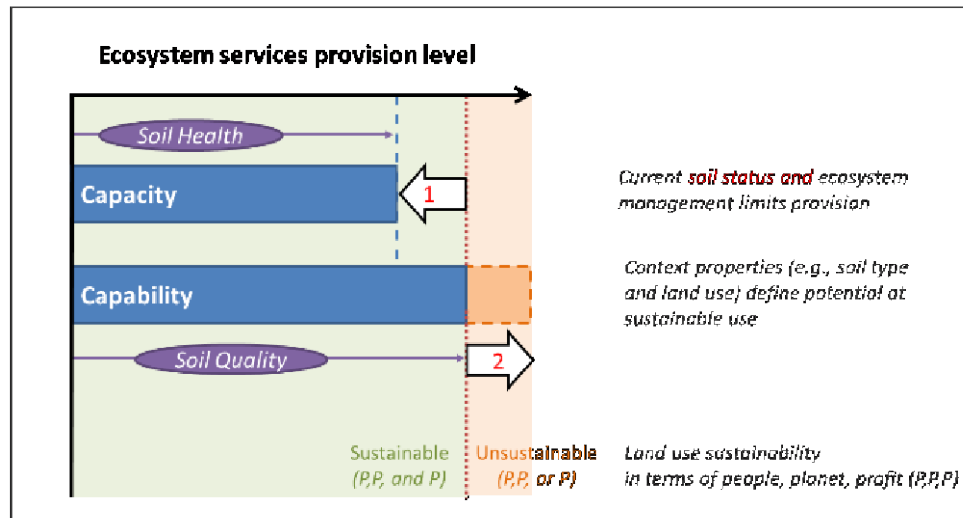


Come si definisce un suolo «sano»?



La salute del suolo

- **capacità** di un suolo di sostenere, nel contesto di uno specifico ecosistema naturale o antropico, la **produzione vegetale o animale**, di contribuire a migliorare la qualità dell'aria dell'acqua, e infine di supportare la **salute** dell'uomo e l'**abitabilità** ambientale.
- In pratica, si tratta della capacità del suolo di funzionare e contribuire a diversi servizi ecosistemici (ad esempio, fornitura di acqua dolce, regolazione del clima, produzione di biomassa).



- 1 Reduction of ecosystem services provision is linked to soil degradation, management practices, climate change, etc.
- 2 Increase of ecosystem services provision is possible by using fertilizers, pesticides, intensive tillage and other management practices, but lead to increased trade-offs to other services, to other people, elsewhere or later.

La **qualità del suolo** si associa alla capacità potenziale del suolo di fornire i servizi ecosistemici desiderati (dato il tipo di suolo, l'uso del suolo e il clima) se gestito in maniera mirata e sostenibile.

La **salute del suolo** si associa alla capacità attuale del suolo di fornire beni e servizi e servizi.

L'**uso sostenibile del suolo** riguarda la mitigazione dei fattori che limitano la produzione di servizi ecosistemici e dei fattori che riducono il flusso di tali servizi di questi servizi.

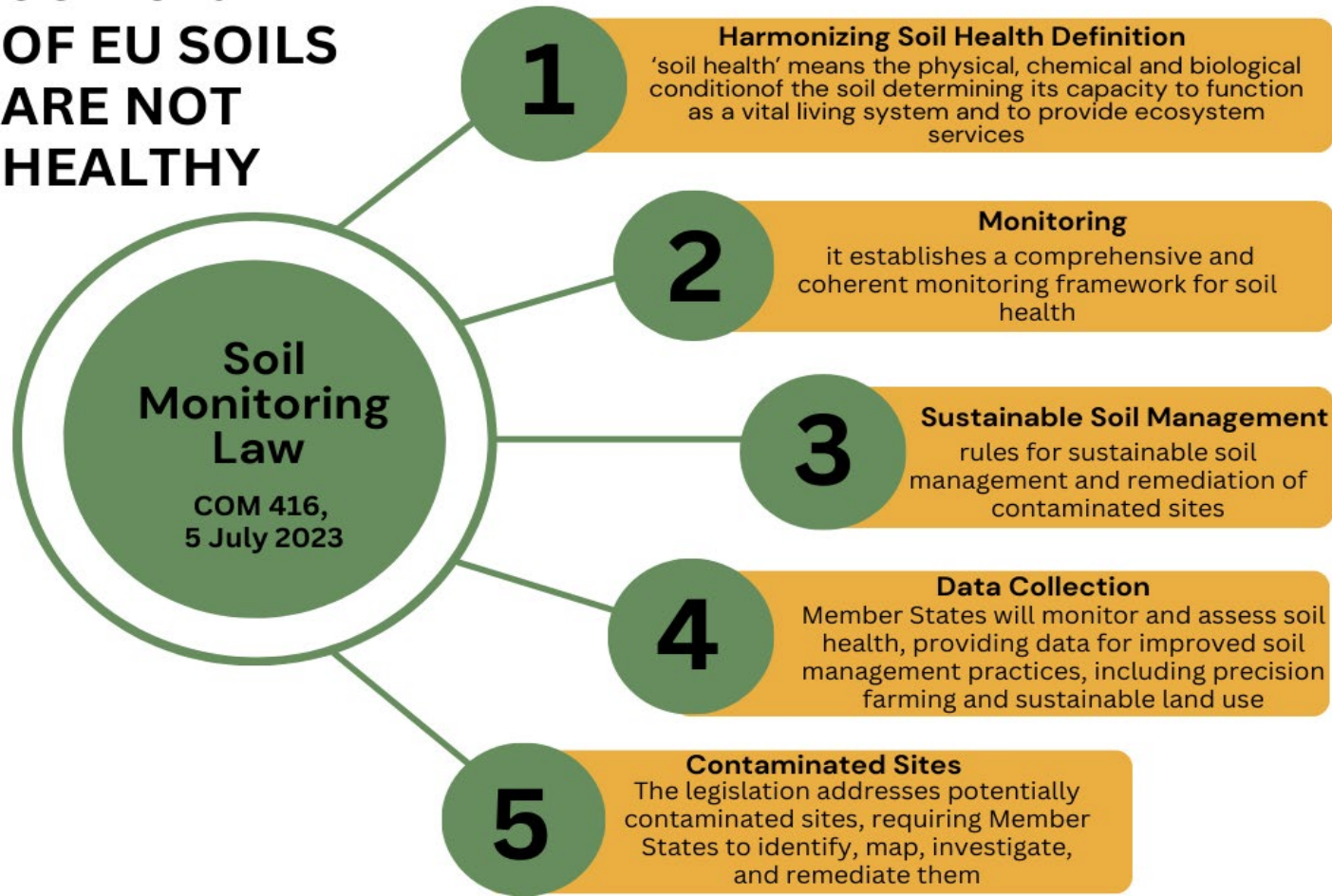
Mentre la qualità del suolo è il suo potenziale, la salute del suolo è la sua effettiva (attuale) capacità di fornire beni e servizi

Soil Monitoring Law (2023)

Si stima che circa il 60-70% dei suoli europei si trovi in uno stato malsano a causa di problemi quali l'espansione urbana, i bassi tassi di riciclaggio dei terreni, l'intensificazione dell'agricoltura e il cambiamento climatico.

Secondo la Commissione europea, il degrado dei suoli è uno dei principali motori della crisi climatica e della biodiversità e riduce la fornitura di servizi ecosistemici chiave che costano all'UE almeno 50 miliardi di euro all'anno.

**60-70%
OF EU SOILS
ARE NOT
HEALTHY**



A POLICY WORKSHOP ON

EJP SOIL SCIENTIFIC SUPPORT FOR THE EU SOIL HEALTH LAW

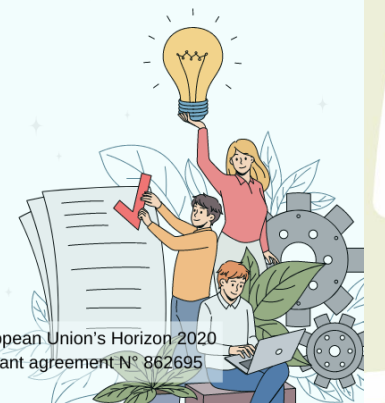
With presentations from the EJP SOIL Projects



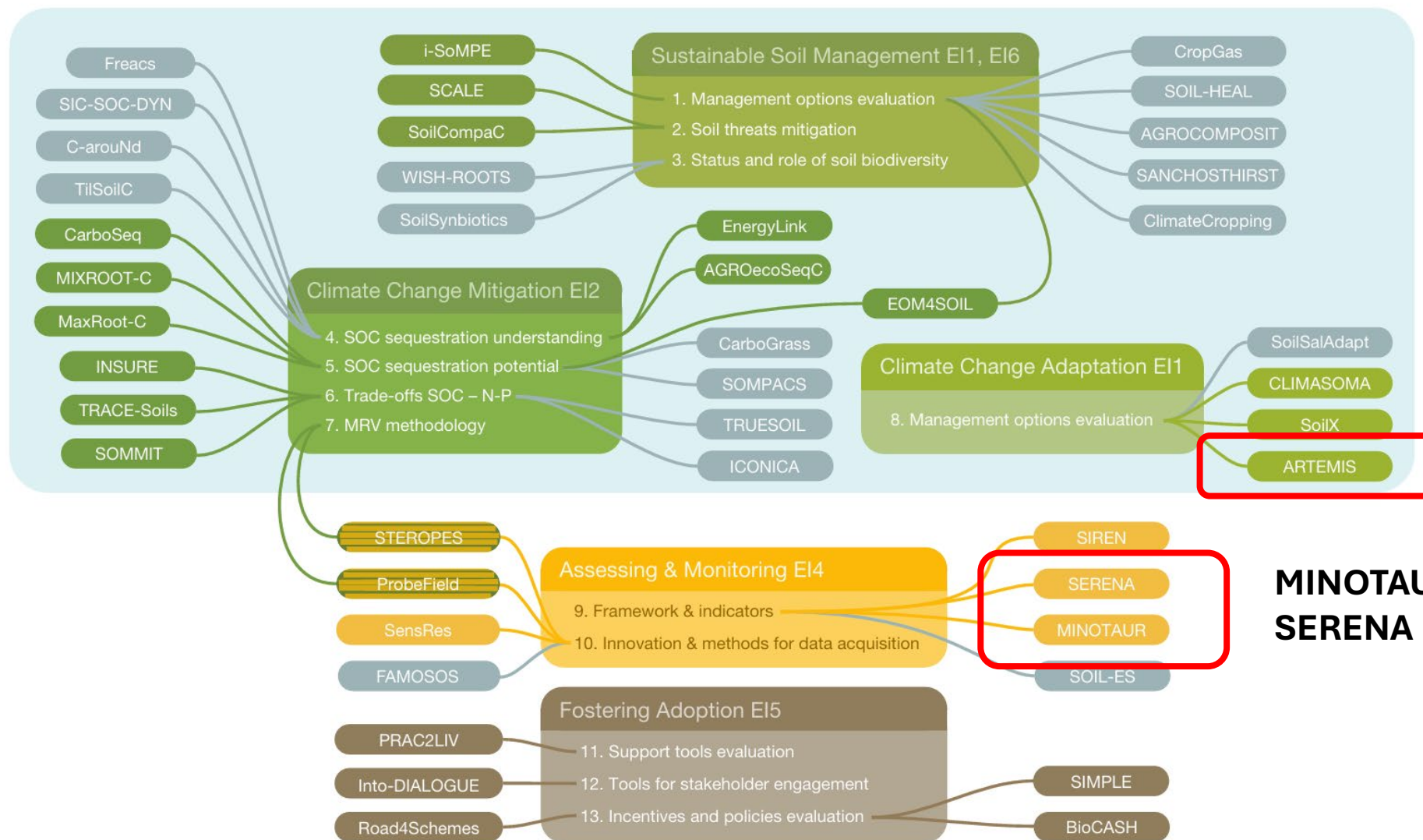
WP6 SOIL DATA &
REPORTING



This project has received funding from the European Union's Horizon 2020 research and innovation programme under grant agreement N° 862695



Panorama progetti di ricerca Programma EJP Soil



ARTEMIS

**MINOTAUR
SERENA**

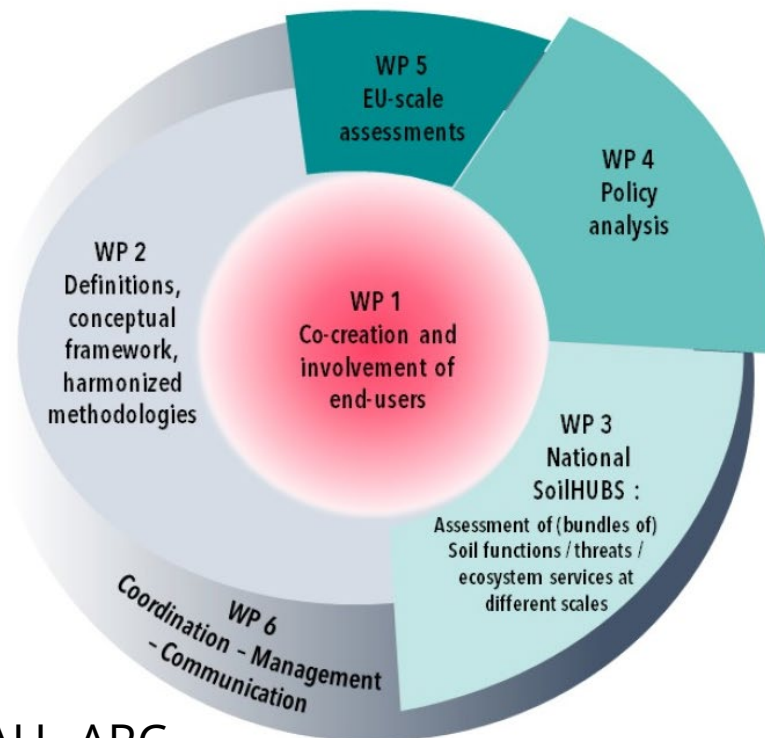
TITOLO: Soil Ecosystem
seRvices and soil threats
modElling aNd mApping

BUDGET: 5M€

DURATA: 36 mesi

Coordinatore nazionale:
Romina Lorenzetti (CNR)

Partecipanti (25): VPO, WR, AU, ARC-
EMU, UL, LAMMC, IUNG, NPCC, ATK,
CREA, CNR, ERSAL, ISPRA, ENEA, AGES,
BAW, BFW, CZU, INRAE, Agr-Eco,
Agr.Ou.-SAS, CSIC, INIAV, TEAGASC

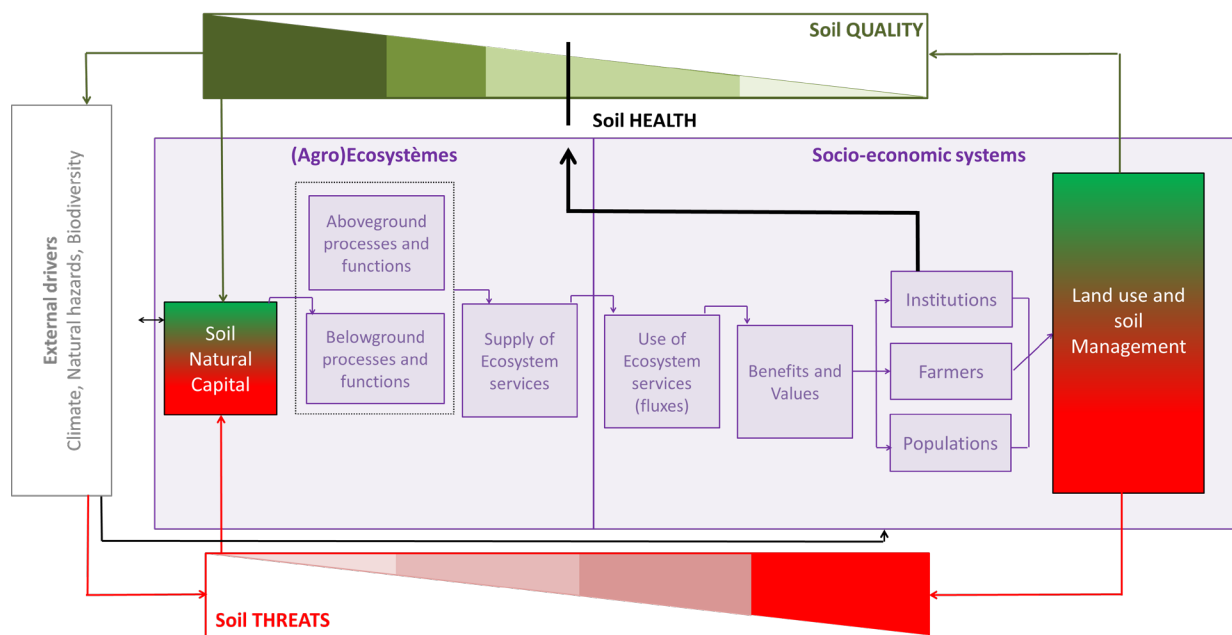


OBIETTIVO: SERENA intende migliorare l'efficacia delle politiche del suolo attraverso l'analisi di **servizi ecosistemici del suolo (SES)** nei paesaggi agricoli europei, delle **minacce al suolo (ST)** e dei loro **bundles**, ovvero l'analisi dell'insieme dei SES/ST che appaiono ripetutamente insieme nello spazio e nel tempo.

APPROCCIO: SERENA individuerà gli indicatori migliori per modellare e mappare SES, ST, e bundle

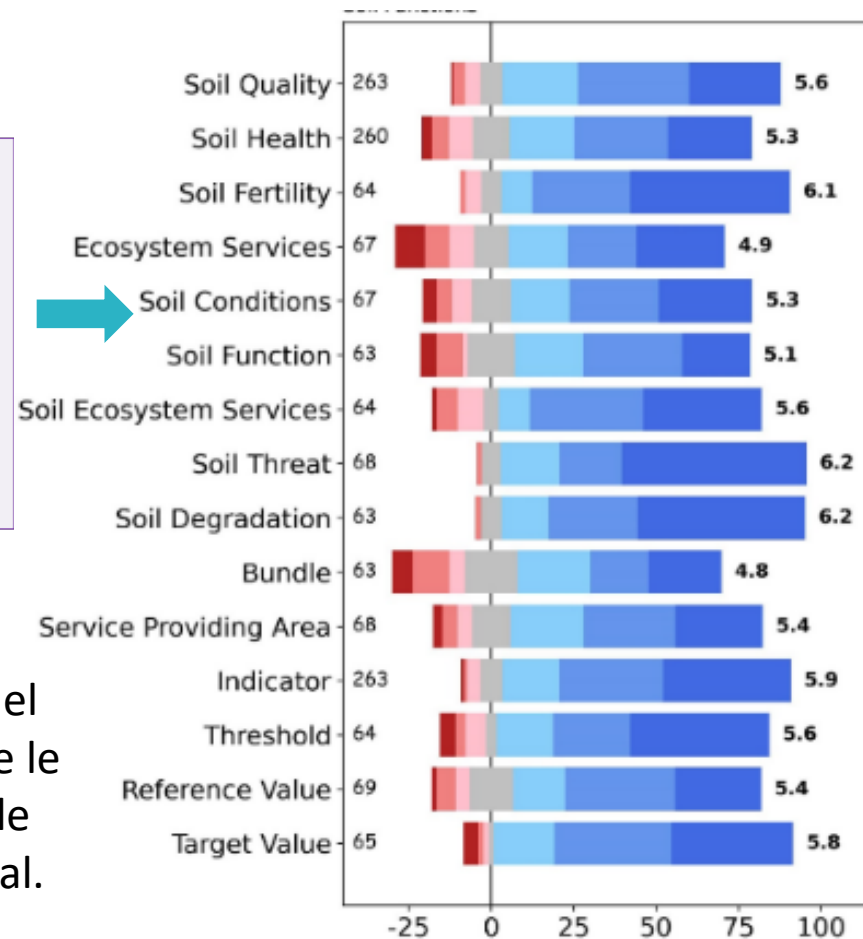
ARMONIZZAZIONE DELLE DEFINIZIONI

Alcuni concetti chiave relativi a: qualità del suolo, salute del suolo, minacce al suolo (ST), servizi ecosistemici del suolo (SES) e bundle, sulla base di un'importante interazione con gli stakeholder (*questionari sul livello di gradimento*)



Framework di collegamento tra i concetti di qualità e salute del suolo, ST e SES, che evidenzia come i ST potrebbero degradare le funzioni dei suoli e i SES. Sia i SES che i ST sono influenzati dalle azioni umane che possono migliorare o degradare il Soil Capital.

Livello di accordo espresso dagli stakeholder



Rosso: fortemente in disaccordo;
Grigio: neutro;
Blu: fortemente d'accordo;
 num. a sinistra: dimensione del campione;
 num. a destra: punteggio medio

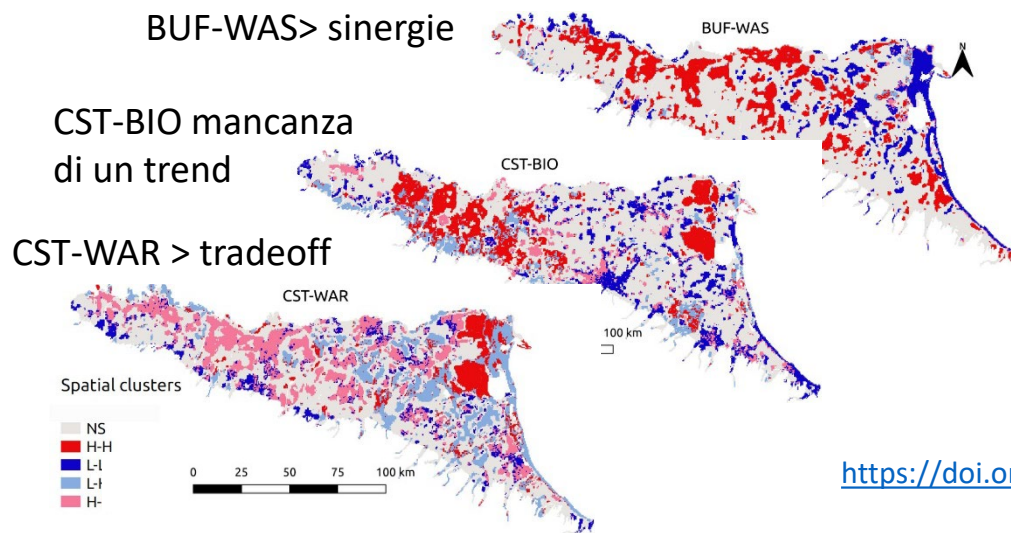
ARMONIZZAZIONE DELLE DEFINIZIONI: il concetto di BUNDLE

Bundle - un insieme di SES, ST o una combinazione dei due, che si presenta ripetutamente e congiuntamente nel tempo e nello spazio, in relazione a un contesto specifico

Concetto innovativo che fa fronte alla necessità di migliorare la comprensione delle relazioni tra servizi ecosistemici e dei loro driver, soprattutto quelli sui quali la gestione del suolo e le pratiche agronomiche possono produrre effetti che aiutino a fornire bundle equilibrati di SES e ridurre trade-off indesiderati

Esempi di realizzazioni di bundle in SERENA (Medina et al. 2024)

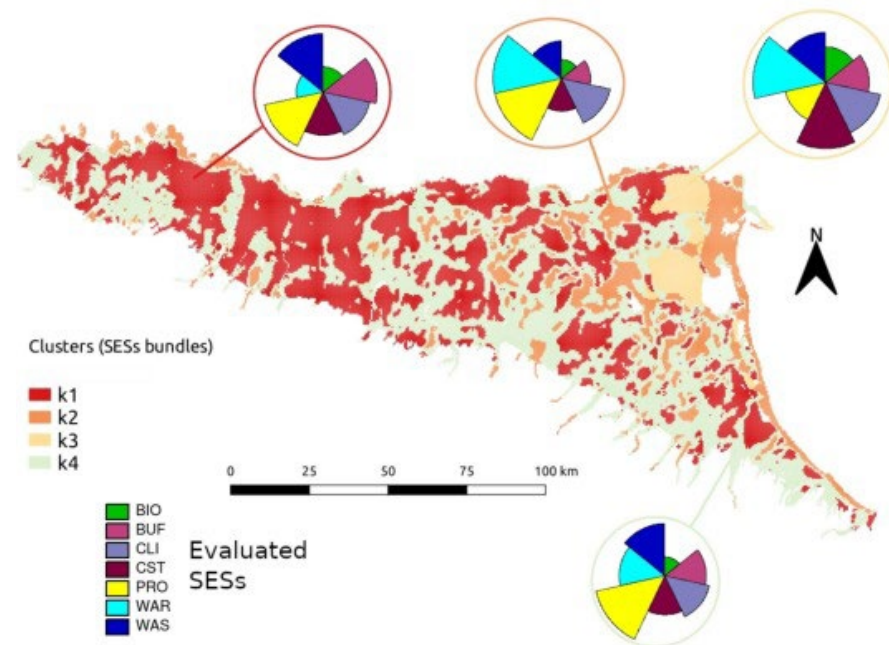
Indice di MORAN (indicatore di associazione spaziale per 2 variabili) nella pianura emiliano-romagnola.



k-means (Clustering statistico per più variabili) nella pianura emiliano-romagnola

CST = sequestro del carbonio,
BIO = habitat per organismi
BUF = capacità di filtraggio e buffering
WAS = accumulo di acqua
WAR = regolazione dell'acqua (infiltrazione),
PRO = fornitura di cibo
CLI = regolazione del microclima,

<https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2024.116962>



NS = non significativo, HH = cluster alto-alto, LL = cluster basso-basso, LH = cluster basso-alto e HL = cluster alto-basso.

DEFINIZIONE DI INDICATORI RILEVANTI PER VALUTARE ST/SES (strategia 3 fasi)

- 1.1 Ricerca bibliografica degli indicatori già esistenti +
- 1.2 raccolta presso i partner di progetto ed analisi critica delle valutazioni (mappe) di ST/SES già esistenti a livello regionale e locale



- 2. Valutazione degli indicatori
 - ✓ 7 CRITERI di valutazione

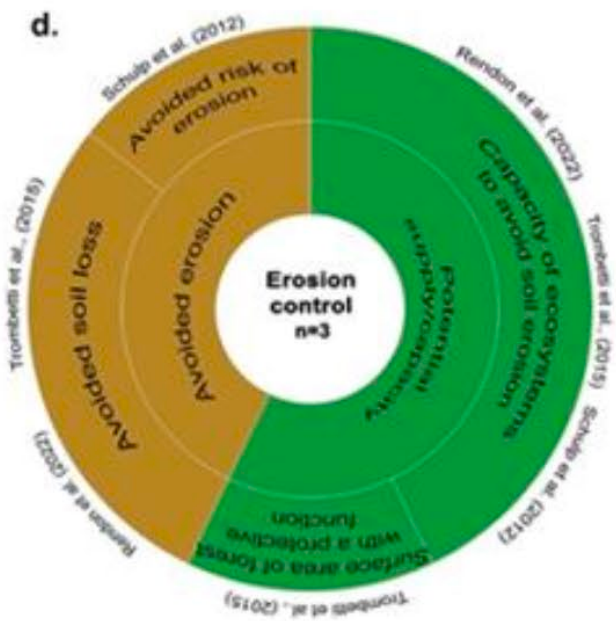


- 3. Individuazione di un "indicatore pragmatico", il migliore per l'armonizzazione a scala UE; e di un "indicatore ideale", il migliore per valutare un ST o SES.

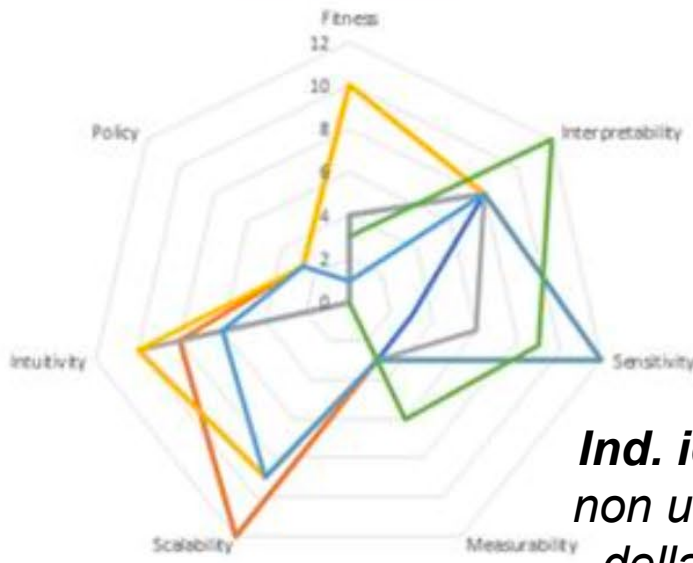
Step 1 : Stocktaking and classifying common indicators

Step 2 : Scoring indicators efficiency

Step 3 : Selecting and defining indicators for harmonisation



Reyes et al., submitted



- Capacity of vegetation to reduce erosion risk
- Decrease of erosion risk by vegetation
- Capacity of ecosystems to avoid soil erosion
- Total amount of soil not eroded
- Surface area of natural vegetation with a function of erosion control
- Surface area of forest with a protective function

Type	Indicator
Ideal	Total amount of soil not eroded (t or Mg ha ⁻¹ yr ⁻¹)
Pragmatic or realistic	Amount of soil not eroded (t or Mg ha ⁻¹ yr ⁻¹)

Ind. ideali in genere non utilizzati a causa della mancanza di dati o della difficoltà di valutarlo

Ind. pragmatici usati per la stesura dei cookbook applicati a livello regionale o nazionale, e per valutazioni in scenari e futuri

MAPPATURA DI ALCUNI ST E SES

Selezione indicatore per ogni SES e ST ↔ Selezione da parte dei SM di ST e SES prioritari da valutare

COOKBOOK per una VALUTAZIONE ARMONIZZATA in EU, di ST/SES selezionati e di BUNDLES a scala naz./reg./locale.
Questionari di valutazione mappe per stakeholder

Valutazioni a scala di SM di ST /SES selezionati in SCENARI di clima e uso suolo futuri

ST e SES a scala EUROPEA e proiezioni in scenari futuri (2050) di BUNDLE

ES. APPLICAZIONI IN ITALIA: EROSIONE & CONTROLLO EROSIONE (scala reg.)

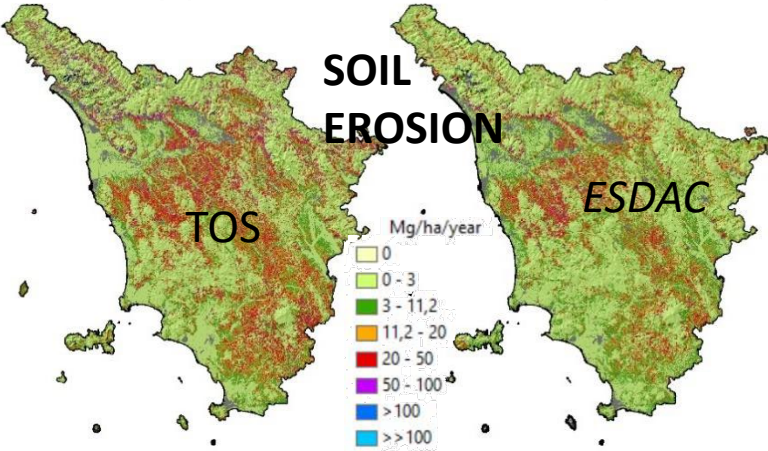
Cookbook

INDICATORI: perdita di suolo per erosione idrica; massa del suolo non erosa
METODI: EROSIONE: RUSLE; CONTROLLO : erosione prevenuta dalla presenza di vegetazione

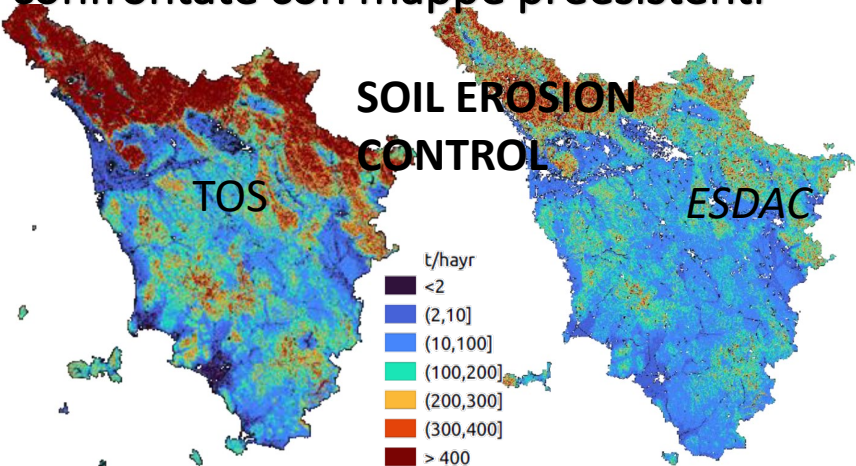
$V = R \times K \times LS \times C \times P$

- V: tasso di perdita di suolo medio stimato
- R: fattore erosività della pioggia
- K: fattore erodibilità del suolo
- LS: fattore topografico
- C: copertura del suolo (es. copertura della vegetazione)
- P: fattore di influenza del controllo artificiale (pratica antierosiva)

Mappe risultanti - dove possibile confrontate con mappe preesistenti



<https://zenodo.org/records/13951152>



<https://zenodo.org/records/13952098>

- l'uso di dati regionali migliora l'identificazione delle aree con elevati tassi di erosione
- K calcolato su dati regionale ha prodotto valori più elevati rispetto all'ESDAC
- R meglio caratterizzato con dati regionale in particolare nelle aree di montagna: effetto evidente nel controllo erosione

MAPPE	DATI SUOLO	DATI AUSILIARI	PX
ESDAC	•Fattore K da LUCAS 2009 , metodo Wischmeier & Smith (1978).	•R da dataset climatici di dati nazionali; •LS da prodotto DEM ibrido ASTER/SRTM (25m riscaldato a 100m)	100 m
SERENA	•Fattore K dai profili della BD regionale, metodo Torri et al. (1997).	•C da copertura del suolo CORINE; •P da LUCAS (sistemazione agraria girapoggio, muretti in pietra e margini erbosi)	100 m
		•R da stazioni meteorologiche locali; •LS da un DEM ad alta risoluzione (10 m)	(upscaled)
		•C da dati regionali di copertura del suolo; •P da dati spaziali regionali su aree terrazzate	

TAKE-HOME MESSAGES (SERENA)

- ▶ SERENA ha individuato **indicatori pragmatici ed ideali** per la **valutazione dei servizi ecosistemici del suolo e delle minacce** e descritte procedure per l'applicazione degli stessi (**cookbook**).
- ▶ La **valutazione di BUNDLE** di minacce del suolo e servizi ecosistemici del suolo (ad es.: perdita di SOC/erosione/sigillatura/compattazione; controllo dell'erosione/produzione di biomassa primaria/stoccaggio di acqua/regolazione dei gas serra e del clima) è **fattibile** e può essere effettuata sia a livello regionale che nazionale che UE per individuare sinergie, tradeoff ed **esprimere la qualità del suolo in termini di valori omogenei per più SES e ST**
- ▶ La **procedura di armonizzazione deve essere considerata un processo virtuoso, ma che deve rimanere flessibile. Infatti:**
 - una parte di variabilità è rimasta nel modo in cui i diversi SM hanno applicato i cookbook, a causa delle differenze nei dati disponibili, nella scala dei dati o nelle competenze tecniche
 - l'armonizzazione di una procedura prevede anche la possibilità di utilizzare alcuni indicatori specifici o indicatori di soglia che potrebbero essere più pertinenti per alcuni SM.
- ▶ Devono essere incrementati e armonizzati gli sforzi per **effettuare misurazioni per il monitoraggio del suolo** e raccoglierle in **database condivisi** (per migliorare la valutazione di SES e ST)

MINOTAUR

TITOLO: Modelling and mapping soil biodiversity patterns and functions across Europe

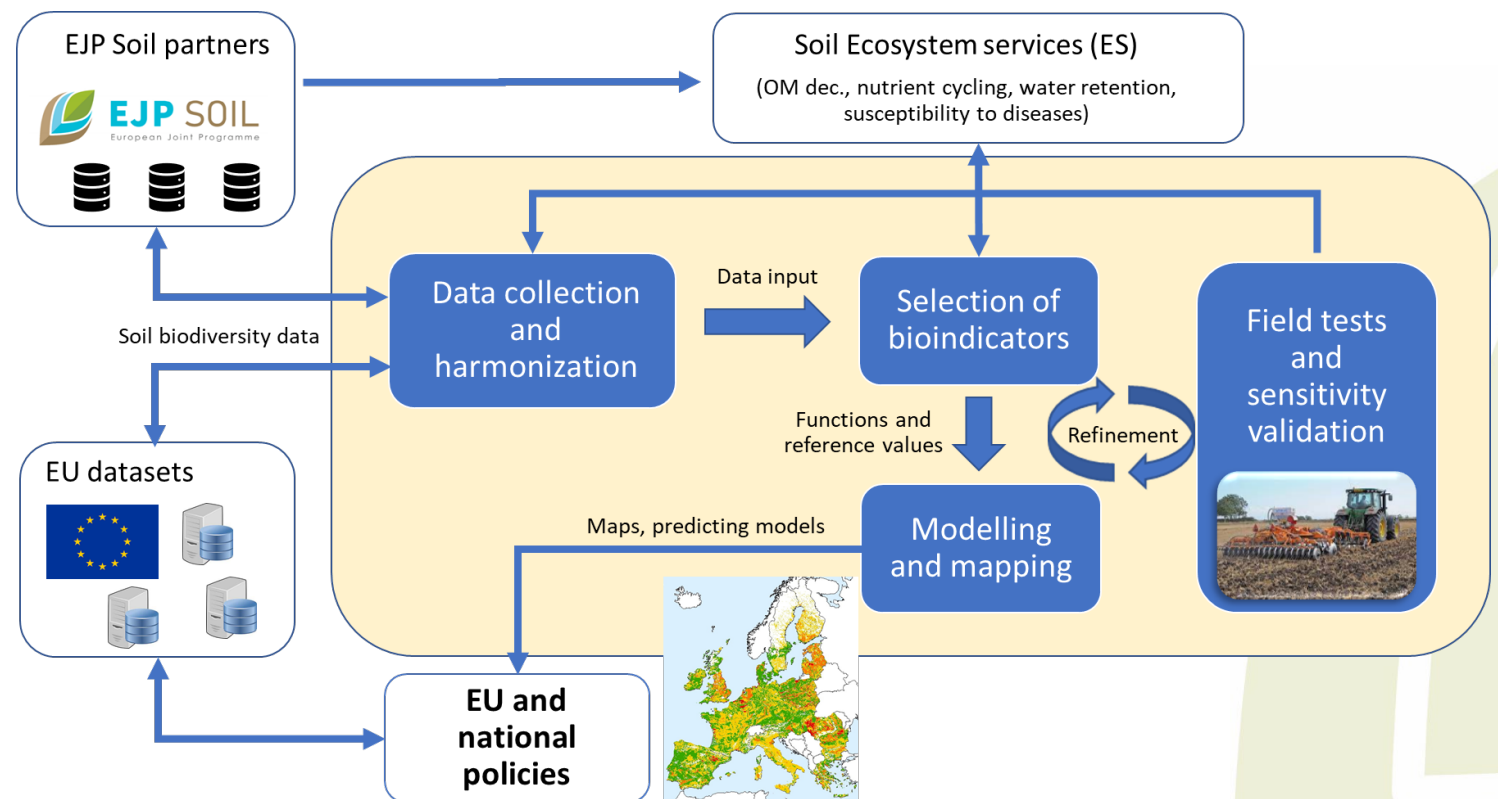
BUDGET: 2M€

DURATA: 36 mesi

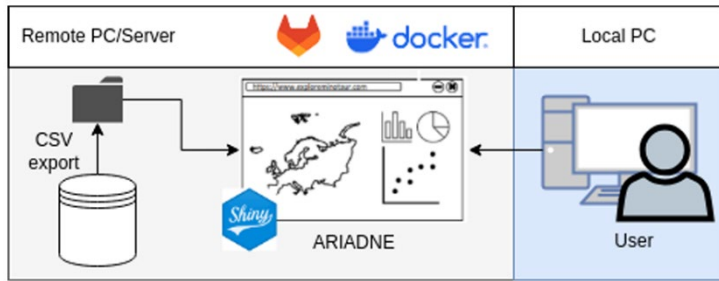
Coordinatore:
Stefano Mocali, CREA

Partecipanti: INRAE, WR, CZU, TEAGASC, ULBF, CSIC, SLU, AGS, ACO, BOKU, CNR, ISPRA, ENEA, ERSAF

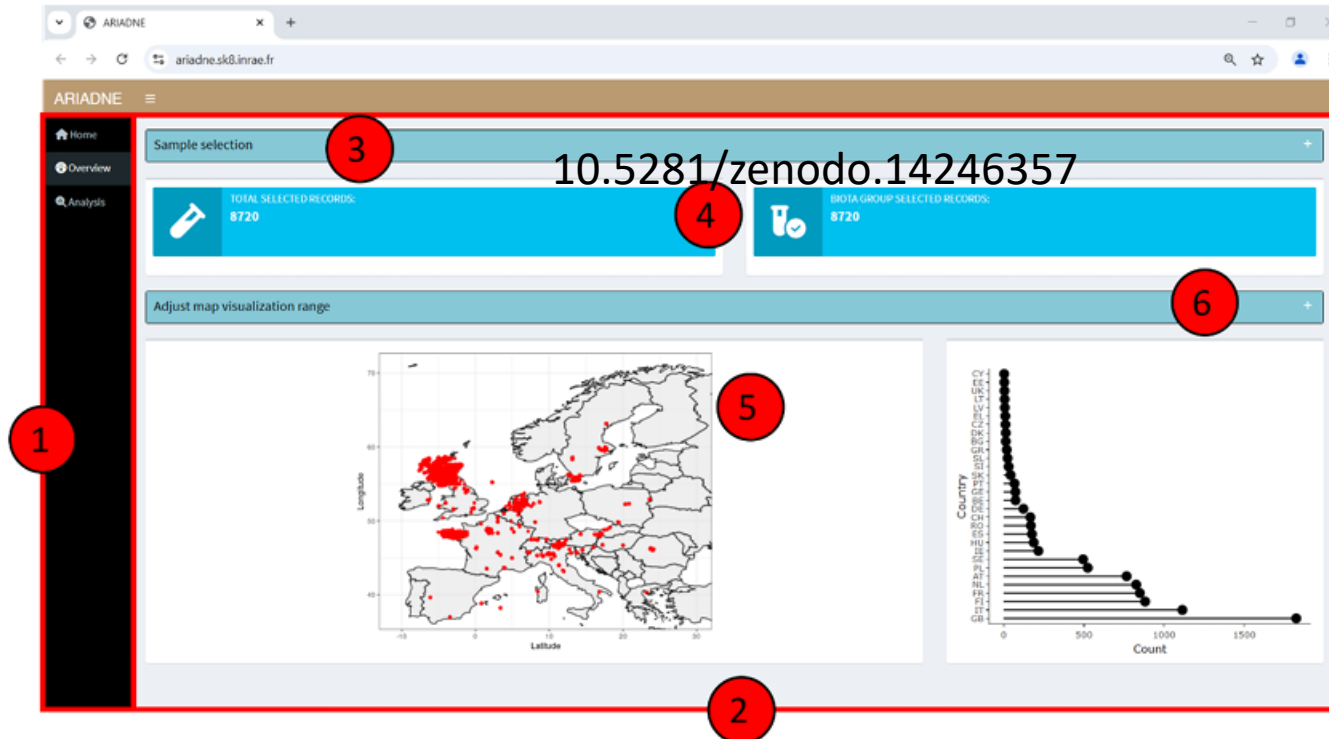
OBIETTIVO: Il progetto ha l'obiettivo di realizzare mappe e modelli previsionali e individuare indicatori biologici idonei e relativi valori "soglia" finalizzati alla realizzazione dei piani di monitoraggio a livello nazionale ed Europeo



1) Soil Biodiversity Database: «shARed mInotAur Database explorationN Environment – ARIADNE»



<https://doi.org/10.5281/zenodo.14246357>



- 1) Barra di navigazione («overview» and «analysis» sections)
- 2) Pagina principale
- 3) «Overview» (filtri per «management, land use, country, biota group»)
- 4) Dati biologici disponibili (records)
- 5) Member States
- 6) Map visualization setup

2) SELEZIONE DEGLI INDICATORI BIOLOGICI

Relazioni tra biodiversità del suolo, processi del suolo e funzionamento e servizi ecosistemici

La biodiversità del suolo contribuisce ai processi del suolo e, di conseguenza, al funzionamento e ai servizi ecosistemici, compresa la sicurezza alimentare e la salute umana.

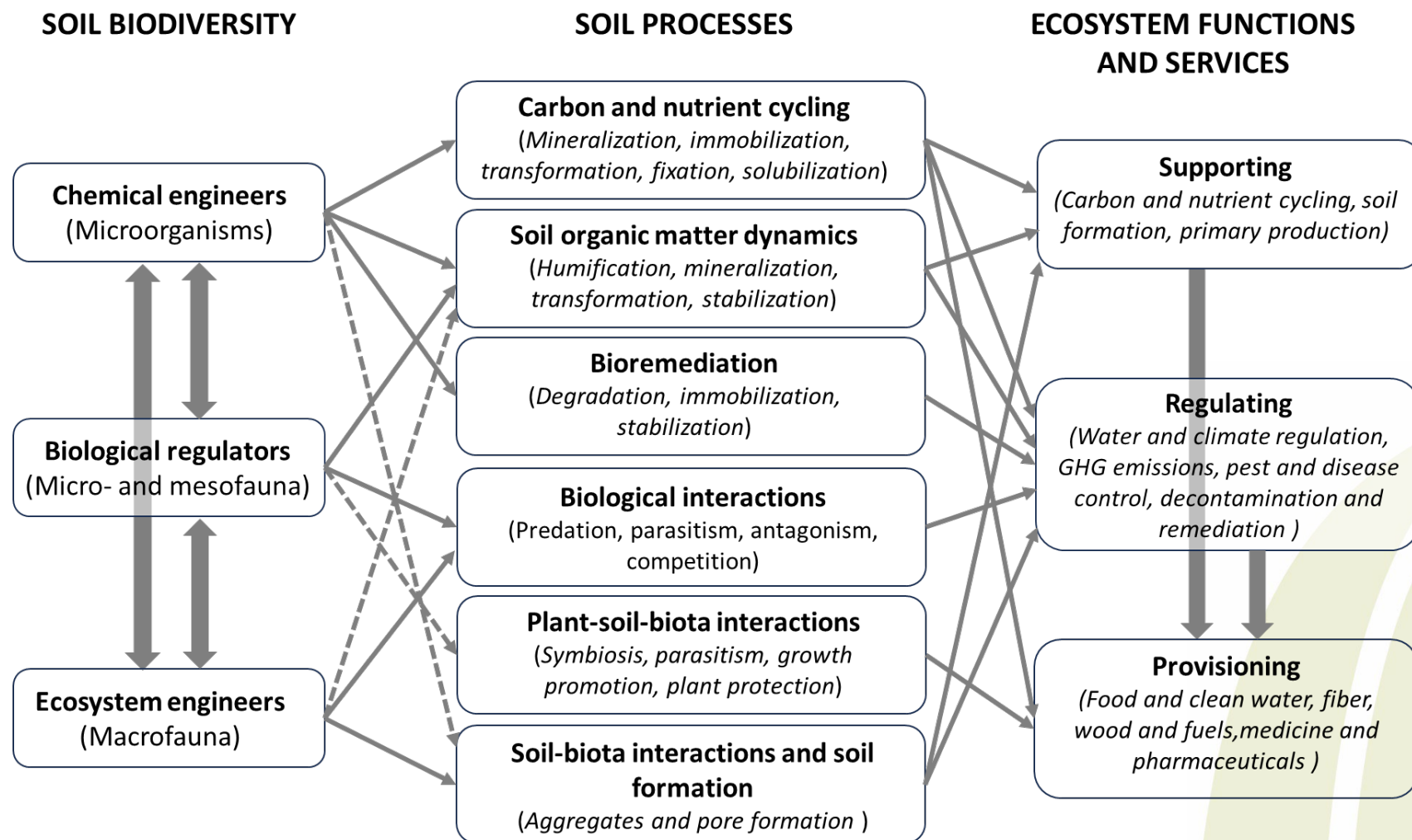


Figure 1 - Relationships between soil biodiversity, soil processes and ecosystem functioning and services. Arrows and dashed arrows indicate, respectively, major and minor roles of functional groups on soil processes (modified from El Mujtar et al., 2019).

2) SELEZIONE DEGLI INDICATORI BIOLOGICI

Proposal of a 2-tiered system of biological indicators, tier I and tier II groups:

Priority level	Recommended indicators		Brief description	Methodology	Cost
Tier I	Functional Indicators	Microbial biomass C	Amount of microbial biomass per gram soil	ISO 14 240-1 / -2 EN ISO 11 063	20-30€/sample
		Microbial respiration	Production of CO ₂ per amount of soil	ISO 16072:2002	20-30€/sample
		Enzyme activity	Measurement of several hydrolase activities in soil	ISO 14 238 ISO/TS 22 939 ISO 23 753-1 ISO 23 753-2	20-80€ for each enzyme
	Structural indicators	Ecosystem engineers (Macrofauna)	Structural and functional diversity (earthworms)	ISO 23611-1:2018	30-140€
		Biological regulators (Mesofauna)	Structural and functional diversity	ISO 23611-2:2006 QBS-ar (Parisi et al., 2005)	75-140€
		Biological regulators (Microfauna)	Structural and functional diversity (nematodes)	ISO 23611-4:2006	30-140€
		Chemical engineers (Microorganisms)	Structural diversity of soil microbiota (bacteria, archaea, fungi)	DNA metabarcoding (ISO 11063:2020) and Plassart et al., 2012	75-100€ for each target group

HIGH PRIORITY

All the indicators of the Tier I group should be standardized, scientifically proven and cost-effective.

2) SELEZIONE DEGLI INDICATORI BIOLOGICI

Sensitivity of tier I indicators to tillage and fertilization (LTEs)

	Biological indicators (tier 1)	Metrics	TILLAGE		Fertilization	
			Effect size*	Rank#	Effect size*	Rank#
Functional indicators	Soil microbial respiration	Basal respiration	0.624	2	0.179	3
	Microbial biomass	Bacteria	0.568	3	0.112	8
	Microbial biomass	Fungi	0.189	11	0.040	14
	Enzyme activity	Beta-glucosidase	0.664	1	0.089	12
	Enzyme activity	Dehydrogenase	0.431	4	0.114	7
	Enzyme activity	Urease	0.404	5	0.146	6
	Enzyme activity	Arylsulphatase	0.198	10	0.206	2
	Enzyme activity	Alk-Phosphomonoesterase	0.267	7	0.091	11
Structural indicators	Ecosystem engineers (earthworms)	Species richness	0.112	15	0.067	13
	Ecosystem engineers (earthworms)	Tot biomass	0.174	12	0.032	15
	Biological regulators (mesofauna)	QBS-ar	0.380	6	0.176	4
	Biological regulators (mesofauna)	n. emiedaphic	0.015	17	0.221	1
	Biological regulators (mesofauna)	n. eudaphic	0.226	9	0.013	16
	Biological regulators (mesofauna)	n. epigeic	0.161	13	0.171	5
	Biological regulators (nematodes)	Tot abundance	0.159	14	0.008	17
	Biological regulators (nematodes)	Fungivores	0.065	16	0.103	9
	Chemical engineers (microorganisms)	16SrRNA metabarcoding	0.238	8	0.098	10

Valutano l'attività biologica del suolo e l'efficienza dei processi del ciclo dei nutrienti: **NON MISURANO LA BIODIVERSITÀ**

Valutano le dinamiche della biodiversità su diverse scale trofiche: **NON MISURANO LE FUNZIONI**

All the tier I indicators should be used simultaneously

*Eta-squared (η^2) : the proportion of the total variance in a dependent variable that can be attributed to a particular independent variable

La sensibilità degli indicatori varia a seconda del tipo di disturbo (ad esempio lavorazione del terreno o fertilizzazione); l'uso di un singolo bioindicatore può portare a conclusioni errate; indicatori diversi (e i relativi parametri) possono avere tendenze contrastanti nelle stesse condizioni.

TAKE-HOME MESSAGES (MINOTAUR)

1. Si propone un approccio standardizzato a livelli («tiered approach») di indicatori biologici.
2. Nel gruppo base (tier I) sono inclusi indicatori di biodiversità sia funzionale che strutturale, comprendenti i rappresentanti dei tre principali gruppi funzionali del suolo: i) ingegneri dell'ecosistema (macrofauna); ii) regolatori biologici (micro- e mesofauna); iii) ingegneri chimici (microbi)
3. E' raccomandato l'utilizzo di tutti gli indicatori del gruppo tier I simultaneamente. L'uso di solo 1 o alcuni degli indicatori potrebbe portare a risultati fuorvianti o di difficile interpretazione.
4. Gli indicatori biologici devono essere contestualizzati con approccio olistico con i dati chimico-fisici del suolo di uno scenario specifico (tipo di suolo, clima, uso e gestione del territorio, ecc).
5. Nessuna soglia raccomandata (dipende dal contesto), ma monitoraggio dei cambiamenti (Matson et al., 2024).

ARTEMIS

TITOLO: AgRo-ecological strategies for promoting climate change Mitigation and adaptation by enhancing ecosystem services and Sustainable crop production

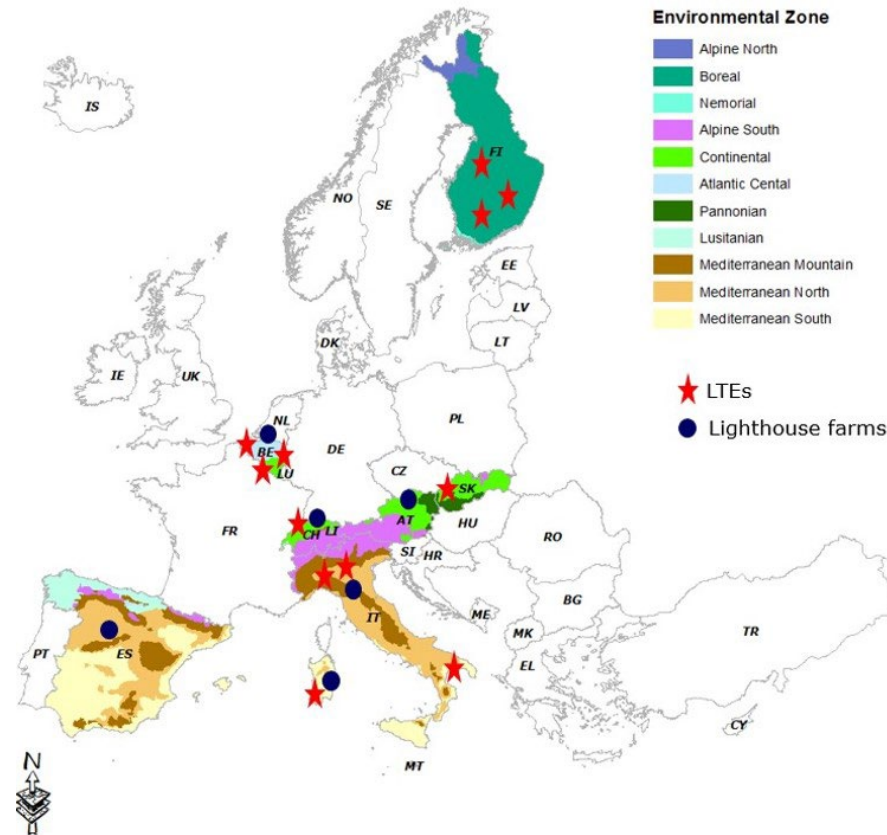
BUDGET: circa 2M€

DURATA: 24 mesi

Coordinatore: Klaus Jarosh
(Agroscope)

Coordinatrice nazionale:
Claudia Di Bene (CREA)

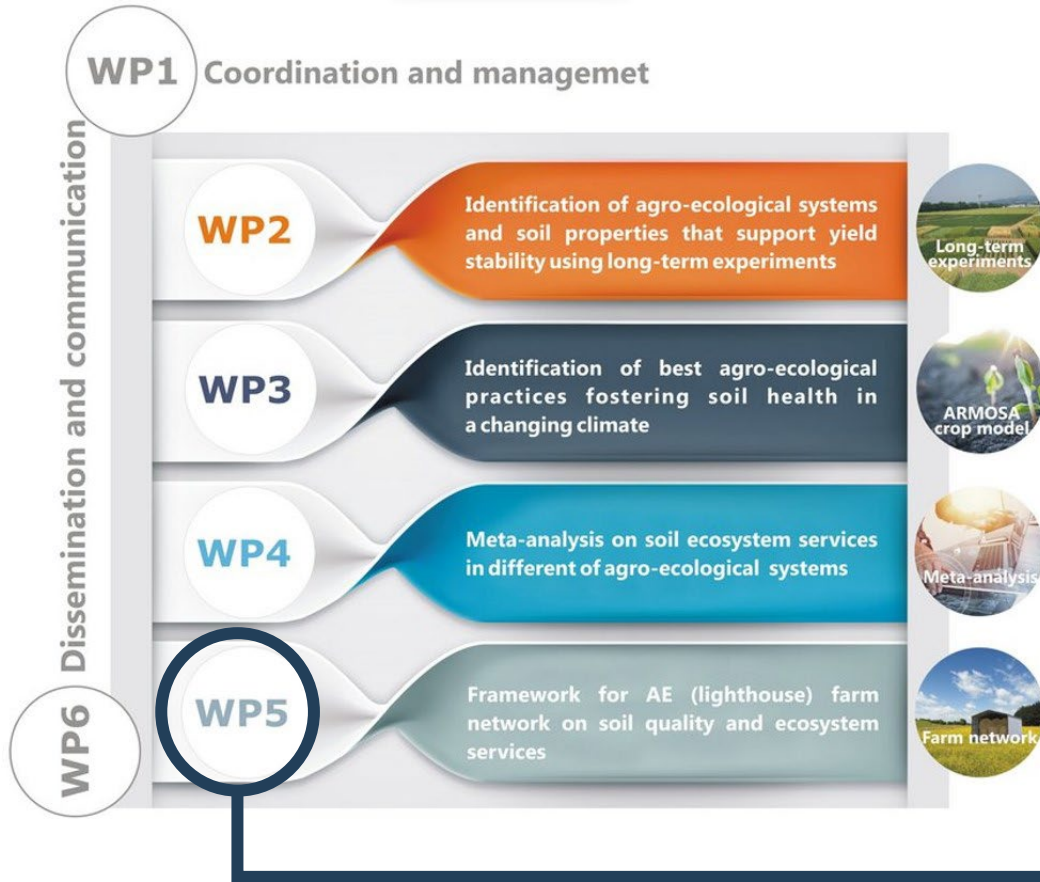
Partecipanti: INRAE, WR, CZU, TEAGASC, ULBF, CSIC, SLU, AGS, ACO, BOKU, CNR, ISPRA, ENEA, ERSAF



OBIETTIVI

- Comprendere l'impatto che la transizione agro-ecologica ha sul funzionamento del suolo e sui servizi ecosistemici
- Valutare la capacità dei suoli europei di resistere a frequenti eventi meteorologici estremi (es. siccità prolungata e condizioni umide)

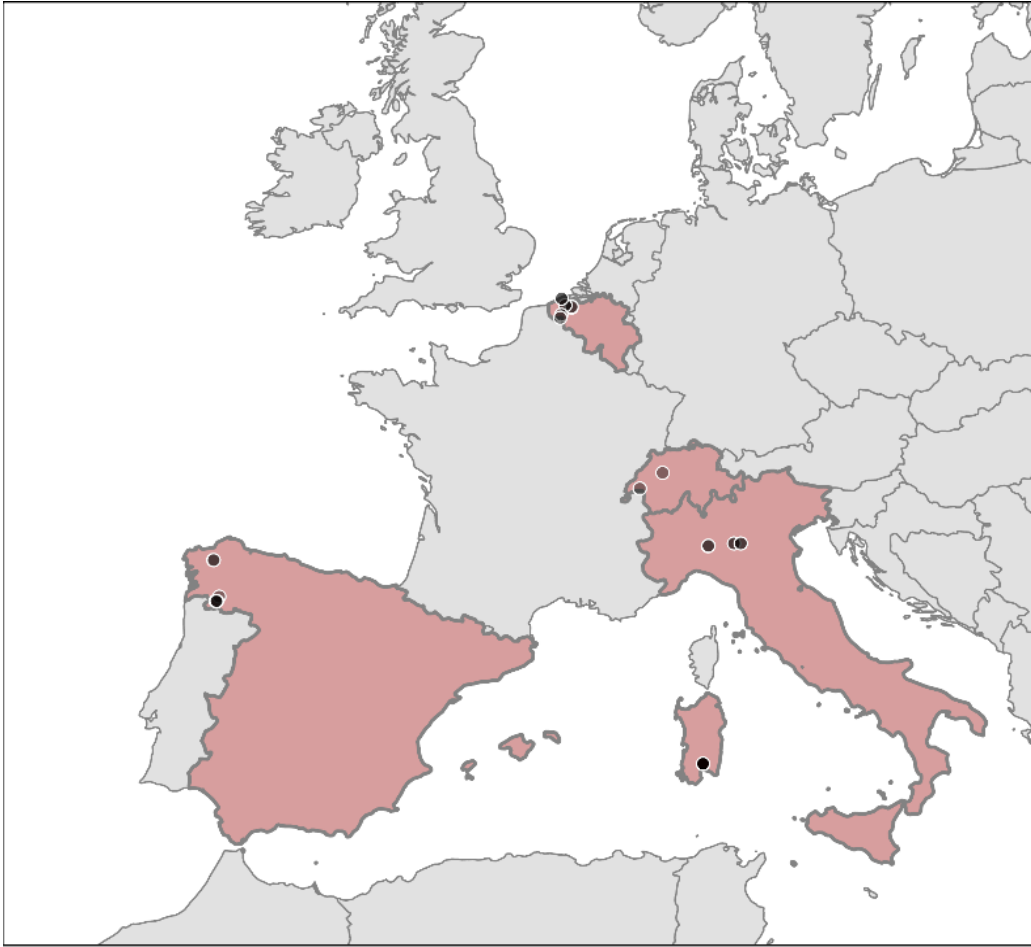
Struttura e approccio metodologico



- Dispositivi di lungo periodo
- Modellistica suolo-coltura
- Revisione bibliografica
- Meta-analisi
- Laboratori viventi (living labs) e rete tra portatori di interesse (es. agricoltori, consumatori, decisori politici)

Il Work Package 5 si è focalizzato sulla creazione di una rete di aziende agroecologiche e sullo sviluppo di un set di indicatori per valutare gli effetti delle pratiche agroecologiche sulla salute del suolo e sui servizi ecosistemici legati al suolo.

Rete di aziende agricole



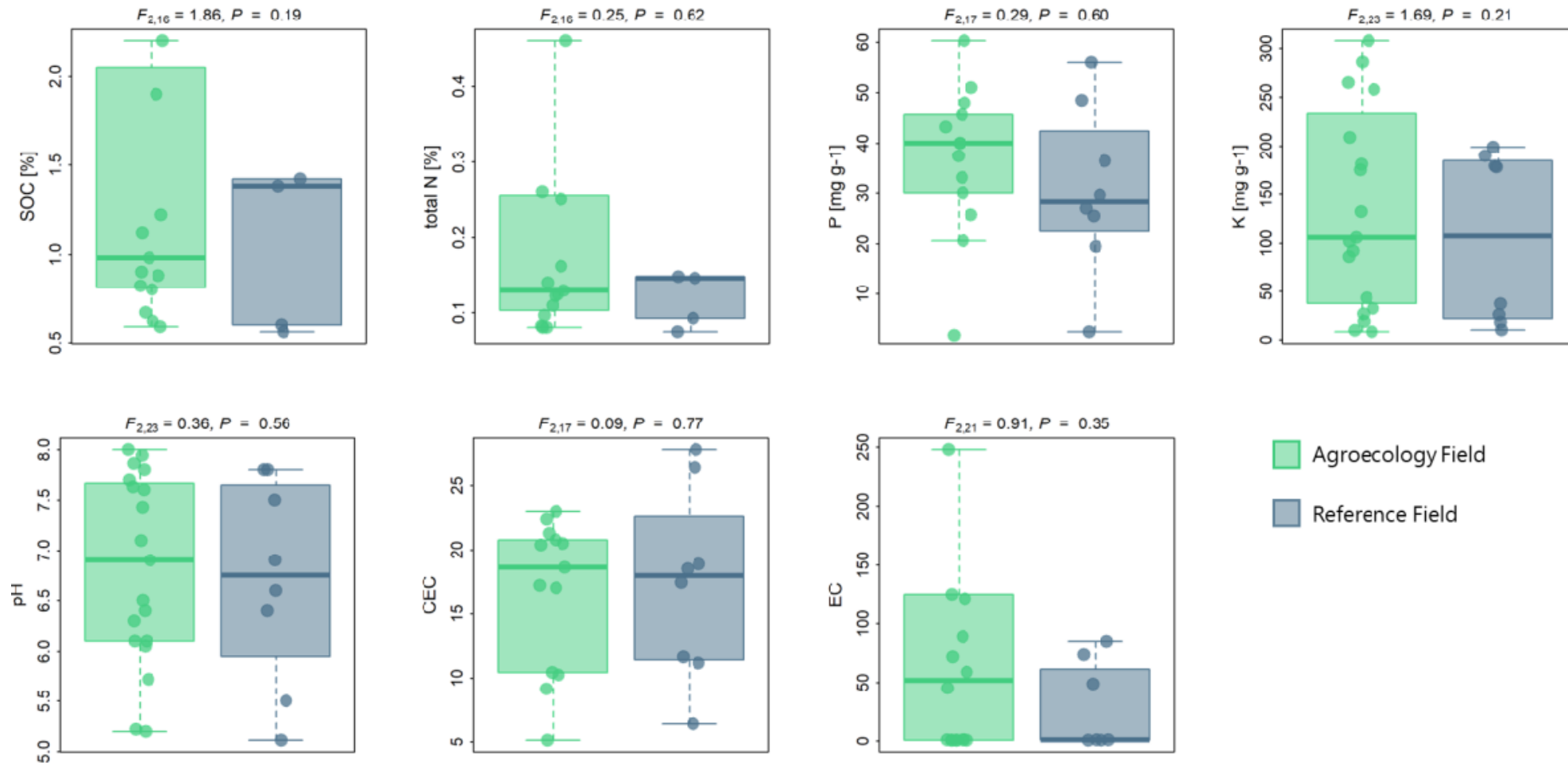
- 14 aziende agricole
- 2 siti sperimentali di lungo periodo
- 4 Paesi coinvolti
- 6 partner del progetto EJP SOIL ARTEMIS coinvolti

- Parametri analizzati: SOC, N totale, P disponibile, K, CSC, pH, EC, tessitura e densità apparente.
- Confronto tra plot con strategie agroecologiche con quelli convenzionali
- Analisi multivariata condotta utilizzando l'equazione

$$y = \text{argilla} + \text{sabbia} + \text{sistema}$$

y si riferisce all'indicatore di salute del suolo misurato, mentre il termine “sistema” indica il confronto tra i plot agroecologici con quelli convenzionali presi come riferimento.

Risultati



- Per tutte le variabili di salute del suolo misurate, non sono state mostrate differenze significative tra i plot con strategie agroecologiche con quelli convenzionali di riferimento
- Gli indicatori di salute del suolo hanno mostrato una notevole variabilità tra le aziende agroecologiche dei Paesi partner, sottolineando l'importanza di interpretare i risultati tenendo conto dei contesti pedo-climatici.

TAKE-HOME MESSAGES (ARTEMIS)

1. Dare priorità alla costituzione e perfezionamento della rete di aziende agricole per valutare l'impatto delle strategie agroecologiche in ambienti pedo-climatici diversi.
2. Dare priorità al monitoraggio mirato dei parametri del suolo per valutare gli effetti delle strategie di diversificazione introdotte sulla salute e qualità del suolo nelle diverse zone agro-ambientali europee
3. Favorire l'adozione di un approccio integrato per garantire un confronto più accurato degli effetti della gestione agroecologica sulla salute e qualità del suolo nel breve, medio e lungo periodo