

SOIL: The vision to a global challenge
Department of Agricultural and Food Sciences (DISTAL)
Alma Mater Studiorum – University of Bologna

Gruppo tematico Suolo

Edited 2020

A cura di: G. Falsone, C. Marzadori, L. Cavani, C. Ciavatta, I. Braschi, O. Francioso, L. Vittori
Antisari

DISTAL - *Alma Mater Studiorum* Università di Bologna (Italia)

<https://distal.unibo.it/it>

Membri del gruppo tematico Suolo:

Loredana Baffoni, Elena Baldi, Guido Baldoni, Alberto Barbaresi, Gabriele Baroni, Ilaria Braschi, Giovanni Burgio, Francesco Capozzi, Luciano Cavani, Claudio Ciavatta, Mauro De Feudis, Ligda Beatriz Diaz Rodriguez, Diana Di Gioia, Gloria Falsone, Enrico Felice, Ornella Francioso, Rosalba Lanciotti, Alessandra Lombini, Serena Magagnoli, Federico Magnani, Claudio Marzadori, Martina Mazzon, Monica Modesto, Francesca Patrignani, Giulio Demetrio Perulli, Roberta Roberti, Adamo Domenico Rombolà, Donatella Scarafile, Daniele Torreggiani, Moreno Toselli, Valerio Joe Utzeri, Lucia Vannini, Davide Viaggi, Livia Vittori Antisari, Alessandra Zambonelli, Matteo Zavalloni

<https://distal.unibo.it/it/ricerca/gruppi-di-ricerca/gti-suolo>

DOI 10.6092/unibo/amsacta/6447

Creative Commons: Attribuzione - Non Commerciale 4.0 (CC BY-NC 4.0)

Informazioni di contatto:

DISTAL RICERCA

distal.ricerca@unibo.it

Viale Giuseppe Fanin 44, 40127 Bologna (Italy)

INDICE

SUMMARY.....	5
SOMMARIO	5
1. INTRODUZIONE.....	7
2. MANTENIMENTO E MIGLIORAMENTO DELLE FUNZIONI DEL SUOLO NELL'ERA DELLO SFRUTTAMENTO INTENSIVO DEGLI ECOSISTEMI AGRO-FORESTALI – STATO E PROSPETTIVE INTERNAZIONALI	10
3. NUOVE RICERCHE, NUOVI DATI, NUOVI SVILUPPI	15
- La perdita di carbonio organico.....	16
- Biotecnologie per la conversione dei rifiuti agricoli in prodotti bio-based eco-efficienti	18
- Biodiversità del suolo: conservazione e ripristino.....	19
- I sistemi agroecologici a supporto del <i>farm to fork</i> e le politiche degli ecosistemi e della biodiversità	21
- Verso un suolo sostenibile e adeguato sistema agricolo e alimentare	23
- Ripristino del suolo forestale.....	24
- Strumenti politici di prossima generazione per la conservazione del suolo e il sequestro del carbonio	25
- Il suolo come risorsa energetica per strutture rurali sostenibili.....	26
- Metodologie e approcci innovativi per l'analisi multicriteri, il monitoraggio e la pianificazione del paesaggio.....	27
BIBLIOGRAFIA	28

SUMMARY

Maintaining and improving the soil resource is crucial for the protection of the global environment, the sustainability issues, the human well-being, and the economic development. Soil is in fact a complex integrated system whose multitude of biotic and abiotic properties allows the provision of functions, which in turn deliver ecosystem services for human benefits.

The most widespread agrarian, forest and food production systems may have negative impacts on soil, thus exacerbating its degradation processes. There is an increasing awareness that improper use or poor soil management, together with the most recent events related to climate change, jeopardize the proper functioning of soils. The need to protect the soil resource is thus widely shared internationally.

One of the major challenges in the new growth EU strategy is to accomplish food security and to promote sustainable agricultural development, achieving the climate neutrality by 2050. Given the crucial role of soil for human activities, the Soil Thematic Group of the Department of Agricultural and Food Sciences (DISTAL), *Alma Mater Studiorum* - University of Bologna (Italy), states its position identifying the main challenges for the future growth of EU in:

- The organic carbon loss;
- Bio-technologies for agro-waste conversion into eco-efficient bio-based products;
- Soil biodiversity: preservation and restoration;
- The agroecological systems for supporting the farm to fork and ecosystems and biodiversity policies;
- Towards a soil sustainable and suitable farm and food system;
- Forest soil restoration;
- Next generation policy instruments for soil conservation and carbon sequestration;
- Soil as energy resource for sustainable rural facilities;
- Innovative methodologies and approaches for multi-criteria analysis, monitoring and landscape planning.

SOMMARIO

Mantenere e migliorare la risorsa suolo è fondamentale per la protezione dell'ambiente a scala globale, la sostenibilità, il benessere umano e lo sviluppo economico. Il suolo è infatti un sistema

integrato complesso la cui moltitudine di proprietà biotiche e abiotiche consente lo svolgimento di funzioni, che a loro volta forniscono servizi ecosistemici benefici per l'uomo.

I sistemi di produzione agraria, forestale e alimentare possono avere impatti negativi sul suolo, esacerbando così i suoi processi di degrado. C'è una crescente consapevolezza che un uso improprio o una cattiva gestione del suolo, insieme ai più recenti eventi legati ai cambiamenti climatici, mettono a repentaglio il corretto funzionamento dei suoli. La necessità di proteggere la risorsa suolo è quindi ampiamente condivisa a livello internazionale.

Una delle principali sfide della nuova strategia di crescita dell'UE è **realizzare la sicurezza alimentare** e promuovere lo **sviluppo agricolo sostenibile**, raggiungendo la neutralità climatica entro il 2050. Dato il ruolo cruciale del suolo per le attività umane, il Gruppo Tematico del Suolo del Dipartimento di Scienze e Tecnologie Agro-Alimentari (DISTAL), *Alma Mater Studiorum* Università di Bologna (Italia), in questo documento afferma la sua posizione identificando le principali sfide per la crescita futura dell'UE in alcune importanti tematiche:

- Perdita di carbonio organico;
- Biotecnologie per la conversione dei rifiuti agricoli in prodotti biologici eco-efficienti;
- Biodiversità del suolo: conservazione e ripristino;
- Sistemi agroecologici a supporto del *farm to fork* e le politiche degli ecosistemi e della biodiversità;
- Verso un sistema *farm to fork* suolo-sostenibile e suolo-adatto;
- Ripristino del suolo forestale;
- Strumenti politici di prossima generazione per la conservazione del suolo e il sequestro del carbonio;
- Il suolo come risorsa energetica per strutture rurali sostenibili;
- Metodologie e approcci innovativi per l'analisi multicriteri, il monitoraggio e la pianificazione del paesaggio.

INTRODUZIONE

Suolo è una parola semplice da cui dipende la vita degli organismi viventi, compresi gli esseri umani. Il termine suolo definisce lo strato superficiale della crosta terrestre su cui i diversi processi di formazione del suolo hanno guidato la sua origine e sviluppo. La formazione del suolo, detta anche pedogenesi (dal greco "pedon" che significa suolo e "genesi"), dipende fundamentalmente da cinque fattori: clima (di solito precipitazioni e temperatura), topografia (essenzialmente pendenza e forma del paesaggio), tempo (tempo trascorso in cui si verifica la formazione del suolo), biota (piante, animali e microrganismi) e materiale parentale (rocce ignee, sedimentarie o metamorfiche, o sedimenti non consolidati). Anche le attività umane possono influenzare in modo significativo la formazione del suolo e, in alcuni casi, innescare e accelerare i fenomeni di degradazione.

Le relazioni tra i fattori di formazione del suolo, compresa l'attività umana, condizionano i processi di addizione, perdita, trasferimento e trasformazione di sostanza organica e materiale minerale che si verificano e formano il suolo e che consentono la sua organizzazione in strati approssimativamente paralleli alla superficie (cioè negli orizzonti del suolo), che sono distinti sulla base di proprietà morfologiche, fisiche, chimiche e biologiche. Combinazioni differenti di fasi solide, liquide e gassose rendono il suolo una risorsa unica caratterizzata da variabilità nel tempo e nello spazio, sia in superficie che in profondità lungo il profilo. Di conseguenza, **ogni suolo è un sistema complesso.**

Le componenti solide del suolo possono essere suddivise in base alle loro dimensioni fisiche in particelle di sabbia, limo e argilla, che condizionano le reazioni sia fisiche che di superficie. La distribuzione granulometrica influisce, ad esempio, sulla struttura e aggregazione, porosità, ritenzione idrica, potenziale redox e apporto di nutrienti del suolo. Tuttavia, anche la natura dei costituenti del suolo è fondamentale nella definizione delle sue proprietà. La fase solida del suolo, sia organica che minerale, è una miscela complessa di componenti inorganici e organici, la cui separazione può essere spesso ostacolata da agenti cementanti. I silicati, gli ossidi e i carbonati formano la maggior parte della matrice solida inorganica del suolo, mentre gli organismi viventi, residui organici, sia non decomposti che decomposti, e i materiali organici umificati più resistenti rappresentano le componenti solide organiche.

Grazie alla loro elevata superficie specifica e alla presenza di siti carichi, le sostanze umiche e i minerali argillosi rappresentano la principale fase con capacità di trattenere e fornire sostanze nutritive e, insieme ai carbonati, la maggiore capacità tampone contro possibili variazioni di pH

dei terreni. Inoltre, questa varietà di costituenti del suolo e le loro dimensioni dei pori forniscono nicchie ambientali per un'enorme varietà di microrganismi presenti nel terreno e, più in generale, per ospitare la maggior parte della biodiversità terrestre. È stato riportato che, per quanto riguarda i soli batteri, un cucchiaino da tè di suolo produttivo contiene generalmente 10^8 - 10^9 cellule batteriche (Kennedy, 1999). Una tale quantità di organismi viventi nel suolo non sarebbe possibile in assenza di acqua. L'acqua guida, infatti, molti dei processi che avvengono nel suolo e la soluzione del suolo svolge un ruolo importante per la vita che esso supporta (piante, mesofauna e microrganismi). Inoltre, il suolo svolge un ruolo importante nel ciclo biogeochimico degli elementi (C, N, P e così via) influenzando la loro distribuzione tra atmosfera, ecosistemi terrestri e marini, nonché il tasso del loro flusso tra i diversi ecosistemi.

Le numerose proprietà del suolo consentono di svolgere **molte importanti funzioni** (Tabella 1) tra le quali si possono evidenziare: (i) produzione di alimenti, legno e fibre; ii) filtrazione, degradazione e trasformazione di sostanze organiche e nutrienti; iii) presenza e conservazione di pool di biodiversità; (iv) piattaforma per la maggior parte delle attività umane; v) fornitura di materie prime; vi) stoccaggio del carbonio e dei nutrienti; vii) conservazione del patrimonio geologico e archeologico. A sua volta, il funzionamento del suolo permette di fornire servizi ecosistemici, quindi i benefici che direttamente o indirettamente derivano dagli ecosistemi (MEA, 2005) e dalle relazioni tra il capitale naturale e i servizi prodotti (Costanza et al., 1997).

Adhikari e Hartemick (2016) hanno riportato l'analisi delle relazioni tra le proprietà del suolo e la fornitura di servizi ecosistemici di approvvigionamento, regolamentazione, servizi culturali e di sostegno, e hanno evidenziato la loro sensibilità all'uso e alla gestione del suolo. Pertanto, il mantenimento e il miglioramento della risorsa suolo a livello mondiale sono cruciali nella protezione ambientale, sostenibilità, benessere umano e sviluppo economico a livello globale.

Data l'importanza del suolo, il Dipartimento di Scienze e Tecnologie Agro-Alimentari (DISTAL) dell'*Alma Mater Studiorum* Università di Bologna presenta questo documento (*position paper*) elaborato dopo una fruttuosa discussione da parte dei membri del gruppo tematico Suolo. Gli obiettivi generali del documento sono (i) evidenziare il contributo del suolo al conseguimento dello sviluppo sostenibile nella nuova strategia europea di crescita (sezione 2) e (ii) individuare le principali sfide che riteniamo cruciali per la futura crescita dell'Europa e le modalità su come affrontarle (sezione 3).

Tabella 1. Le principali proprietà del suolo legate alle funzioni del suolo (modificato da Adhikari e Hartemink, 2016)

Proprietà del suolo	Produzione di biomassa			Stoccaggio, filtrazione e trasporto di nutrienti e acqua				Ospitare biodiversità				Piattaforma per le attività umane		Materiale grezzo	Pool di carbonio	Conservare il patrimonio geologico e archeologico	
	Approvvigionamento di cibo, combustibile e fibre	Regolazione del sequestro di carbonio	Contributo all' estetica del paesaggio	Regolazione della disponibilità di acqua	Regolazione dell' erosione e controllo delle alluvioni	Regolazione della purificazione dell' acqua	Supporto al ciclo dei nutrienti	Approvvigionamento di diversità genetica	Regolazione dell' impollinazione delle colture, controllo dei parassiti e delle malattie	Supporto all' alterazione dei minerali e formazione di suolo	Supporto all' habitat del (micro-)biota	Contributo al tempo libero/ecoturismo	Supporto per l' habitat umano	Approvvigionamento di materiali minerali ed organici	Regolazione delle emissioni di gas (clima)	Contributo alla conoscenza, educazione,	Contributo e conservazione all' eredità culturale
Carbonio organico	x	x	X	x	x		x	x	x		X		x	x	x		
Sabbia, limo, argilla, scheletro	x	x		x	x	x	x		x			x	x	x	x	x	x
pH	x					x	x	x	x								x
Profondità				x	x	x											x
Densità apparente	x		x			x					X				x	x	
Capacità di acqua disponibile	x			x	x	x									x	x	
Capacità di scambio cationico	x						x										x
Conduttività elettrica	x		x				x										x
Porosità	x			x											x	x	
Conduttività idrica	x			x	x	x									x	x	
(micro-) biota	x	x				x	x	x	x	x	X				x	x	
Struttura, aggregazione	x			x	x				x	x					x	x	
Temperatura	x						x	x	x								x
Mineralogia							x	x	x				x				x
Strati profondi	x			x	x												x

2. MANTENIMENTO E MIGLIORAMENTO DELLE FUNZIONI DEL SUOLO NELL'ERA DI SFRUTTAMENTO INTENSIVO DEGLI ECOSISTEMI AGRO-FORESTALI – STATO INTERNAZIONALE E PROSPETTIVA

Il recente messaggio del Presidente della Commissione europea, Ursula von der Leyen, è stato forte e chiaro: *"per l'Europa diventare il primo continente al mondo a impatto climatico zero preservando le risorse naturali è la più grande sfida e opportunità dei nostri tempi"*. Si tratta di intraprendere un'azione decisiva ora, di essere più ambiziosi e la necessità di investire in innovazione e ricerca, ridisegnare la nostra economia e aggiornare la nostra politica produttiva (von der Leyen, 2019). La nuova strategia dell'UE per la crescita mira a trasformare l'UE in una società equa e prospera, con un'economia efficiente sotto il profilo delle risorse e competitiva, in cui non vi siano emissioni nette di gas a effetto serra (Commissione Europea, 2019). Le Nazioni Unite riconoscono anche la necessità di un cambiamento nelle strategie di crescita per il raggiungimento di uno sviluppo sostenibile e l'eliminazione della povertà in tutte le sue forme e dimensioni (Nazioni Unite, 2015). Questa è la grande sfida globale annunciata dall'ONU.

Tra i 17 *Sustainable Development Goals* (SDGs) formulati dall'ONU per il periodo 2015-2030 (Nazioni Unite, 2015), almeno 9 sono fortemente legati alla gestione della risorsa suolo: porre fine alla povertà in tutte le sue forme (SDG 1); porre fine alla fame, raggiungere la sicurezza alimentare, migliorare la nutrizione e promuovere la sostenibilità dell'agricoltura (SDG 2); garantire una vita sana e promuovere il benessere per tutti a tutte le età (SDG 3); garantire la disponibilità e la gestione sostenibile dell'acqua e dei servizi igienico-sanitari per tutti (SDG 6); garantire l'accesso all'energia a prezzi accessibili e affidabili, sostenibile e moderna per tutti (SDG 7); rendere le città e gli insediamenti umani inclusivi, sicuri, resilienti e sostenibili (SDG 11); garantire modelli di consumo e produzione sostenibili (SDG 12); adottare misure urgenti per combattere i cambiamenti climatici e le loro conseguenze (SDG 13); proteggere, ripristinare e promuovere l'uso sostenibile di ecosistemi terrestri, gestire in modo sostenibile le foreste, combattere la desertificazione, fermare e invertire il degrado dei suoli e fermare la perdita di biodiversità (SDG 15).

In queste sfide ambiziose e globali, il suolo e il mantenimento, o il miglioramento della sua funzionalità, sono cruciali. Il suolo è attualmente soggetto a una serie di processi di degradazione. La capacità del suolo di fornire funzioni deve essere protetta a causa della loro importanza socioeconomica e ambientale. Queste sfide diventano più rilevanti tenendo presente che la

formazione del suolo è un processo estremamente lento: sono necessari da 100 a oltre 1000 anni per formare 1 cm di suolo, a seconda del clima, della vegetazione e di altri fattori pedogenetici (Campeggi Arbustain et al., 2008). Quindi, il suolo deve essere considerato essenzialmente come una risorsa non rinnovabile. La protezione della funzionalità del suolo dai vari eventi che lo minacciano è una priorità per l'umanità, altrimenti la si espone al pericolo per il suo benessere e la sua sopravvivenza.

La necessità di **proteggere il suolo e le sue funzioni** è ampiamente condivisa a livello internazionale. Esiste, infatti, un aumento della consapevolezza che l'uso improprio e/o la cattiva gestione del suolo, che hanno caratterizzato gli agro-ecosistemi forestali dei paesi più sviluppati degli ultimi decenni, insieme agli eventi più recenti legati ai cambiamenti climatici, rappresentano un pericolo reale per il corretto funzionamento dei suoli. Diversi documenti pubblicati negli ultimi anni dalle organizzazioni internazionali lo sottolineano. Questi includono: "*Revised World Soil Charter*" – "Carta del suolo mondiale rivista" (FAO, 2015), "*Voluntary Guidelines for Sustainable Soil Management*" - "Linee guida volontarie per la gestione sostenibile del suolo" (FAO, 2017), "*Threats to soils: global trends and perspectives*" - "Minacce per la gestione sostenibile del suolo" (Nazioni Unite, 2017), "*Opportunities for soil sustainability in Europe*" – "Opportunità per la sostenibilità del suolo in Europa" (EASAC, 2018). Questi documenti evidenziano le minacce a cui sono sottoposte le funzioni dei suoli soggetti a pratiche di gestione insostenibili, e riportano raccomandazioni e suggerimenti di azioni future per affrontarli (Tabella 2).

Il mantenimento e il miglioramento della funzionalità del suolo richiedono azioni a tutti i livelli: da parte dei governi e di autorità pubbliche, organizzazioni internazionali, comunità scientifica, settore privato, gruppi, società, e tutti gli individui che utilizzano o gestiscono il suolo (FAO, 2015; Commissione europea, 2019).

La comunità scientifica, collaborando, può contribuire al raggiungimento di un mondo neutro nel confronto del degrado del suolo nel contesto dello sviluppo sostenibile. La comunità scientifica ha infatti un ruolo chiave nel miglioramento e sviluppo di strategie di gestione sostenibile del suolo (SSM) in grado di mantenere o potenziare i servizi di approvvigionamento, di supporto, di regolazione e culturali forniti dal suolo, senza comprometterne in modo significativo le funzioni che attivano tali servizi o la biodiversità (FAO, 2015).

Tabella 2. Minacce al suolo, cause e loro conseguenze sulle funzioni del suolo, e principali raccomandazioni tecniche e suggerimenti dalle organizzazioni internazionali

Minacce	Principali cause	Esempi di conseguenze negative sulle funzioni del suolo	Esempi di raccomandazioni e suggerimenti
Perdita di sostanza organica	Lavorazione profonda, monocoltura, assenza di pratiche di fertilizzazione, pratiche di agricoltura intensive, rimozione dei residui organici, incendi, drenaggio dei suoli organici, disturbo del soprassuolo forestale	Peggioramento della qualità del suolo e della struttura, aumento dell'erosione, compattazione, riduzione della capacità idrica del suolo, riduzione della fertilità del suolo, emissioni di C in atmosfera, perdita di biodiversità	Uso di ammendanti organici come compost, uso di biomasse ricche di carbonio, gestione dei residui colturali agrari e forestali, pratiche di reduced o no-tillage, copertura permanente dei suoli, evitare gli incendi
Sbilancio dei nutrienti	Gestione inappropriata della nutrizione delle piante, grado di reazione del suolo anomalo, errata fertilizzazione organica o minerale, uso eccessivo di fertilizzanti inorganici	Bassa produzione di cibo, fibre, mangimi e legname, bassa qualità dei prodotti alimentari, maggiore incidenza di malattie con conseguente ulteriore perdita di prodotti, peggioramento della qualità delle risorse idriche superficiali e sotterranee a causa della lisciviazione di eccesso di nutrienti	Bilanciare le fertilizzazioni minerali e organiche, promuovere l'uso di prodotti innovativi come fertilizzanti a rilascio lento e controllato, gestire il momento e il tasso di fertilizzazione, dovrebbero essere utilizzati test del suolo e dei tessuti vegetali, fissazione biologica, miglioramenti della salute del suolo, massimizzazione del ritorno dei nutrienti per le piante al suolo attraverso residui colturali e letame
Erosione	Deforestazione, mancanza di copertura del suolo, Perdita di sostanza organica, sovrapascolo, lavorazione del suolo, incendio	Perdita degli strati superficiali del suolo, perdita di pool di nutrienti minerali e organici, peggioramento della qualità dell'acqua, diffusione ambientale di contaminanti, interrimento di bacini e laghi, alterazione della composizione del paesaggio e della fisionomia della	Gestione del contenuto di materia organica del suolo, colture di copertura, pacciamatura, lavorazione minima, semina diretta e senza lavorazione, l'approccio agro-ecologico potrebbe essere incoraggiato, riforestazione, soppressione degli incendi mediante la creazione di una rete su larga scala

SOIL: Position paper DISTAL

Minacce	Principali cause	Esempi di conseguenze negative sulle funzioni del suolo	Esempi di raccomandazioni e suggerimenti
		vegetazione, dell'idrologia e della biodiversità	tra individui, organizzazioni e agenzie
Perdita di biodiversità	Pratiche gestionali intensive, inquinamento, perdita di sostanza organica del suolo, mancanza di rotazione colturale, uso di pesticidi, uso di alti livelli di fertilizzazione	Alterazione del ciclo degli elementi nel sistema suolo-pianta-atmosfera, riduzione della capacità di autodepurazione del suolo, effetto negativo sul sequestro del C del suolo e, in generale, sul ciclo dei residui organici, effetto dannoso sulla regolazione di parassiti e malattie	Dovrebbero essere incoraggiati gli ammendamenti organici, mantenere un equilibrio ottimale dei nutrienti, ridurre al minimo i disturbi del suolo, evitare/limitare la salinizzazione, la gestione integrata o organica dei parassiti
Acidificazione	Effetto del clima, depositi di zolfo e azoto, pratiche gestionali intensive, uso eccessivo di fertilizzanti a base di ammonio, incendi di foreste	Bassa produzione colturale e crescita delle piante, tossicità dell'alluminio, perdita di capacità tampone e di scambio cationico del suolo, riduzione della capacità di fissazione dell'azoto	Uso di ammendanti adeguati come calce, uso bilanciato di fertilizzanti e ammendanti organici, uso adeguato di fertilizzanti acidificanti, uso di colture o cultivar tolleranti
Salinizzazione Alcalinizzazione	Elevato tasso di evapotraspirazione dell'acqua, intrusione di acqua di mare interna, irrigazione e fertilizzazione improprie, effetto del cambiamento climatico, salinizzazione primaria (alterazione di roccia madre ricca di sali, deposizione atmosferiche saline secche provenienti dal mare)	Riduzione della germinazione dei semi, della crescita e della produzione delle piante, episodi di tossicità, squilibrio dei nutrienti del suolo, effetti dannosi sulla struttura del suolo in presenza di eccesso di sodio	Gestione della qualità dell'acqua di irrigazione, migliorare l'efficienza dell'uso dell'acqua per l'irrigazione, desalinizzare l'acqua, drenare adeguatamente il suolo, migliorare la gestione dei fertilizzanti minerali solubili in particolare nella coltivazione in serra, utilizzare piante coltivate resistenti al sale
Contaminazione	Emissioni industriali e dispersione di materiali contaminati, inadeguata gestione/smaltimento di rifiuti	Effetto negativo generale sulle proprietà chimiche, fisiche e biologiche del suolo, sicurezza dei prodotti alimentari, qualità dell'acqua	Stabilire i livelli di fondo, i governi potrebbero implementare regolamenti specifici, dovrebbero essere applicate procedure di

SOIL: Position paper DISTAL

Minacce	Principali cause	Esempi di conseguenze negative sulle funzioni del suolo	Esempi di raccomandazioni e suggerimenti
	di varia origine, uso improprio di agrofarmaci		valutazione del rischio e di ripristino, dovrebbe essere prestata un'attenzione adeguata a ridurre i carichi di contaminanti
Peggioramento della struttura (incluso compattazione e impermeabilizzazione del suolo)	Cambio d'uso (da regioni boschive a agricole), pascoli, calpestio di animali in combinazione con pascolo eccessivo sono le principali cause di compattazione del suolo, espansione urbana caotica come causa principale dell'impermeabilizzazione del suolo	La compattazione riduce la porosità del suolo, con gravi conseguenze per i processi di trasporto idraulico, del gas e del calore, nonché per lo stoccaggio e disponibilità dei nutrienti. Le principali conseguenze del declino della struttura sono l'erosione, i fenomeni di smottamento, la perdita di nutrienti, l'inquinamento dell'acqua e dell'aria e l'incertezza della resa colturale. L'impermeabilizzazione del suolo colpisce i suoli fertili, mette a rischio la biodiversità, aumenta il rischio di inondazioni e scarsità d'acqua e contribuisce al riscaldamento globale	Pratiche sostenibili di gestione del suolo (ad es. uso a lungo termine di aratura ridotta o conservativa). Pianificazione dell'uso del suolo basata sulla valutazione del territorio, politiche adeguate, legislazione, schemi di finanziamento, strumenti di pianificazione locale

3. NUOVE RICERCHE, NUOVI DATI, NUOVI SVILUPPI

Il suolo dovrebbe essere considerato come un sistema integrato complesso fatto di componenti abiotiche e biotiche. Per queste ragioni, la scienza del suolo richiede un *know-how* specifico derivante dalla **combinazione di diverse competenze** di pedologi, fisici del suolo, chimici del suolo, biochimici, microbiologi, selvicoltori e agronomi. Inoltre, la connessione tra il territorio in cui si sviluppa un suolo e le risultanti proprietà chimiche, biochimiche e fisiche del suolo regolano sia la vocazione del suolo stesso che la resilienza rispetto all'uso specifico e alla gestione. Pertanto, esiste un legame molto stretto tra territorio, proprietà del suolo, funzioni del suolo, servizi ecosistemici e sviluppo sostenibile. Le migliori pratiche di gestione per la conservazione del suolo devono essere sviluppate nel contesto specifico dell'agricoltura e della zootecnia (ad esempio, gestione intensiva o estensiva), della selvicoltura (ad esempio, gestione e politica dei terreni montani) e in terreni naturali (ad esempio, zone umide, torba, alta quota praterie). Per questo motivo, il DISTAL è un luogo ideale in cui la valutazione del suolo può essere condotta, sulla base di una visione globale e di soluzioni efficaci per la sua conservazione.

La comprensione delle caratteristiche e della funzionalità del suolo è ostacolata dalla nostra capacità di valutare tutte le componenti di questo complesso sistema. Pertanto, **i sistemi integrati di osservazione** sono considerati una sfida chiave per sostenere la valutazione del suolo e fornire soluzioni efficaci per la sua conservazione. Gli scienziati del DISTAL affrontano questa sfida condividendo laboratori altamente qualificati, prove di campo a lungo termine, con metodi e attrezzature all'avanguardia per caratterizzare le diverse componenti del sistema suolo. Considerando che anche il sistema suolo è altamente variabili nel tempo e nello spazio, particolare attenzione è rivolta anche alle misurazioni standardizzate condotte in siti sperimentali a lungo termine e in diverse condizioni agro-ambientali. Tra alcuni di essi, evidenziamo che, dagli anni '60, il DISTAL è responsabile di una delle temporalmente più lunghe banche dati sull'effetto sul suolo e sulle colture di concimazioni minerali e organiche, e rotazioni delle colture (Giacchini et al., 2009; Giacometti et al., 2014; Triberti et al., 2016). Inoltre, è stato sviluppato un nuovo metodo geofisico non invasivo per la valutazione delle interazioni suolo-pianta (Stevanato et al., 2019). Questo metodo ha mostrato risultati eccellenti in molte condizioni e sarà in grado di fornire un nuovo sistema di osservazione per sostenere la gestione del suolo in diverse condizioni agro-ambientali.

Questo approccio interdisciplinare e queste attrezzature da laboratorio e di campo all'avanguardia forniscono la base per far progredire le nostre attuali conoscenze sulle componenti e funzioni del sistema suolo e sullo sviluppo di soluzioni innovative per supportare la gestione del suolo nei futuri sistemi agro-forestali. Secondo questa visione dei ricercatori e degli scienziati del suolo del DISTAL, le sfide più rilevanti riguardano:

- La perdita di carbonio organico;
- Biotecnologie per la conversione degli scarti agroalimentari in bio-prodotti eco-efficienti;
- Biodiversità del suolo: conservazione e ripristino;
- I sistemi agroecologici a supporto del *farm to fork* e le politiche degli ecosistemi e della biodiversità;
- Verso un sistema *farm to fork* suolo-sostenibile e suolo-adatto;
- Ripristino del suolo forestale;
- Strumenti politici di nuova generazione per la conservazione del suolo e il sequestro del carbonio;
- Il suolo come risorsa energetica per strutture rurali sostenibili;
- Metodologie e approcci innovativi per l'analisi multicriteriale, il monitoraggio e la pianificazione del paesaggio.

La descrizione dettagliata di ogni nuova sfida, nonché la relativa portata e gli impatti previsti sono riportati nella Tabella 3.

Tabella 3. La visione del DISTAL per le nuove soluzioni innovative a supporto della gestione del suolo nei futuri sistemi agroforestali.

Tematica	LA PERDITA DI CARBONIO ORGANICO
Sfida	Un contrasto efficace alla perdita di carbonio organico del suolo (SOC) richiede una profonda conoscenza dei fattori di controllo di questo processo molto complesso (Zdruli et al., 2004). Questi fattori agiscono sul SOC svolgendo un ruolo diverso a seconda della scala dello studio: globale, continentale, regionale, ecc. (Viscarra Rossel et al., 2019). Su scala globale, il principale fattore che controlla la distribuzione e la dinamica del SOC è il clima (Lal, 2004). Fino ad ora, i fattori climatici sono stati ritenuti stabili, ma oggi questa affermazione è chiaramente cambiata. Su scala continentale, e ancora più specificamente su scala regionale, dove il clima agisce in modo uniforme, i controlli specifici per regione influenzano le distribuzioni e dinamiche locali del SOC. Di conseguenza, quando questa specificità regionale non è adeguatamente considerata, il rischio reale è quello di diminuire gli sforzi globali per contenere le perdite SOC. In altre parole,

	<p>mentre i problemi sono su scala globale, le soluzioni devono essere trovate a livello locale.</p> <p>I ricercatori sono chiamati a trovare soluzioni, a contrastare i processi che guidano il declino della SOM, sia rispondere al paradigma della sostenibilità basato su aspetti sociali, economici e ambientali. Tra le diverse soluzioni possibili, stimolare il recupero e il riciclo nel terreno di biomasse ricche di carbonio organico (OC) e nutrienti provenienti dalle filiere di recupero dei rifiuti organici è la più promettente. Nelle società moderne, caratterizzate da un alto grado di urbanizzazione, i rifiuti organici rappresentano una potenziale fonte di OC e di sostanze nutritive. Tuttavia, per promuovere un razionale, efficace e sicuro riciclo dei rifiuti organici, è necessario modificare i nostri modelli di sviluppo passando dall'economia lineare a quella circolare. Nelle quattro fasi del modello di sviluppo lineare (prendere, fare, usare e smaltire), la fase di smaltimento ostacola la naturale chiusura del ciclo del materiale: l'OC residuo e i nutrienti nei rifiuti vengono collocati in discarica o inceneriti e non possono tornare nel terreno. Al contrario, il modello di economia circolare comporta lo sviluppo di nuove filiere produttive dedicate al recupero di materia organica e nutrienti dagli scarti, piuttosto che il suo smaltimento, e la conversione in ingredienti e prodotti a base biologica. Nel modello di economia circolare, la quarta fase è attivata sul riciclo e permette il recupero delle risorse come fertilizzanti, promuovendo la chiusura dei cicli del C organico e delle sostanze nutritive nel suolo.</p> <p>Attualmente le tipologie di biomasse prodotte più diffuse sono: fanghi di depurazione (SS), provenienti dagli impianti di trattamento delle acque reflue urbane, e la frazione organica proveniente dalla raccolta differenziata dei rifiuti solidi urbani (RSU). La produzione di SS dell'Unione Europea (UE) nel 2008 ha raggiunto circa 10 milioni di tonnellate (Mt) di sostanza secca (Milieu, 2008). In Italia, Eurostat (2014) ha stimato una produzione di circa 1,1 Mt di sostanza secca. Un sondaggio di Utilitalia (2017) ha riportato che oltre il 50% dei SS analizzati aveva un contenuto di OC > 30%, di N > 4,5% e di P > 1,5%. Questi rifiuti sono di grande interesse agronomico come vera e propria fonte di OC e nutrienti. La frazione organica dei RSU (FORSU) prodotto annualmente nell'UE è stimata intorno a 88 Mt, che è salita a circa 96 Mt nel 2020. Questa frazione contiene principalmente carboidrati, proteine e lipidi ed è una buona materia prima per il compostaggio e i processi di digestione anaerobica. Un compost tipico derivato da trattamento della FORSU ha un contenuto di OC del 22%, di N 2,2% e C/N 10 (Grigatti et al., 2014). Questi materiali sono agronomicamente idonei come fonte di OC e nutrienti, che possono limitare il progressivo degrado del suolo e consentire la produzione sostenibile di colture.</p> <p>La quantità di rifiuti prodotti annualmente e potenzialmente disponibili suggerisce l'opportunità di un piano sostenibile e conveniente per il recupero e il riciclo di questi materiali nei suoli agricoli (Clapp et al., 2007). Tuttavia, persistono ancora molti dubbi sul riciclo agronomico di queste biomasse, legati al loro potenziale contenuto di contaminanti (EFAR, 2018). Il contenuto di elementi potenzialmente tossici, contaminanti organici, micro e nanoplastiche e microrganismi sono gli aspetti critici da affrontare un uso agronomico sicuro di queste biomasse.</p>

Obiettivo	<p>Gli obiettivi principali sono: recuperare l'OC, che riduce il declino della sostanza organica del suolo (SOM), e recuperare i nutrienti, principalmente N e P, al fine di ridurre la nostra dipendenza dai fertilizzanti minerali ottenuti impiegando risorse non rinnovabili. Solo in questo modo si può contribuire allo sviluppo di sistemi agricoli più sostenibili. Abbiamo a che fare con materiali che sicuramente hanno caratteristiche agronomiche significative insieme a potenziali contenuti di sostanze indesiderabili. Pertanto, la soluzione non è contrastare l'uso di questi materiali in agricoltura, applicando semplicemente il principio di precauzione, ma piuttosto dotandoci di soluzioni legislative che, intervenendo ove necessario, garantiscano la sicurezza del riciclo di queste biomasse in agricoltura. La valorizzazione delle risorse disponibili nell'area di coltivazione dovrebbero trovarsi all'interno dell'area stessa dei processi produttivi. Tutto ciò può anche aumentare la sostenibilità ambientale del riciclo dei rifiuti, tenendo conto dei fattori regionali che regolano le dinamiche SOC al fine di massimizzare gli sforzi nel contrasto delle perdite SOC.</p>
Impatto	<p>Gli impatti attesi sono:</p> <ul style="list-style-type: none"> - tecnologie in grado di migliorare la qualità delle biomasse dal punto di vista delle loro sicurezza e proprietà agronomiche; - protocolli analitici che garantiscono la qualità dei fertilizzanti ottenuti riciclando i rifiuti organici; - pianificare ulteriori prove sul campo a medio e lungo termine per valutare l'effetto di questi materiali sulle proprietà dei suoli e sulla qualità dei prodotti alimentari e non ottenuti; - individuazione dei fertilizzanti organici più idonei e loro protocollo di distribuzione ottimale, da utilizzare in alternativa ai fertilizzanti minerali; - riduzione della lisciviazione dell'azoto e dell'inquinamento delle falde; - riduzione delle emissioni gassose di N (NOx) in atmosfera; - aumento della salute del suolo e della diversità biologica; - miglioramento della fertilità del suolo e della capacità di ritenzione idrica; - promozione dell'economia circolare con l'utilizzo di rifiuti prodotti in loco; - mitigazione dei cambiamenti climatici, attraverso il miglioramento del sequestro del carbonio nel suolo.
Tematica	<p>BIOTECNOLOGIE PER LA CONVERSIONE DEI RIFIUTI AGRICOLI IN PRODOTTI BIO-BASED ECO-EFFICIENTI</p>
Sfida	<p>L'agricoltura e i settori legati alla produttività agroalimentare sono punti focali nell'economia dell'UE. La continua crescita della popolazione, la ridotta disponibilità di terreni coltivati e coltivabili e di risorse idriche, la crescente domanda di produzione di biomasse (ad esempio come materia prima per i biocarburanti) e il continuo aumento delle emissioni globali di CO₂ con il suo impatto sui cambiamenti climatici, sono tutti aspetti che richiedono urgentemente azioni innovative sull'uso del suolo, sulla produttività agricola e sui flussi dei sottoprodotti e dei rifiuti. Attualmente essi non sono adeguatamente gestiti sia in termini ambientali che economici.</p> <p>I digestati generati, ad esempio, dalla digestione anaerobica dei rifiuti richiedono un uso sostenibile. La gestione dei digestati è una sfida, in particolare nei sistemi di produzione industriale dove possono essere fonti di bioprodotto di alto valore. I digestati dai rifiuti agricoli sono frequentemente utilizzati come fertilizzanti del</p>

	<p>suolo, ma sono anche una fonte di gas serra (GHG) sia durante il loro stoccaggio che quando sono sparsi in campo. Il rilascio di ammoniaca e la lisciviazione dei nitrati è ancora un punto critico rispetto alle emissioni di N₂O e CH₄ dai digestati. I funghi sono una risorsa attrattiva che permette la biotrasformazione dei rifiuti agro- e urbani in bioprodotto ad alto valore aggiunto. La crescita del micelio dei funghi migliora la degradazione delle macromolecole più resistenti (lignina, emicellulosa e cellulosa) e dei contaminanti (pesticidi, materie plastiche, ecc.) consentendo una notevole riduzione del volume del rifiuto residuo. Inoltre, il micelio che colonizza il substrato riduce le emissioni di gas serra e le perdite di C. Inoltre, esso è un nutriente per una vasta gamma di funghi e batteri che influenzano la diversità e composizione delle comunità microbiche, aumentando così la biodiversità dei rifiuti trasformati per il loro riutilizzo nel suolo. Ciò potrebbe avere anche una potenziale protezione delle piante contro le malattie fungine trasmesse da popolazioni edafiche. I funghi possono essere un'opportunità per nuovi processi, consentendo usi innovativi di questi materiali anche al di fuori del settore agricolo.</p> <p>Inoltre, l'uso di lieviti non convenzionali come <i>Yarrowia lipolytica</i> può rappresentare una strategia per valorizzare i sottoprodotti e gli scarti agroindustriali. Infatti, <i>Y. lipolytica</i> può essere utilizzato per valorizzare il siero di latte, ad alto impatto ambientale, in biomasse microbiche bio-based sicure e innovative da utilizzare nel settore caseario come coadiuvanti funzionali, diminuendo BOD e COD del siero di latte residuo e accelerando il profilo di maturazione del formaggio risultante.</p>
Obiettivo	<p>L'obiettivo è quello di sfruttare al massimo le potenzialità dei rifiuti agro- e urbani per creare una nuova catena di prodotti tali da garantire benefici ambientali ed economici che si basano sull'innovazione tecnologica:</p> <ul style="list-style-type: none"> i) Bioconversione dei rifiuti in nuovi sottoprodotti a base biologica (es. recupero di biopolimeri, nutrienti, enzimi); ii) Valutazione del potenziale non convenzionale dei rifiuti per la produzione di funghi a basso costo; iii) Uso di substrati esausti come fonte di C organico e mitigazione dell'impatto di malattie del suolo in agricoltura.
Impatto	<p>Gli impatti attesi sono:</p> <ul style="list-style-type: none"> a) Ridurre al minimo l'impatto dell'agricoltura e dell'industria di trasformazione alimentare sull'ambiente riducendo la quantità di rifiuti che non vengono adeguatamente trattati e riducendo le materie prime e l'utilizzo di combustibili fossili; b) L'impatto ambientale complessivo e le emissioni di gas serra (metano, N₂O e CO₂) saranno ridotti lungo le nuove catene del valore (<i>value chains</i>); c) Produrre benefici economici attraverso le nuove opportunità di business generate dalla commercializzazione dei nuovi prodotti.
Tematica	BIODIVERSITÀ DEL SUOLO: CONSERVAZIONE E RIPRISTINO
Sfida	<p>Secondo la definizione adottata dalla Convenzione sulla Diversità Biologica (CBD), la biodiversità è "la variabilità di tutte le origini esistenti tra gli organismi viventi, ecosistemi terrestri, marini e altri ecosistemi acquatici dei quali complessi ecologici fanno parte; ciò include la diversità all'interno delle specie, tra specie ed ecosistemi". La biodiversità del suolo ha un ruolo significativo</p>

	<p>considerando che i suoli presentano oltre un quarto di tutti le specie viventi sulla Terra. Tuttavia, secondo la FAO, la perdita di biodiversità del suolo è considerata una delle principali minacce a questo ecosistema in molte regioni del mondo (cfr. tabella 2). Nonostante gli enormi progressi scientifici compiuti finora, la protezione e il monitoraggio delle risorse del suolo a livello nazionale e globale affrontano sfide complesse, limitando la progettazione e l'implementazione di politiche in materia. La biodiversità del suolo comprende vertebrati, invertebrati, anellidi, molluschi, nematodi, virus, batteri, funghi, licheni, briofite e piante che forniscono una moltitudine delle funzioni e dei servizi ecosistemici a tutti diversi aspetti sociali, economici, e benefici ambientali. I servizi essenziali forniti da questa ricca diversità sotterranea include il sostegno all'agricoltura e alla sicurezza alimentare; la regolazione dei cicli nutrizionali; controllo del ciclo della sostanza organica del suolo; l'attuazione del sequestro del carbonio nel suolo; la regolamentazione delle emissioni di gas a effetto serra (GHG); la modifica della struttura fisica del suolo e del regime idrico del suolo; il miglioramento della quantità ed efficienza dell'acquisizione di acqua e delle sostanze nutritive dalla vegetazione; oltre a influenzare la salute delle piante, degli animali e dell'uomo. La comunità microbica del suolo rappresenta il più grande serbatoio di diversità biologica nel mondo (Compant et al., 2019). La rizosfera è la regione del suolo più ricca di microrganismi dove essi sono sotto il controllo selettivo delle radici delle piante. Le piante espellono fotosintetati e metaboliti secondari nella rizosfera capaci di inibire o stimolare l'attività di specifici microrganismi. Le piante possono anche secernere quorum di composti sensing-interferenti che consentono la manipolazione dell'espressione genica nella comunità del suolo. L'insieme del genoma del microbioma della rizosfera è molto più grande di quello della pianta e si indica come "il secondo genoma vegetale" (Berendsen et al., 2012). Questo genoma ha una funzione cruciale per la pianta, che va dal reperimento di nutrienti, all'aumento della difesa, alla capacità di contrastare gli agenti patogeni. La popolazione della rizosfera è composta non solo da batteri e funghi, che sono il microbiota dominante, ma anche di Archaea, Protisti e virus. Il numero di virus, ad esempio, sembra essere sottostimato dalle tecniche di sequenziamento massiccio del suolo attualmente utilizzate (Rodriguez et al., 2019; Pascale et al., 2020).</p> <p>L'equilibrio all'interno dei diversi componenti del microbioma del suolo è strettamente correlato alla salute della pianta, alla fertilità del suolo e a qualsiasi fattore che ostacoli questo equilibrio è un rischio per la qualità del suolo e funzione. La conservazione dell'integrità del microbioma del suolo può essere compromessa da diversi fattori antropogenici come antibiotici, metalli pesanti, pesticidi e concimazioni chimiche (Christou et al., 2017; Woolhouse et al., 2015; Zhang et al., 2018) e nuove soluzioni devono essere esplorate per contrastare queste minacce.</p>
Obiettivo	<p>I ricercatori dovrebbero essere consapevoli degli obiettivi di diversità microbica del suolo condivisi a livello mondiale e dovrebbero attuare una ricerca volta a comprendere le interazioni tra i vari attori dell'ecosistema suolo, lo sviluppo di tecniche agronomiche sostenibili, lo sviluppo di metodologie di biorisanamento per la gestione di suoli inquinati, la conservazione della biodiversità attraverso la riduzione dell'erosione genetica vegetale, microbica e animale e la diffusione di politiche agricole sostenibili per dare un contributo importante a tutte le aree di</p>

	<p>ricerca che mirano a salvaguardare gli ecosistemi e consentire alle generazioni future di vivere in equilibrio con la natura e non a scapito della natura.</p> <p>Le pratiche agronomiche possono anche alterare l'equilibrio del microbiota del suolo e sono necessari studi per chiarire le migliori pratiche per la conservazione del suo microbiota, non solo per comprendere l'impatto sui diversi taxa del suolo, ma per comprendere l'impatto sulle loro funzionalità. Inoltre, il microbioma del suolo è un attore chiave per la conservazione della salute del suolo in condizioni ambientali mutevoli e il ricercatore deve essere consapevole che la conservazione dell'integrità del microbioma del suolo è un obiettivo prioritario nella conservazione dell'intero ambiente. A tal fine, devono essere selezionati e monitorati gruppi microbici target essenziali per la funzionalità del suolo, nonché l'intera composizione del microbioma e la biodiversità attraverso strumenti di sequenziamento avanzati. Inoltre, sono necessarie ulteriori ricerche su tutti i taxa che non sono ancora coltivabili o che sono presenti in piccole proporzioni perché potrebbero essere importanti per mantenere l'equilibrio dell'ecosistema.</p>
Impatto	<p>Il concetto di Planetary Boundaries (Rockström et al., 2009) ha mostrato chiaramente come la perdita di biodiversità abbia già raggiunto un punto drammatico. La teoria affermava che "trasgredire uno o più confini planetari può essere deleterio o addirittura catastrofico" su scala planetaria. Questo concetto chiarisce l'importanza e l'impatto delle misure che a livello mondiale devono essere attuate per proteggere, preservare e ripristinare la biodiversità. La protezione degli organismi del suolo garantirà lo stoccaggio e il rilascio di carbonio, contribuendo a regolare i gas serra e quindi con un impatto sui sistemi climatici globali, influenzando anche la produttività delle colture, le risorse idriche, la sicurezza alimentare e la salute umana. Inoltre, la biodiversità degli organismi del suolo garantisce il biorisanamento dell'acqua e degli inquinanti del terreno riducendo il loro impatto sugli ecosistemi e sulla salute umana, preserva la struttura del suolo e favorisce il controllo dei focolai di parassiti.</p>
Tematica	I SISTEMI AGROECOLOGICI A SUPPORTO DEL FARM TO FORK E DEGLI ECOSISTEMI E POLITICHE SULLA BIODIVERSITÀ
Sfida	<p>La maggior parte dei problemi planetari (carenza di energia, scarsità d'acqua, degrado ambientale, cambiamenti climatici, disuguaglianza economica, insicurezza alimentare, problemi sanitari, povertà, obesità e altri) sono chiaramente interconnessi e la loro soluzione richiede una nuova visione, una nuova educazione e un vero cambiamento di paradigma. La pandemia di coronavirus ha evidenziato chiaramente i legami tra salute umana, animale ed ecologica e la vulnerabilità tangibile dei sistemi agricoli e alimentari industriali come conseguenza di perdite di biodiversità e servizi ecosistemici a livello planetario.</p> <p>La strategia dell'UE Farm to Fork mira ad "accelerare la transizione verso sistemi alimentari sostenibili, per garantire che le basi economiche, sociali e ambientali della sicurezza alimentare e nutrizionale non siano compromesse per le generazioni attuali e future". Tale transizione dovrebbe essere necessariamente guidata dall'AgroEcologia, la scienza che applica concetti e principi ecologici alla progettazione e gestione di sistemi agricoli sostenibili che è strettamente legata alla necessità di ripristinare la biodiversità terrestre e marina e i servizi ecosistemici (<i>Area 7 European Green Deal call</i>).</p>

	<p>La cura del suolo è il cuore della transizione agroecologica. I suoli sono minacciati da molteplici fattori che generano effetti negativi sulle funzioni del suolo (vedi Tabella 2) e l'aumento della popolazione urbana, aggravando la fragilità del sistema alimentare, in particolare nelle grandi città.</p> <p>L'adozione di principi agroecologici è essenziale per preservare la salute del suolo e anche per contrastare i problemi socioeconomici (es. migrazione e abbandono delle terre) e la povertà che colpiscono molte aree. “Fari” (lighthouses) agroecologici, ovvero le aziende agricole gestite in modo agroecologico, in grado di dimostrare che è possibile ridurre le pratiche agricole intensive e alleviarne gli impatti sull'ambiente, sugli animali e sull'uomo, sono fortemente richieste per segnare il percorso di transizione alle comunità e ai territori. La capacità di cogliere la connettività tra sistemi agricoli e naturali è essenziale, adottando un approccio multidisciplinare e azioni sinergiche. Una strategia agroecologica completa offre il miglioramento della conservazione del suolo e della biodiversità, aumenta il sequestro e lo stoccaggio del carbonio, riduce sia l'uso di energia non rinnovabile che l'emissione di gas serra per giungere ad aziende agricole climaticamente neutre, sviluppa strategie di consociazione con specie appropriate, riduce l'uso di macchinari e pratica un pascolo razionale, valorizza di conseguenza la ricca biodiversità degli agroecosistemi, che spesso rimangono inutilizzati. Vengono intraprese azioni partecipative per controllare le minacce al suolo (ad esempio declino della sostanza organica, biodiversità, compattazione, erosione e desertificazione) nei sistemi agricoli. Strategie agroecologiche rilevanti sono la consociazione, la rotazione delle colture, l'utilizzo di colture resistenti alla siccità, i sistemi agroforestali, compresa l'integrazione degli animali nei sistemi di allevamento.</p>
Obiettivi	<p>Gli obiettivi di ricerca dovrebbero progredire con lo sviluppo di strategie agroecologiche e progetti di agroecosistema considerando:</p> <ul style="list-style-type: none"> - consociazioni con piante specifiche che possono agire come controlli biologici, attrattivi di insetti utili, servire nel miglioramento della disponibilità di nutrienti e acqua, delle condizioni fisiche del suolo, aumentare la presenza nel suolo di reti funzionali di micorrize. Una maggiore biodiversità nei sistemi agricoli e nei paesaggi circostanti genererà benefici sui prodotti agricoli e sulla comunità. In questo contesto, i composti organici volatili (COV) svolgono un ruolo importante sulla comunicazione delle piante, l'attivazione dei meccanismi di difesa, gli effetti di controllo biologico e la segnalazione tra gli organismi. Dovrebbe essere ulteriormente esplorato il potenziale dei COV come strategia sostenibile in grado di limitare l'uso di pesticidi, fertilizzanti e acqua, proteggendo la complessità del nostro ambiente e delle nostre comunità. L'agricoltura sito-specifica e l'analisi avanzata possono contribuire notevolmente a questi risultati e considerare il terroir; - la presenza di animali nei sistemi agricoli, perché sistemi silvo-pastorali, basati su principi agroecologici, che garantiscono una produzione animale sana, inoltre, ripristinano paesaggi e sono meno favorevoli alla promozione di epidemie. - strategie e sistemi di gestione agroecologica specifici per sito che contribuiscono efficacemente a preservare le risorse naturali e la biodiversità e a promuovere la capacità produttiva e la resilienza.

	<p>La promozione di strategie e sistemi agroecologici, come difensori della salute del suolo, richiede un'analisi approfondita e completa a livello territoriale, anche sociale, economico e culturale, interazioni con le comunità locali. Le comunità locali dovrebbero essere maggiormente coinvolte nei progetti e partecipare attivamente al riconoscimento, alla trasmissione e all'amplificazione del valore culturale, scientifico e pratico dell'agroecologia come efficace combinazione di strumenti per la gestione delle risorse naturali e raggiungere una produzione agricola sostenibile e cibo sano e di qualità.</p> <ul style="list-style-type: none"> - eventi partecipativi sullo sviluppo agroecologico e rurale e rafforzamento della collaborazione focalizzata sull'AgroEcologia per promuovere la creazione di un Joint Lab transfrontaliero, innovazioni dell'offerta didattica, miglioramento delle soft skills degli studenti e potenziamento della presenza dell'Università nella Società, nell'area dell'AgroEcologia (es. Participatory AgroEcology School System, PASS), anche testando, dimostrando e ampliando sistemi agroecologici.
Impatti	<p>Gli impatti attesi sono:</p> <ul style="list-style-type: none"> - I progetti e le pratiche agroecologiche basati sulla conoscenza miglioreranno il suolo, le piante, gli animali e la salute umana, l'uso efficiente delle risorse naturali, la sostenibilità e la resilienza di sistemi di produzione e sicurezza alimentare che forniscono cibo sicuro, nutriente e conveniente per tutti. - Le azioni partecipative guidate dall'AgroEcologia contribuiranno a ridurre la dipendenza sull'uso di pesticidi controversi, antimicrobici e uso di fertilizzanti e superare condizioni di " carenza animale" negli agroecosistemi. - L'approccio agroecologico, nella ricerca e nell'insegnamento sarà in grado di stimolare la formazione scientifica, la curiosità negli studenti e nelle persone, e la capacità di cogliere l'essenza dei processi, la complessità del mondo, abilità purtroppo affetta da gravi fenomeni erosivi, che l'istruzione superiore ha il dovere di contrastare. - Le azioni derivanti da questi salti culturali miglioreranno il Suolo e la Salute.
Tematica	VERSO UN SISTEMA <i>FARM TO FORK</i> SUOLO-SOSTENIBILE E SUOLO-ADATTO
Sfida	<p>L'attuale sistema agricolo e l'attività alimentare hanno ancora impatti negativi sulla qualità dell'acqua e dell'aria, sulla biodiversità e sui cambiamenti climatici, e mettono sotto pressione i suoli agricoli esacerbandone i processi di degrado (vedi Tabella 2). Una delle sfide principali della nuova strategia dell'UE per la crescita è raggiungere la sicurezza alimentare e promuovere lo sviluppo agricolo sostenibile realizzando la neutralità climatica entro il 2050. Come riportato dalla FAO, la crescita della popolazione mondiale e l'aumento della sicurezza alimentare non possono essere sostenuti dall'attuale qualità del suolo. È urgente quindi lo sviluppo di un'agricoltura sostenibile in grado di aumentare il sequestro del carbonio nel suolo, ridurre le emissioni di GHG e l'erosione del suolo, che è una delle principali minacce che portano alla perdita del suolo. La sicurezza alimentare può quindi essere raggiunta attraverso l'agricoltura sostenibile (Akpoti et al., 2019) e richiede un approccio che massimizzi le sinergie e minimizzi i compromessi tra la sostenibilità sociale, sanitaria, climatica, ambientale ed economica. Ciò può essere ottenuto attraverso la valutazione della qualità del suolo e la valutazione dell'idoneità del suolo basata sulla caratterizzazione fisica,</p>

	<p>chimica e biologica del suolo stesso e la loro analisi spaziale effettuata tramite un sistema informativo geografico e pedologico (GIS). L'agricoltura europea è nota per la produzione di alimenti sicuri, nutrienti e di alta qualità, ma anche per il paesaggio culturale ed estetico che essa produce quanto il territorio è ben gestito. Questa realtà però deve affrontare la sfida climatica ed economica per diventare lo standard globale per la sostenibilità. In questa prospettiva, la conoscenza delle specifiche condizioni pedoclimatiche e della vocazione del territorio può aiutare a identificare le migliori soluzioni per gli agricoltori (Bonfante et al., 2018) guidando le loro decisioni per massimizzare i benefici sociali ed economici ed evitare impatti climatici e ambientali negativi. La ricerca legata alla vocazione del territorio è infatti uno dei mezzi più efficaci per la tutela della qualità e della tipicità della produzione e, al tempo stesso, per limitare il degrado del suolo, per migliorare la mitigazione delle emissioni e per avere importanti ricadute sui redditi degli agricoltori, che ovviamente dipendono non solo dalle rese delle colture, ma anche dalla qualità della produzione (Costantini e Bucelli, 2008).</p>
Obiettivo	<p>Le seguenti sfide urgenti e pressanti per i sistemi agricoli e alimentari dovrebbero essere quindi affrontate:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1) Aumento della conoscenza dell'idoneità e della capacità dei suoli basate sulle informazioni pedologiche e climatiche (definizione delle condizioni pedoclimatiche), dei processi eco-funzionali guidati dalla biomassa microbica del suolo (ad esempio terroir delle colture), della definizione indici sintetici e descrittivi di salute del suolo. Questa conoscenza deve essere supportata da un adeguato sistema informativo geografico e pedologico (GIS). 2) Raggiungimento di un'agricoltura neutrale rispetto al degrado del suolo riducendo l'intensità delle minacce a cui il suolo è sottoposto (erosione, perdita di materia organica e biodiversità, salinizzazione, contaminazione, nutrienti squilibrio, declino della struttura) attraverso l'adozione delle migliori pratiche legate all'idoneità e capacità del territorio. 3) Utilizzare approcci di bioconservazione, basati sull'uso di colture bioprotettive, per aumentare la sostenibilità, la sicurezza e la shelf-life dei prodotti alimentari derivati.
Impatto	<p>La ricerca dovrebbe:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1) Migliorare la qualità del suolo e rafforzarne la resilienza contro l'ambiente e fattori di stress climatico; 2) Valorizzare la qualità, la sicurezza e la tipicità delle produzioni; 3) Aumentare la sostenibilità sociale ed economica delle produzioni; 4) Difendere il territorio attraverso l'aumento della resilienza, della sostenibilità sociale ed economica delle produzioni anche in aree marginali
Tematica	RIPRISTINO DEL SUOLO FORESTALE
Sfida	<p>In Europa, gli ecosistemi forestali coprono più di un miliardo di ettari (FAOSTAT, 2020) e forniscono numerosi servizi all'uomo quali la fornitura di materie prime e cibo, la protezione della biodiversità, la regolazione del clima, la conservazione del paesaggio. In questo contesto, il suolo forestale ha un ruolo chiave perché, oltre a supportare le funzioni della biomassa, preserva i bacini idrografici, ospita un'enorme biodiversità, regola i processi biogeochimici dei nutrienti, lo stoccaggio del carbonio e regola le emissioni di gas serra (Bünemann et al., 2018). Una delle principali minacce alle foreste europee è il degrado, dovuto</p>

	<p>principalmente all'abbandono o al sovrautilizzo, che può minacciare la salute degli ecosistemi forestali in termini di funzionalità delle loro componenti, come il suolo. Le proprietà e la funzionalità del suolo sono infatti fortemente influenzate dai sistemi di gestione forestale. Le pratiche forestali di ripristino possono influenzare la qualità del suolo creando un ecosistema sano in grado di far fronte allo stress, di creare dei sistemi resilienti nei confronti degli impatti che hanno generato un disturbo, in grado di adattarsi allo stress e ai cambiamenti.</p> <p>Vi è attualmente la necessità di acquisire conoscenze sulle migliori pratiche di ripristino forestale in grado di migliorare il funzionamento degli ecosistemi forestali, e in particolare il funzionamento del suolo forestale in relazione alle proprietà biofisiche, come il pool di materia organica del suolo, le attività microbiche e l'aggregazione del suolo, cruciali per i servizi forniti ed utili al benessere umano (Adhikari e Hartemink, 2016).</p>
Obiettivo	<p>La ricerca dovrebbe evidenziare come il ripristino delle foreste non gestite può essere esteso in aree con grave degrado, in modo da creare delle opportunità per un aumento sostanziale dei servizi ecosistemici del suolo. Ciò, infatti, ha conseguenze positive su tutti i servizi forestali e quindi sui benefici che l'umanità può ottenere. Vi è quindi la necessità di testare e valutare l'effetto di diverse strategie di recupero forestale sulle proprietà del suolo, porre l'attenzione sulle conseguenze a breve e medio termine non basate esclusivamente sulla produzione di biomassa, ma anche sui costituenti del suolo che regolano il ciclo dei nutrienti e quindi la fertilità del suolo, le dinamiche del pool di carbonio che sostengono le attività microbiche e regolano il ciclo biogeochimico degli elementi, la struttura e l'aggregazione del suolo che regolano la disponibilità di acqua, controllano l'erosione e, insieme alla sostanza organica del suolo, regolano le emissioni di gas.</p>
Impatto	<p>La valutazione delle strategie di recupero forestale migliorerà le condizioni di vita delle comunità umane nelle aree abbandonate ripristinando il loro ambiente forestale e riducendo l'erosione del suolo e le emissioni di gas, nonché aumentando lo stoccaggio di carbonio e sostanze nutritive nel suolo. La ricerca, basata su una buona conoscenza delle proprietà del suolo forestale, dell'idoneità del suolo e della loro analisi spaziale in ambiente GIS, diffonderà le migliori pratiche di gestione del recupero evitando conseguenze negative del suolo e consentendo la loro trasferibilità ad altri ecosistemi forestali simili in tutta l'UE.</p>
Tematica	STRUMENTI POLITICI DI NUOVA GENERAZIONE PER LA CONSERVAZIONE DEL SUOLO E IL SEQUESTRO DEL CARBONIO
Sfida	<p>Una sfida chiave per la conservazione del suolo e dei relativi servizi ecosistemici è il disallineamento dei suoi benefici privati e sociali. Le misure di conservazione del suolo sono tipicamente caratterizzate da grandi benefici sociali (conservazione della biodiversità, mitigazione dei cambiamenti climatici), mentre i loro costi sono per lo più a carico degli agricoltori. Con queste strutture di incentivo, i problemi di <i>free-riding</i> portano a misure di conservazione del suolo inadeguate rispetto a quello che sarebbe il loro livello ottimale. Pertanto, le politiche pubbliche, come gli schemi agroambientali (AES) della politica agricola comune (PAC) dell'UE, sono potenzialmente cruciali per correggere questi fallimenti del mercato. Tuttavia, pur migliorando sicuramente la situazione, gli AES non hanno mantenuto pienamente le sue promesse. Poiché il sostegno</p>

	<p>finanziario si basa principalmente sui costi medi dell'attuazione delle pratiche attuate, le attuali misure AES non garantiscono un'adeguata produzione dei beni pubblici agroambientali forniti dalle misure di conservazione del suolo. Allo stesso tempo, inoltre, sono state avviate anche iniziative private affinché le preferenze dei consumatori si traducano in premialità per gli agricoltori in tutta la catena del valore (<i>value chain</i>). Vi è la necessità di fornire incentivi adeguati agli agricoltori per la conservazione dei suoli e la fornitura di servizi ecosistemici legati al suolo.</p>
Obiettivo	<p>Gli strumenti politici dovrebbero essere aggiornati in modo da produrre più efficacemente il suolo e i servizi ecosistemici ad esso correlati. Gli sforzi dovrebbero essere dedicati all'analisi del passaggio dal tradizionale design degli AES a schemi di pagamento in base ai risultati, in cui il budget viene effettivamente dedicato a pagamenti commisurati alla misurazione di uno o più benefici ambientali. Sebbene un tale cambiamento sembri un passo naturale, la sua attuazione pratica pone diverse sfide che dovrebbero essere bilanciate rispetto allo status quo. Tra l'altro, l'incertezza del pagamento potrebbe ridurre fortemente il tasso di partecipazione degli agricoltori ai regimi, il monitoraggio potrebbe comportare costi significativi che dovrebbero essere ponderati con i potenziali benefici, la lunghezza dei processi del suolo presumibilmente implica impegni a lungo termine sia degli agricoltori che pubblica amministrazione. Inoltre, queste misure dovrebbero essere affrontate all'interno del quadro più ampio che include la presenza di mercati verdi, in modo da integrare gli incentivi pubblici e privati, e i loro rispettivi costi e benefici.</p>
Impatto	<p>L'impatto diretto della ricerca è una migliore progettazione e quindi una maggiore efficacia ed efficienza delle politiche agricole relative alla produzione di servizi ecosistemici legati al suolo e di beni pubblici in generale. Una migliore efficacia ed efficienza, in un contesto di elevato coinvolgimento delle parti interessate e governance partecipativa, contribuirà anche a una migliore accettazione delle politiche e alla consapevolezza del pubblico. Indirettamente e nel lungo termine, la ricerca consentirà un aumento della produzione di beni pubblici dal suolo e la riduzione dei trade-off con la produzione di beni privati. Ciò contribuirà anche a sistemi agricoli più competitivi, un migliore dialogo con cittadini e consumatori e aree rurali più vitali.</p>
Tematica	IL SUOLO COME RISORSA ENERGETICA PER STRUTTURE RURALI SOSTENIBILI
Sfida	<p>Come per tutti gli altri settori, si prevede che l'aumento delle produzioni in agricoltura comporterà l'aumento del fabbisogno energetico e quindi del consumo di energia derivante da fonti non rinnovabili. Oltre che per le attività sul campo, una grande quantità di energia è necessaria per le strutture rurali in cui la produzione deve essere lavorata, trasformata e immagazzinata. Uno degli obiettivi delle recenti politiche internazionali riguarda la promozione di una produzione alimentare intensiva e sostenibile. Per ottenere questo risultato si ritiene inevitabile l'incremento dell'utilizzo di energie rinnovabili (Monforti-Ferrario et al., 2015). Oltre alle diffuse fonti di energia rinnovabile (come pannelli fotovoltaici, biogas, biomasse, energia eolica, ecc.), anche lo sfruttamento del suolo può fornire un solido contributo alla riduzione del fabbisogno energetico.</p>

	<p>Fin dall'antichità, nelle attività agricole, il terreno è stato utilizzato sia come accumulo termico che come scambiatore sfruttandone le potenzialità per la lavorazione e conservazione degli alimenti (stoccaggio alimenti, deposito ghiaccio, ecc.). Ancora oggi, le note proprietà termiche del suolo possono essere utilizzate per diversi processi che richiedono un controllo termico come la vinificazione e l'invecchiamento di molti prodotti alimentari. Più recentemente, grazie agli sviluppi nei sistemi di energia geotermica a bassa entalpia, lo sfruttamento delle proprietà termiche del suolo ha aumentato la sua efficienza e può essere esteso ad altri processi agricoli come la produzione in serra, il raffreddamento del latte, il raffreddamento della frutta, l'essiccazione degli alimenti, ecc. Dal momento che le strutture agricole possono sfruttare grandi aree di terreno, i sistemi geotermici superficiali possono fornire una grande quantità di energia a basso costo.</p>
Obiettivo	<p>L'efficienza del sistema energetico del suolo dipende da diversi fattori come la configurazione del sistema, la stratigrafia e le proprietà del suolo (come densità, diffusività termica, contenuto di umidità, falda acquifera, ecc.), condizioni ambientali e altro.</p> <p>Una caratterizzazione generale del potenziale energetico, che può essere sfruttato in contesti agricoli, può fornire informazioni utili a tutti gli agricoltori al fine di ottenere soluzioni energeticamente sostenibili nel complesso quando sono coinvolti processi a temperatura controllata.</p>
Impatto	<p>L'impatto atteso è la riduzione sia del fabbisogno energetico degli edifici rurali che dell'aumento dello sfruttamento delle fonti energetiche rinnovabili, sfruttando le proprietà del suolo e le sue stabilità termica.</p>
Tematica	<p>METODOLOGIE E APPROCCI INNOVATIVI PER L'ANALISI MULTICRITERIALE, IL MONITORAGGIO E LA PIANIFICAZIONE DEL PAESAGGIO</p>
Sfida	<p>Come noto, le diverse scelte di pianificazione territoriale e paesaggistica giocano un ruolo cruciale nel determinare il livello di sostenibilità ambientale dei conseguenti modelli di sviluppo delle aree rurali, con particolare riferimento all'efficienza nell'uso delle risorse, all'impatto diretto e indiretto sugli agroecosistemi derivanti dalle trasformazioni dell'uso del suolo, in particolare quelli scarsamente o per nulla reversibili connessi ai sistemi insediativi, nonché all'influenza sulla possibilità di fornire servizi ecosistemici da parte delle risorse del paesaggio. In relazione alla crescente pressione sulla risorsa suolo e ai rapidi cambiamenti su larga scala nell'uso del suolo, è sempre più cruciale fornire nuove conoscenze per consentire una gestione più efficace del suolo e dell'uso del suolo, affrontando le sfide del cambiamento climatico, dello sviluppo sostenibile e dell'intensificazione della produzione agricola, anche in relazione alla crescente domanda di <i>evidence-based policy making</i>. Pertanto, preservare la risorsa suolo e pianificarne un uso efficiente e sostenibile richiedono lo sviluppo di metodologie e sistemi integrati e multidisciplinari per l'analisi e il monitoraggio dell'uso del suolo e del paesaggio in grado di affrontare la variabilità spaziale e temporale dei diversi elementi del paesaggio e di identificare le caratteristiche peculiari, le criticità e le opportunità delle diverse regioni, al fine di supportare la corretta allocazione delle risorse e la valorizzazione delle componenti sia naturali che culturali del territorio.</p>

Obiettivo	<p>L'obiettivo della ricerca è quello di avanzare nel campo dell'analisi e del monitoraggio multicriteri e multiscala del territorio basati su modelli e metodologie GIS, volti a fornire supporto alla pianificazione rurale e alla gestione del paesaggio, concentrandosi sull'identificazione delle caratteristiche e delle strutture del paesaggio e sul tracciamento ad alta risoluzione delle loro evoluzioni spaziali e temporali, compreso il monitoraggio dell'impermeabilizzazione del suolo attraverso approcci a lungo termine accurati ed efficienti. L'analisi spaziale avanzata delle aree rurali, compresi gli approcci di modellazione e machine learning, contribuirebbe al progresso delle conoscenze nei seguenti settori di ricerca:</p> <ul style="list-style-type: none"> - modelli GIS e strategie di campionamento areale per l'analisi spaziale e la valutazione dell'idoneità del territorio. - analisi, modellazione e monitoraggio ad alta risoluzione spaziale e temporale del cambiamento dell'uso del suolo e dell'impermeabilizzazione del suolo. - studio del nesso tra cambiamento di uso del suolo e qualità del suolo e stock di carbonio nel suolo; - sviluppo di indicatori/modelli multicriteri per l'analisi, la classificazione, la modellazione e la pianificazione del territorio rurale, attraverso metodologie multiscala efficienti e affidabili basate su GIS, telerilevamento e telerilevamento prossimale e rilievi e mappature di campo, anche attraverso approcci partecipativi e bottom-up abilitati dall'ICT.
Impatto	<p>I risultati della ricerca consentirebbero di fornire supporto alla definizione di pratiche agricole smart e sito-specifiche e di politiche integrate di pianificazione territoriale e sviluppo rurale, alla loro attuazione e al monitoraggio del loro impatto, favorendo sistemi agro-forestali, insediativi e naturali più resilienti, un'intensificazione sostenibile della produzione di alimenti, mangimi e fibre e il miglioramento della fornitura di servizi ecosistemici e delle funzioni sociali. La ricerca contribuirebbe anche ad affrontare trend e scenari di cambiamento climatico, consentendo anche di definire strategie di mitigazione e adattamento attraverso specifiche strategie di pianificazione del territorio finalizzate all'ottimizzazione dello stock di carbonio. Infine, ma non meno importante, la ricerca può supportare la definizione di riferimenti prestazionali e basati sull'evidenza per la pianificazione delle aree rurali e verdi, in relazione alle evoluzioni nella conversione del suolo e dell'uso del suolo, promuovendo modelli volti a massimizzare le prestazioni dei servizi ecosistemici.</p>

BIBLIOGRAFIA

- Adhikari K., Hartemink A.E. (2016). Linking soils to ecosystem services - A global review. *Geoderma* **262**:101–111.
- Akpoti K., Kabo-bah A.T., Zwart S.J. (2019). Agricultural land suitability analysis: state-of-the-art and outlooks for integration of climate change analysis. *Agricultural Systems* **173**:172-208.
- Bonfante A., Monaco E., Langella G., Mercogliano P., Bucchignani E., Manna P., Terribile F. (2018). A dynamic viticultural zoning to explore the resilience of terroir concept under climate change. *Science of the Total Environment* **624**:294-308.

- Bünemann E.K., Bongiorno G., Bai Z.G., Creamer R., de Deyn G.B., de Goede R.G.M., Fleskens L., Geissen V., Kuyper T.W.M., Mäder P., Pulleman M.M., Sukkel W., van Groenigen J.W., Brussaard L. (2018). Soil Quality - a critical review. *Soil Biology and Biochemistry* **120**:105-125.
- Camps Arbestain M., Macías F., Chesworth W. (2008). Soil. In: Encyclopedia of Soil Science, Chesworth W. (ed.). Springer, Dordrecht, The Netherlands. pp. 629-634.
- Christou A., Agüera A., Bayona J.M., Cytryn E., Fotopoulos V., Lambropoulou D., Fatta-Kassinos D. (2017). The potential implications of reclaimed wastewater reuse for irrigation on the agricultural environment: the knowns and unknowns of the fate of antibiotics and antibiotic resistant bacteria and resistance genes—a review. *Water Research* **123**:448-467.
- Clapp C.E., Hayes M.H.B., Ciavatta C. (2007). Organic wastes in soils: Biogeochemical and environmental aspects. *Soil Biology and Biochemistry* **39**:1239-1243.
- Compant S., Samad A., Faist H., Sessitsch A. (2019). A review on the plant microbiome: ecology, functions and emerging trends in microbial application. *Journal of Advanced Research* **19**:29-37.
- Costantini E.A.C., Bucelli P. (2008). Soil, wine and other quality crops: introduction and practice of the “terroir” e “zoning” concepts. *Italian Journal of Agronomy* **3**:23-33.
- Costanza R., d’Arge R., de Groot R., Farberk S., Grasso M., Hannon B., Limburg K., Naeem S., O’Neill R.V., Paruelo J., Raskin R.G., Suttonkk P., van den Belt M. (1997). The value of the world’s ecosystem services and natural capital. *Nature* **357**:253-260.
- EASAC (2018). Opportunities for soil sustainability in Europe. EASAC policy report 36.
- EFAR (2018). Public Health Risk Assessment of Sludge land Spreading. Final report N° DRC-07-81117-09289-18th C, INERIS, July 2008, pp. 1-32.
- European Commission (2019). The European Green Deal. COM (2019) 640, Brussels.
- Eurostat (2014). Eurostat regional yearbook 2014. ISBN 978-92-79-38906-1.
- FAO (2015). Revised World Soil Charter. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome, Italy.
- FAO (2017). Voluntary guidelines for sustainable soil management. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome, Italy.
- FAOSTAT (2020). Forest land. <http://www.fao.org/faostat/en/>. Accessed 29th June 2020. FAO statistics division.
- Giacometti C., Cavani L., Baldoni G., Ciavatta C., Marzadori C., Kandeler E. (2014). Microplate-scale fluorometric soil enzyme assays as tools to assess soil quality in a long-term agricultural field experiment. *Applied Soil Ecology* **75**:80-85.
- Gioacchini P., Montecchio D., Baldoni G., Ciavatta C. (2009). Agricultural management practices and dynamics of C in a long-term field experiment followed by isotopic and thermal analysis, In: Proc. International Symposium on soil organic matter dynamics: land use management and global change, Colorado Springs (Colorado, USA), July 6-9 2009, pp. 6-6.
- Grigatti M., Cavani L., C. Marzadori, Ciavatta C. (2014). Recycling of dry-batch digestate as amendment; soil C and N dynamics and ryegrass nitrogen utilization efficiency. *Waste and Biomass Valorization* **5**:823-833.
- Kennedy A. (1999). Bug biography: bacteria that promote plant growth. USDA Agricultural Research Service, Pullman, WA

- Lal R. (2004). Soil Carbon Sequestration Impacts on Global Climate Change and Food Security. *Science* **304**:1623-1627.
- MEA-Millennium Ecosystem Assessment (2005). Ecosystems and Human Well-being: Synthesis. Island Press, Washington, DC.
- Milieu Ltd, WRc, RPA and DG Environment (2008). Environmental, Economic and Social Impacts of the Use of Sewage Sludge on Land, Final report for the European Commission.
- Monforti-Ferrario F., Dallemand J.F., Pinedo Pascua I., Motola V., Banja M., Scarlat N., Medarac H., Castellazzi L., Labanca N., Bertoldi P., Pennington D., Goralczyk M., Schau E.M., Saouter E., Sala S., Notarnicola B., Tassielli G., Renzulli P. (2015). Energy use in the EU food sector: State of play and opportunities for improvement. Eds. F. Monforti-Ferrario and I. Pinedo Pascua. European Commission, Joint Research Centre, Luxembourg: Publications Office of the European Union.
- Pascale A., Proietti S., Pantelides I.S., Stringlis I.A. (2019). Modulation of the root microbiome by plant molecules: The basis for targeted disease suppression and plant growth promotion. *Frontiers in Plant Science* **10**:1741.
- Rockström J., Steffen W., Noone K., Persson Å., Chapin III F.S., Lambin E., Lenton T.M., Scheffer M., Folke C., Schellnhuber H.J., Nykvist B., de Wit C.A., Hughes T., van der Leeuw S., Rodhe H., Sörlin S., Snyder P.K., Costanza R., Svedin U., Falkenmark M., Karlberg L., Corell R.W., Fabry V.J., Hansen J., Walker B., Liverman D., Richardson K., Crutzen P., Foley J. (2009). Planetary boundaries: exploring the safe operating space for humanity. *Ecology and Society* **14**:32.
- Rodriguez P.A., Rothballer M., Chowdhury S.P., Nussbaumer T., Gutjahr C., Falter-Braun P. (2019). Systems biology of plant microbiome interactions. *Molecular Plant* **12**:804-821.
- Stevanato, L., Baroni, G., Cohen, Y., Cristiano Lino, F., Gatto, S., Lunardon, M., Marinello, F., Moretto, S., Morselli, L., 2019. A Novel Cosmic-Ray Neutron Sensor for Soil Moisture Estimation over Large Areas. *Agriculture* **9**:202.
- Triberti L., Nastri A., Baldoni G. (2016). Long-term effects of crop rotation, manure and mineral fertilization on carbon sequestration and soil fertility. *European Journal of Agronomy* **74**:47-55.
- United Nations (2015). Transforming our world: The 2030 agenda for sustainable development. A/RES/70/1.
- United Nations (2017). Threats to soils: global trends and perspectives. A Contribution from the Intergovernmental Technical Panel on Soils, Global Soil Partnership Food and Agriculture Organization of the United Nations.
- Utilitalia (2017). Utilizzo dei fanghi di depurazione in agricoltura. Indagine Utilitalia sui fanghi prodotti dal trattamento delle acque reflue urbane. Coordinamento scientifico, Giuseppe Mininni. Gruppo di lavoro Utilitalia, Paolo Giacomelli, Elena Mauro, Bernardo Piccioli. Roma.
- Viscarra Rossel R.A., Juhwan L., Behrens T., Zhongkui L., Baldock J., Richards A. (2019). Continental-scale soil carbon composition and vulnerability modulated by regional environmental controls nature research. *Nature Geoscience* **12**:547-552.
- von der Leyen, U. (2019). A European Green Deal. In: A Union that strives for more - My agenda for Europe. Political guidelines for the next European Commission 2019-2024. pp. 5-7.

Woolhouse M., Ward M., van Bunnik B., Farrar J. (2015). Antimicrobial resistance in humans, livestock and the wider environment. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences* **370**:20140083.

Zdruli P., Jones R.J.A., Montanarella L. (2004). Organic Matter in the Soils of Southern Europe. European Soil Bureau Technical Report, EUR 21083 EN (2004), pp. 16, Office for Official Publications of the European Communities, Luxembourg. Berendsen, R.L., Pieterse, C.M., Bakker, P.A. (2012). The rhizosphere microbiome and plant health. *Trends in Plant Science* **17**:478-486.

Zhang P., Ren C., Sun H., Min L. (2018). Sorption, desorption and degradation of neonicotinoids in four agricultural soils and their effects on soil microorganisms. *Science of the Total Environment* **615**:59-69.