

Preservare la diversità naturale dei suoli per preservarne la biodiversità

1.1 Il suolo - la pelle viva del pianeta terra

Il suolo non è solo lo strato più superficiale della crosta terrestre, derivante dall'alterazione delle rocce, ma è soprattutto un sistema naturale complesso, formato da organismi viventi, materia organica, acqua, aria e componenti minerali, che tende ad auto-organizzarsi nel tempo in conseguenza dell'azione dei fattori della pedogenesi e in particolare dell'attività biologica, che ne determina i maggiori dinamismi. Questo sottile velo di materiale vivente, a volte spesso solo pochi centimetri ma che può superare i due o tre metri, ha un'influenza determinata su quanto accade alla superficie della Terra. Non è quindi un mero substrato inerte, statico, attraverso il quale realizzare le produzioni agricole e forestali o sul quale appoggiare le nostre attività e infrastrutture, ma un essere vivente.

Il suolo è un patrimonio naturale che si è formato in prevalenza nei millenni precedenti l'Antropocene, l'era geologica attuale, nella quale l'essere umano e le sue attività causano le principali modifiche territoriali e climatiche. I suoli sono vulnerabili e gli uomini sono la causa principale della loro distruzione. Non è un fenomeno nuovo, poiché la degradazione del suolo cominciò con le prime civiltà nel bacino del Tigri ed Eufrate. Numerosi studi hanno dimostrato che l'umanità sta sfruttando questa risorsa, per lo più non rinnovabile o difficilmente rinnovabile, in modo non sostenibile (BAI *et al.*, 2008).

La minaccia più grave nei confronti del suolo è costituita dalla sua copertura con edifici ed infrastrutture. Una volta coperto dall'asfalto e dal cemento il suolo è pressoché perso definitivamente ed incapace di svol-

gere le sue funzioni. Ma la minaccia principale in termini di estensione e intensità del fenomeno è l'erosione del suolo, che può causare la sua rimozione fino al punto da far affiorare la roccia nuda. Altri processi di degradazione sono la salinizzazione, le frane, le inondazioni e la subsidenza, la diminuzione di materia organica e di biodiversità, l'acidificazione, il compattamento, l'impoverimento di nutrienti, la contaminazione.

Il suolo è un sistema depurativo straordinariamente efficace, nel quale molti materiali sono riciclati e resi innocui. Questa capacità di "ripulire" le sostanze consente la distribuzione sul suolo di residui organici e inorganici, ma se la quantità somministrata eccede la capacità di depurazione del suolo, il suolo stesso viene degradato e la sua attività biologica ridotta.

L'Organizzazione per la cooperazione e lo sviluppo economico (OCSE) e la Convenzione delle Nazioni Unite contro la desertificazione (UNCCD) individuano nella degradazione del suolo il rischio principale di diminuzione o scomparsa della produttività biologica ed economica delle terre. L'Unione europea stima in 38 miliardi di euro i costi diretti annuali della degradazione del suolo, riferendoli alla diminuita produzione di derrate alimentari, per l'Italia la stima è di 900 milioni l'anno (COSTANTINI, LORENZETTI, 2013).

La degradazione del suolo assume un particolare rilievo in Italia, anche a causa della continua riduzione della superficie agricola utilizzata (ormai da oltre un decennio scesa sotto i 13 milioni di ettari), della stabilizzazione delle rese unitarie delle principali colture e della crescita dei consumi (COSTANTINI, LORENZETTI, 2013). Il risultato è che il tasso di auto approvvigionamento ali-

mentare in Italia è ormai sceso a circa l'80% e il Paese risulta terzo nell'Unione europea come deficit di suolo agricolo. La qualità del suolo italiano del resto non è eccellente, anzi, secondo i criteri europei, i suoli agricoli italiani risultando svantaggiati per oltre l'80%, se si considerano parametri biofisici oggettivi quali la pendenza e la aridità, o la presenza di suoli a scarso drenaggio o profondità, tessitura eccessivamente argillosa o sabbiosa, abbondanza di scheletro e pietrosità, fenomeni vertici, torbe, suoli salini, sodici o acidi (COSTANTINI *et al.*, 2013). Purtroppo, nonostante il riconoscimento internazionale dell'importanza della conservazione della funzionalità del suolo, e della necessità di intraprendere azioni mirate per la difesa del suolo, un quadro legislativo organico di riferimento è ancora assente. Il Parlamento dell'Unione Europea però ha varato di recente una risoluzione che impegna l'Unione e gli stati membri a realizzare una strategia tematica per la protezione del suolo (https://www.europarl.europa.eu/doceo/document/TA-9-2021-0143_IT.html)

1.2 I servizi ecosistemici del suolo

Tra gli 11 obiettivi Primari della UE, individuati nella "strategia Europa 2020", due riguardano espressamente il suolo: i) l'adattamento ai cambiamenti climatici e prevenzione e gestione dei rischi; ii) la tutela dell'ambiente ed efficienza delle risorse. L'agenzia ambientale europea ha ufficialmente riconosciuto il ruolo fondamentale del suolo per il raggiungimento di sette dei diciassette obiettivi di sviluppo sostenibile delle Nazioni Unite, in particolare, sconfiggere la fame, assicurare salute e benessere, acqua pulita e servizi igienico-sanitari, città e comunità sostenibili, consumo e produzione responsabili, lotta contro il cambiamento climatico e vita sulla terra (Figura 1).

Il suolo contribuisce al raggiungimento degli obiettivi di sviluppo sostenibile tramite i numerosi servizi ecosistemici che fornisce. Il servizio ecosistemico

principale del suolo è la sua capacità di fornire biomassa, sotto forma di alimenti per l'uomo e gli animali, legname e fibre. Gli organismi del suolo riciclano la materia organica morta in una forma minerale utilizzabile dalle piante per la formazione delle cellule e per la crescita vegetativa. I valori di produzione primaria netta (PPN) raggiungono, globalmente, 550 Gt all'anno (LE QUÉRÉ *et al.*, 2018), differenziandosi notevolmente in funzione del clima e del tipo di suolo. Nei suoli dell'amazzonia, ad esempio, la NPP è in media $12,8 \pm 0,9 \text{ Mg C ha}^{-1} \text{ anno}^{-1}$, ma varia tra $9,3 \pm 1,3 \text{ Mg C ha}^{-1} \text{ anno}^{-1}$ (media \pm errore standard) e $17,0 \pm 1,4 \text{ Mg C ha}^{-1} \text{ anno}^{-1}$, rispettivamente in suoli poveri su sabbia e in un sito molto fertile di Terra Preta, con in media il $64 \pm 3\%$ della NPP totale nella componente epigea e il $36 \pm 3\%$ nel suolo (ARAGÃO *et al.*, 2009).

La capacità del suolo a ricevere e riciclare la biomassa prodotta dalle piante ed animali lo rende anche il principale serbatoio terrestre di carbonio organico, con l'assorbimento di circa 2.400 Gt l'anno, circa cinque volte superiore a quello delle piante e animali (560 Gt) e tre volte quello presente nell'atmosfera (800 Gt) (LE QUÉRÉ *et al.*, 2018). Si capisce quindi come i suoli possano essere così importanti per mitigare i cambiamenti climatici, arrivando a rimuovere circa il 25% del carbonio equivalente emesso ogni anno attraverso l'uso di combustibili fossili nel mondo.

Il suolo è inoltre capace di ospitare una grande biodiversità. Le stime sono ancora molto incerte, soprattutto perché molte specie sono ancora non conosciute e per la difficoltà a isolare e differenziare il materiale genetico dei microrganismi del suolo, soprattutto dei batteri. La FAO valuta che almeno un quarto della biodiversità globale sia presente nel suolo e che circa il 40% delle specie animali trascorra almeno una parte della sua vita nel suolo (FAO *et al.*, 2020). Altri autori stimano nel 23% la quota di biodiversità animale presente nel suolo (DECAËNS *et al.*, 2006).

Il biota del suolo è fondamentale per la vita stessa dell'uomo (BLUM *et al.*, 2019) ed



Figura 1 - Il suolo e gli obiettivi di sviluppo sostenibile delle Nazioni Unite secondo l'Agenzia Europea per l'Ambiente.

esistono prove inequivocabili che la perdita di biodiversità riduca l'efficienza mediante la quale le comunità ecologiche catturano risorse biologicamente essenziali, producono biomassa, si decompongono e riciclano biologicamente nutrienti essenziali (CARDINALE *et al.*, 2012). Le risorse genetiche dei microrganismi del suolo possono inoltre essere utilizzate per lo sviluppo di nuovi farmaci, quali antibiotici (KUMAR *et al.*, 2010).

Il suolo regola i flussi idrici e di sedimenti. Ogni anno piovono in media nel mondo circa 950 mm (NEW *et al.*, 2001). L'infiltrazione e l'assorbimento delle acque piovane nei suoli riducono il ruscellamento superficiale e di conseguenza riducono il rischio di flussi improvvisi e di alluvioni. Un minor ruscellamento superficiale è anche sinonimo di minor erosione e di minor trasporto di sedimenti all'interno delle acque alluvionali.

Il suolo purifica le acque e riduce la contaminazione ambientale. I fertilizzanti, i pesticidi o le altre sostanze potenzialmente contaminanti vengono adsorbite all'interno

degli aggregati del suolo ad opera delle particelle argillose e della sostanza organica, per poi essere degradate dagli organismi del suolo. Il suolo infine preserva il patrimonio archeologico e i fenomeni naturali accaduti nel passato, in tal senso alcuni suoli possono essere considerati parte del nostro patrimonio culturale (COSTANTINI, L'ABATE, 2009).

Per fornire elevati servizi ecosistemici, il suolo deve essere in salute e funzionare bene. Per comprendere cosa voglia dire per un suolo essere in salute e funzionare bene, bisogna considerare che il suolo è un complesso sistema dinamico, una macchina ecologica dove avvengono processi per tempi sia brevi sia lunghi o molto lunghi. È proprio la dinamica e i prodotti di questi processi che determinano le caratteristiche morfologiche e funzionali del suolo.

I processi che avvengono nel suolo sono anzitutto quelli che danno origine al suolo stesso. Questi processi vengono denominati "pedogenetici" e i fattori di stato che li determinano "fattori della pedogenesi": materiale genitore (detto anche substrato

o roccia madre), morfologia, clima, organismi, tempo. Dunque il suolo si forma a partire da un materiale genitore (roccia o sedimento) in una certa posizione morfologica, ad opera dell'azione nel tempo del clima e degli organismi (macro e microscopici, vegetali e animali, incluso l'uomo). La formazione del suolo necessita di tempi più o meno lunghi, dell'ordine delle centinaia o migliaia di anni, quando il materiale genitore è una roccia di difficile alterazione, mentre può essere di pochi anni per i sedimenti incoerenti (COSTANTINI *et al.*, 2015).

La funzionalità del suolo è la sua capacità dinamica a fornire servizi ecosistemici attraverso i numerosi processi che regolano i flussi di energia, il ciclo della sostanza organica e dei nutrienti, i flussi idrici e di aria nel suolo e attraverso il suolo (Figura 2).

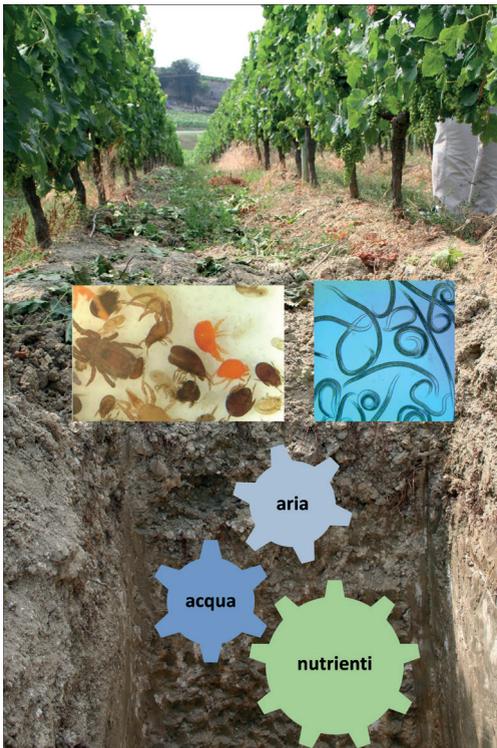


Figura 2 - Il suolo come sistema complesso, la cui funzionalità dipende dai processi che regolano biodiversità e flussi di energia, ciclo della sostanza organica e dei nutrienti, flussi idrici e di aria nel suolo

1.3 Il suolo come corpo naturale che tende ad auto-organizzarsi

La formazione del suolo è un processo auto-organizzato di accumulazione graduale dei prodotti solidi del funzionamento del suolo, è finito nel tempo e tende a raggiungere uno stato stazionario con il suo ambiente (TARGULIAN, KRASILNIKOV, 2007). I processi che avvengono nel suolo e tra i suoli conducono ad una loro auto-organizzazione che può essere osservata a diversi livelli, dalla scala micrometrica a quella geografica (PHILLIPS *et al.*, 1999). Nel contesto dell'indagine in campo, l'auto-organizzazione del suolo si comprende studiando il profilo e la disposizione dei suoi componenti minerali ed organici in forme specifiche e distintive, in particolare, gli orizzonti e le figure pedogenetiche (JAHN *et al.*, 2006) (Figura 3). Tra le caratteristiche principali del suolo vi sono la struttura degli aggregati e la porosità, particolarmente importanti perché indicatrici sia dei processi di formazione del suolo sia della funzionalità del suolo stesso.

L'auto-organizzazione del suolo è un fenomeno che avviene normalmente in natura come conseguenza dei fattori della pedogenesi, ma l'attività dell'uomo può modificare profondamente i processi di auto-organizzazione del suolo, fino ad essere il fattore dominante. In questo caso i suoli vengono classificati come Anthrosols (IUSS, 2015).

Il suolo è un sistema dinamico e aperto che tende a trovare un equilibrio in funzione delle condizioni ambientali in cui si trova. Il processo di auto-organizzazione del suolo tende ad arrivare nel tempo ad uno stato di equilibrio dinamico con i flussi di materia ed energia, nel quale l'entropia del sistema è minimizzata (ADDISCOTT, 2010; TARGULIAN, KRASILNIKOV, 2007).

L'auto-organizzazione del suolo fa parte del patrimonio naturale, ma ha anche un valore economico, perché i processi di auto-organizzazione del suolo e quelli che determinano la funzionalità e producono servizi ecosistemici sono paralleli (ROBINSON *et al.*, 2009). Il degrado del suolo pertanto può essere anche definito come il processo che porta allo scadimento del livello di auto-

organizzazione dei suoi costituenti, dovuto a cause naturali o, più spesso, ad attività umana.



Figura 3 - Un profilo di suolo dove colore, screziature, porosità e struttura degli orizzonti evidenziano la sua elevata auto-organizzazione, frutto di processi attuali ed antichi che ne determinano le caratteristiche morfologiche e funzionali.

1.4 L'organizzazione del suolo come fattore di differenziazione biologica

Il modo in cui gli organismi si trovano e si comportano in natura può variare ampiamente a seconda delle caratteristiche spaziali in cui si trovano, per questo motivo le comunità biotiche si possono differenziare notevolmente a seconda del tipo di ambiente e, nel caso degli organismi tellurici, del tipo di suolo. I suoli infatti variano per proprietà chiave che influenzano l'ecologia del biota, come il pH, la quantità e qualità di carbonio organico, la disponibilità di ossigeno e il potenziale redox, la disponibilità idrica, la salinità, la tessitura, la porosità, la concentrazione di azoto e fosforo disponibili (FIERER, 2017).

Il suolo non è un ambiente uniforme, al suo interno le proprietà chiave possono variare in modo sostanziale. Gli habitat microbici, in particolare, includono la rizosfera (terreno posto in prossimità delle radici delle piante), gli strati superficiali che sono esposti alla luce, il suolo associato alle tane dei lombrichi (la drilosfera) e il suolo che si trova in percorsi preferenziali del flusso idrico, comprese la porosità e le fessure presenti nel suolo. Inoltre, ci sono microambienti associati agli aggregati del suolo: le condizioni nutrizionali riscontrate sulle superfici degli aggregati o sui film d'acqua tra gli aggregati sono distinte dalle condizioni presenti all'interno degli aggregati. Ci sono poi cambiamenti marcati nelle comunità microbiche e nelle condizioni abiotiche con la profondità del suolo.

I tipi di diversità in superficie e nel sottosuolo sono governati da diversi meccanismi che dipendono anche dalla scala. La biodiversità locale del suolo è fortemente guidata dall'eterogeneità spaziale: la diversità dei microhabitat presenti all'interno di un singolo profilo tridimensionale del suolo potrebbe essere equivalente o superiore a quella trovata fuori terra all'interno di un ecosistema (BARDGETT, VAN DER PUTTEN, 2014).

Sebbene la maggior parte degli studi si sia concentrata sui microrganismi presenti negli orizzonti del suolo superficiali, le comunità trovate nello strato di lettiera (o orizzonte O) sono spesso distinte da quelle che si trovano negli orizzonti minerali sottostanti (orizzonti A e B), quelli dove gli aggregati strutturali sono maggiormente presenti, e nel saprolite più profondo poco strutturato (orizzonti C). Una strutturazione del suolo complessa e tortuosa aumenta i rifugi per gli organismi predati, riduce la concorrenza e aumenta quindi il numero di specie, e facilita la ritenzione dei nutrienti. La struttura del suolo, definita come una distribuzione dello spazio aggregato / poroso di diverse dimensioni, può quindi essere un controllo importante delle comunità biologiche del suolo, che sono altamente strutturate nella loro distribuzione dimensionale. Gli aggregati del suolo sono spesso più importante dell'età e del tipo di vegetazione nel differenziare

i principali *taxa* microbici. In particolare, i macroaggregati hanno spesso diversità α più grandi e più elevata stabilità microbica della comunità, accompagnata da bassi tassi di respirazione microbica (SUN *et al.*, 2021). Un aumento della angolatura degli aggregati provoca una diminuzione della crescita di batteri e funghi, ma i funghi diminuiscono più dei batteri. Con l'aumentare della acutezza dell'angolo in uno spazio poroso allungato diminuisce la degradazione della materia organica (ARELLANO-CAICEDO *et al.*, 2021). Questo fenomeno, assieme alla capacità delle argille a legarsi con la sostanza organica, spiega come mai suoli con argille dinamiche e aggregati poliedrici angolari e prismatici ben sviluppati possano colorarsi di nero e catturare carbonio organico per tempi molto lunghi.

Un esempio significativo di come i diversi tipi di auto-organizzazione del suolo riflettano condizioni ambientali che corrispondono ad una differenziazione degli organismi terricoli è quello dei profili di humus (ZANELLA *et al.*, 2018). Nel passaggio di forme di humus di tipo Mor a Moder e poi a Mull si evidenzia l'esistenza di un gradiente di crescente biodiversità del suolo con crescente umificazione della materia organica. Ecosistemi aperti come prati, pascoli e agricoli, con humus di tipo Mull, vedono la prevalenza di invertebrati di taglia più grande come lombrichi, formiche, millepiedi, termiti, ecc., e una grande biodiversità. Le forme di humus di tipo Mor invece, tipicamente incontrate in ecosistemi chiusi come le foreste alpine, su substrati silicei e in clima freddi e umidi, prevalgono gruppi specializzati, tolleranti agli acidi, come gli enchitreidi, gli acari e i collemboli e una minore biodiversità complessiva. Sono quindi ecosistemi più specializzati e sensibili alle variazioni. Ci sono infatti prove crescenti che la biodiversità aumenta la stabilità di funzioni dell'ecosistema nel tempo (CARDINALE *et al.*, 2012)

1.5 Pedodiversità come espressione della auto-organizzazione dei suoli

I suoli variano da luogo a luogo, non a caso,

ma in modo sistematico: i suoli della tundra sono molto differenti da quelli dei tropici, quelli delle aree acclivi da quelli delle pianure e possono variare in brevi distanze. Muovendosi da un crinale a un fondovalle si trovano suoli che hanno caratteristiche differenti e si comportano in modo diverso, quando ad esempio proviamo a coltivare piante o costruire una strada o una casa. Questa variabilità riflette la posizione unica del suolo rispetto alle altre componenti del pianeta Terra: all'interfaccia tra l'atmosfera, la litosfera, l'idrosfera e la biosfera.

La pedodiversità, cioè la diversità dei tipi di suolo, mostra negli ecosistemi agricoli e forestali modelli di distribuzione dei suoli nel paesaggio sorprendentemente simili a quelli relativi alla biodiversità vegetale presente in superficie quali: (i) relazioni specie (*taxa*) – area; (ii) rapporti di ricchezza locale-regionale; (iii) gradienti latitudinali nella ricchezza delle specie; (iv) gradienti altitudinali in ricchezza di specie; (v) relazioni tra le dimensioni degli intervalli di specie; (vi) nidificazione della presenza di specie; (vii); abbondanza-distribuzioni delle dimensioni dell'intervallo; (viii) distribuzioni specie-abbondanza (IBÁÑEZ *et al.*, 2013). Tuttavia, non è ancora noto se modelli macroecologici di biodiversità fuori e sotto terra sono comparabilmente simili (DECÄENS, 2010). Infatti, il rapporto tra pedodiversità e biodiversità sotterranea è stato molto meno studiato (FAO *et al.*, 2020). In particolare, il rapporto tra la natura dei diversi orizzonti del suolo e le comunità biologiche che ospitano. Sono presenti studi però che hanno dimostrato che diversi tipi e orizzonti del suolo ospitano diversi assemblaggi di organismi del suolo, il che dimostra che gli orizzonti del suolo dovrebbe essere considerati nella definizione della varietà negli habitat per gli organismi del suolo (FAO, *et al.*, 2020). Quindi, se vogliamo preservare la biodiversità, dobbiamo anche preservare la pedodiversità. Alcuni scienziati hanno proposto la creazione di reti di riserve di suolo e / o l'inclusione della pedodiversità nei programmi relativi alla conservazione della natura, salvaguardando la difesa delle tipologie di suolo rare, caratterizzate da comunità bio-

logiche particolari o rappresentative della biodiversità pedologica locale, assieme ai suoli particolarmente ricchi di informazioni o a rischio di estinzione (COSTANTINI *et al.*, 2007; IBÁÑEZ *et al.*, 2012; COSTANTINI, L'ABATE, 2009, 2016).

1.6 Perdita di pedodiversità e degradazione del suolo

L'enorme degrado della biosfera e della geosfera ha profondamente alterato la pedosfera. Diversi studi mostrano una perdita di pedodiversità in alcuni paesi e aree geografiche e la trasformazione di alcuni pedotaxa in altri (LO PAPA *et al.*, 2011). L'erosione del suolo, le lavorazioni molto profonde, i movimenti di terra, possono arrivare ad alterare completamente la naturale auto-organizzazione del suolo, anche negli orizzonti profondi, e produrre una diminuzione drammatica dei servizi ecosistemici forniti dai suoli, a partire da quelli di natura agronomica (COSTANTINI *et al.*, 2018; PRIORI *et al.*, 2021). In alcuni casi le azioni umane hanno trasformato la pedosfera a tal punto da dover includere nuovi taxa antropogenici nelle tassonomie del suolo, come i Technosols (IUSS, 2015).

In Italia, la carta dei suoli nazionale mostra la presenza di 22 gruppi WRB su 32 possibili, di cui i Cambisols sono i più diffusi seguiti dai Luvisols (Tabella 1) (COSTANTINI *et al.*, 2013). Parimenti gli Inceptisols del Soil Taxonomy sono i più frequenti, anche in questo caso si tratta quindi di suoli ad uno stato di evoluzione intermedio. Sono presenti 10 dei 12 ordini della *Soil Taxonomy*. Tuttavia va sottolineato che alcuni ordini sono presenti solo in aree molto limitate nel territorio Italiano come gli Aridisols in Sardegna, mentre alcuni gruppi possono non essere mappati a causa della mancanza di informazioni in bancadati, come i Cryosols, presenti nelle Alpi e Appennini. Dalle 1.413 tipologie pedologiche italiane risultano esclusi solo i gruppi WRB Albeluvisols, Anthrosols, Cryosols, Durisols, Ferralsols, Plinthosols, e Technosols, e per la Soil Taxonomy i Gelisols e Oxisols.

Dei 180 qualificatori WRB, 132 sono presenti in Italia. Dal punto di vista genetico abbiamo quindi il 73% della pedodiversità globale. I taxa maggiormente diffusi sono: *Haplic Cambisols (Calcaric)*, *Haplic Calcisols*, *Haplic Cambisols (Eutric)*, *Haplic Regosols (Calcaric)*, *Haplic Fluvisols (Calcaric)*, *Haplic Vertisols (Eutric)*, e *Haplic Cambisols (Dystric)*.

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

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

- i) alterazione dei minerali primari, rilascio di ferro e sintesi di ossidi e idrossidi, in grado di dare colori rossastri al suolo (Chromic);
- ii) dissoluzione di carbonati e accumulo di carbonato di calcio secondario (Calcic);
- iii) riduzione e ossidazione di ferro e manganese per alternanza di condizioni di areazione e ristagno idrico (Stagnic);
- iv) differenziazione del contenuto di argilla lungo il profilo, causato soprattutto da processi di lisciviazione (Luvic);
- v) aggregazione delle particelle minerali ed organiche e formazione di struttura pedogenetica (presenza di orizzonte strutturato, Cambisols) (Tabella 1).

Dal punto di vista della conservazione del suolo, è interessante verificare come l'erosione del suolo provochi una perdita di pedodiversità. È il caso, ad esempio, del confronto tra *Haplic Cambisols (Calcaric)* e *Haplic Regosols (Calcaric)*. Entrambe le tipologie di suoli si ritrovano soprattutto su materiale calcareo parzialmente consolidato pre-Quaternario, molto diffuso in ambiente

RSG	km ²	%
Cambisols	115,107	39.006
Luvisols	37,901	12.844
Regosols	29,874	10.123
Phaeozems	24,750	8.387
Calcisols	24,106	8.169
Leptosols	16,528	5.601
Andosols	9,704	3.289
Vertisols	7,925	2.686
Podzols	7,500	2.542
Fluvisols	7,276	2.466
Umbrisols	7,224	2.448
Arenosols	2,412	0.817
Kastanozems	2,030	0.688
Chemozems	1,126	0.382
Gleysols	625	0.212
Alisols	509	0.172
Planosols	201	0.068
Histosols	195	0.066
Acrisols	51	0.017
Solonchaks	33	0.011
Nitisols	11	0.004
Lixisols	11	0.004
Total	295,097	100.000

ORDER	km ²	%
Inceptisols	146,228	49.552
Entisols	48,508	16.438
Alfisols	38,416	13.018
Mollisols	35,711	12.101
Andosols	9,704	3.289
Vertisols	8,059	2.731
Spodosols	7,500	2.542
Ultisols	741	0.251
Histosols	195	0.066
Aridisols	33	0.011
Total	295,097	100.000

Tabella 1 - estensione dei gruppi WRB e degli ordini della Soil Taxonomy dominanti (aree urbane e corpi d'acqua esclusi).

collinare. Sono ambienti dove l'uso del suolo agricolo può innescare potenti fenomeni erosivi, soprattutto se le sistemazioni idraulico agrarie non vengono curate. La riduzione dell'areale dei Cambisols a favore dei Regosols può ragionevolmente essere messa in relazione con la perdita dell'orizzonte cambico, come conseguenza di un'erosione accelerata avvenuta negli ultimi decenni (COSTANTINI *et al.*, 2012).

Ma anche gli stessi Cambisols, dominanti in Italia, devono la loro diffusione alla perdita dell'orizzonte superficiale più ricco in materia organica, che dà origine negli stessi ambienti ai Phaeozems, ai Kastanozems e ai Chernozems (Figura 4). L'aumento dei Cambisols a scapito delle tre tipologie caratterizzate dall'avere un orizzonte superficiale mollico, prevalentemente minerale, ma ricco di sostanza organica, è spesso da imputare all'erosione del suolo e allo sfrut-

tamento agricolo di lunga data. Si stima infatti che siano stati la diffusa messa a coltura di suoli forestali e pascolativi, avvenuta a partire dall'epoca del bronzo antico, spesso associata all'incendio, a innescare la degradazione del suolo (VAN ANDEL *et al.*, 1990; WILLIS *et al.*, 1998; COSTANTINI *et al.*, 2009, 2012; XINYING *et al.*, 2012).

2. Conclusioni

La diversità dei suoli è un patrimonio naturale che ha un ruolo importante nel determinare la biodiversità degli ecosistemi agricoli e forestali. Alla base delle diversità pedologica vi sono i processi di auto-organizzazione che determinano i caratteri dei suoli e la formazione delle figure pedogenetiche. Molte di queste influiscono grandemente sulla formazione di habitat che all'interno

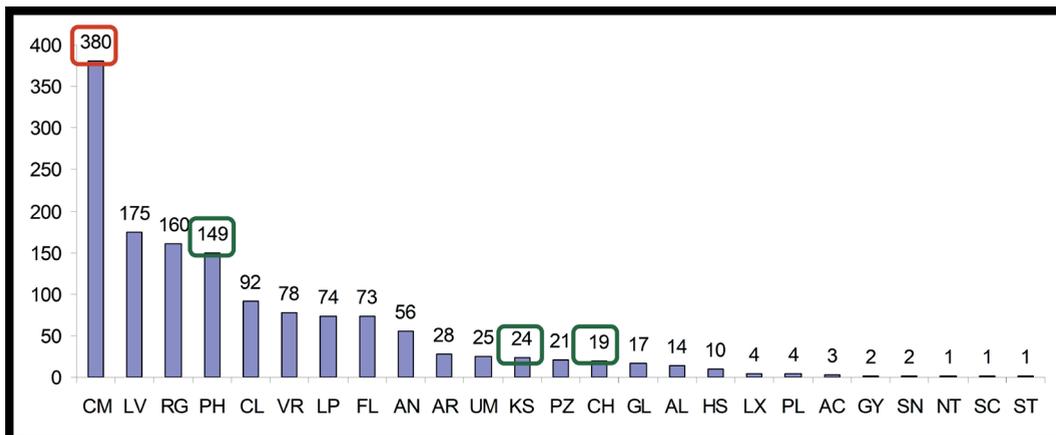


Figura 4 - Diffusione dei taxa di suoli secondo la classificazione WRB in Italia. I Cambisols (CM) sono spesso geneticamente legati ai Phaeozems (PH) ai Kastanozems (KS) e ai Chernozems (CH), in quanto risultanti dal processo di erosione dell'orizzonte superficiale di accumulo di sostanza organica, presente in queste tre tipologie ed assente invece nei Cambisols (COSTANTINI et al., 2013).

del suolo stesso condizionano la presenza degli organismi e la loro attività.

Un millenario sfruttamento agricolo e forestale, intensificato notevolmente negli ultimi decenni, ha aumentato alcuni servizi ecosistemici dei suoli, in particolare la produzione di cibo, fibre e biocarburanti, ma ha anche notevolmente semplificato la loro struttura, composizione e funzionamento. La semplificazione ha spesso ridotto i servizi di regolazione dei flussi idrici e dei nutrienti e ha portato a gravi perdite di pedodiversità, come avvenuto in Italia. La diminuita presenza di alcune tipologie di suolo naturali caratterizzate da orizzonti di superficie ricchi di materia organica e biodiversità (*Phaeozems*, *Kastanozems*, *Chernozems*) ha portato sia alla dominanza dei Cambisols, dove si è conservato solo l'orizzonte di profondità, sia alla diffusione dei Regosols, privati anche degli orizzonti strutturati profondi e infine alla comparsa di suoli completamente antropogenici, quali gli *Anthrosols* e i *Technosols*. I dati in nostro possesso indicano che a questi cambiamenti è corrisposta una diminuzione drammatica di biodiversità, in particolare della presenza di organismi specializzati nella colonizzazione di ambienti naturali limitanti la vege-

tazione (VOS, STORTELDER, 1992). Sarebbe pertanto opportuna l'inclusione della pedodiversità nei programmi relativi alla conservazione della natura, in particolare, la difesa delle tipologie di suolo rare e di quelle caratterizzate da comunità biologiche particolari o rappresentative della biodiversità pedologica locale.

BIBLIOGRAFIA

ADDISCOTT TM, 2010 - *Entropy, Non-Linearity And Hierarchy* In *Ecosystems Geoderma* 160:57-63.

ARAGÃO, L. E. O. C., MALHI, Y., METCALFE, D. B., SILVA-ESPEJO, J. E., JIMÉNEZ, E., NAVARRETE, D., ALMEIDA, S., COSTA, A. C. L., SALINAS, N., PHILLIPS, O. L., ANDERSON, L. O., ALVAREZ, E., BAKER, T. R., GONCALVES, P. H., HUAMÁN-OVALLE, J., MAMANI-SOLÓRZANO, M., MEIR, P., MONTEAGUDO, A., PATIÑO, S., PEÑUELA, M. C., PRIETO, A., QUESADA, C. A., ROZAS-DÁVILA, A., RUDAS, A., SILVA JR., J. A., VÁSQUEZ, R., 2009 - *Above and below-ground net primary productivity across ten Amazonian forests on contrasting soils*, *Biogeosciences*, 6, 2759-2778, <https://doi.org/10.5194/bg-6-2759-2009>, 2009.

ARELLANO-CAICEDO, C., OHLSSON, P., AND HAMMER, E. C.: *The effect of habitat complexity on microbial processes*, *EGU General Assembly 2021*, online, 19-30 Apr 2021, EGU21-12264, <https://doi.org/10.5194/egusphere-egu21-12264>, 2021.

- BAI, Z. G., DENT, D. L., OLSSON, L., SCHAEPMAN, M. E., 2008 - *Proxy global assessment of land degradation*. Soil use and management, 24(3), 223-234.
- BARDGETT, R. D., VAN DER PUTTEN, W. H., 2014 - *Belowground biodiversity and ecosystem functioning*. Nature, 515(7528), 505-511.
- BLUM, W. E., ZECHMEISTER-BOLTENSTERN, S., KEIBLINGER, K. M., 2019 - *Does soil contribute to the human gut microbiome?* Microorganisms, 7(9), 287.
- CARDINALE, B. J., DUFFY, J. E., GONZALEZ, A., HOOPER, D. U., PERRINGS, C., VENAIL, P., NAEEM, S., 2012 - *Biodiversity loss and its impact on humanity*. Nature, 486(7401), 59-67.
- COSTANTINI E. A. C., AGNELLI A. E., FABIANI A., GAGNARLI E., MOCALI S., PRIORI S., SIMONI S., VALBOA G., 2015 - *Short-term recovery of soil physical, chemical, micro and meso-biological functions in a new vineyard under organic farming SOIL*, 1, 443–457. www.soil-journal.net/1/443/2015/ doi:10.5194/soil-1-443-2015
- COSTANTINI EAC, BARBETTI R, FANTAPPIÈ M, L'ABATE, G., LORENZETTI, R., MAGINI, S., 2013 - *Pedodiversity*. In: The Soils of Italy, World Soil. Springer, pp 105–178
- COSTANTINI, E. A., BUCELLI, P., PRIORI, S., 2012 - *Quaternary landscape history determines the soil functional characters of terroir*. Quaternary International, 265, 63-73.
- COSTANTINI, E. A., CASTALDINI, M., DIAGO, M. P., GIFFARD, B., LAGOMARSINO, A., SCHROERS, H. J., PRIORI S., VALBOA G., AGNELLI A.E., AKÇA, E., D'AVINO L., FULCHIN E., GAGNARLI E., KIRAZ M.E., KNAPIC M., PELENGIC R., PELLEGRINI S., PERRIA R., PUCCIONI S., SIMONI S., TANGOLAR S., TARDAGUILA J., VIGNOZZI N., ZOMBARDO A., 2018 - *Effects of soil erosion on agro-ecosystem services and soil functions: A multidisciplinary study in nineteen organically farmed European and Turkish vineyards*. Journal of environmental management, 223, 614-624
- COSTANTINI E.A.C., PRIORI S., URBAN B., HILGERS A., SAUER D. PROTANO G., TROMBINO L., 2009 - *Multidisciplinary characterization of the middle Holocene eolian deposits of the Elsa River basin (central Italy)*. Quaternary International, 209, 107-130
- COSTANTINI E.A.C., L'ABATE G., 2009 - *The soil cultural heritage of Italy: Geodatabase, maps, and pedodiversity evaluation*. Quaternary International, 209, 142-153
- COSTANTINI EAC, L'ABATE G., 2016 - *Beyond the concept of dominant soil: Preserving pedodiversity in upscaling soil maps*. Geoderma 271: 243-253. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2015.11.024>
- COSTANTINI EAC, LORENZETTI R., 2013 - *Soil degradation processes in the Italian agricultural and forest ecosystems*. Italian Journal of Agronomy 8:28 <https://doi.org/10.4081/ija.2013.e28>
- COSTANTINI, E.A.C., MALUCELLI, F., BRENNIA, S., ROCCA, A., 2007 - *Using existing soil databases to consider paleosols in land planning*. The case study of the Lombardy Region (Northern Italy). Quaternary International 162–163, 166–171.
- DECAËNS, T., JIMÉNEZ, J. J., GIOIA, C., MEASEY, G. J., LAVELLE, P., 2006 - *The values of soil animals for conservation biology*. European Journal of Soil Biology, 42, S23-S38.
- FAO, ITPS, GSBI, SCBD AND EC., 2020. *State of knowledge of soil biodiversity - Status, challenges and potentialities, Report 2020*. Rome, FAO. <https://doi.org/10.4060/cb1928en>
- FIERER, N., 2017 - *Embracing the unknown: Disentangling the complexities of the soil microbiome*. Nat. Rev. Microbiol. <https://doi.org/10.1038/nrmicro.2017.87>
- IBANEZ, J. J., KRASILNIKOV, P. V., SALDANA, A., 2012. *Archive and refugia of soil organisms: applying a pedodiversity framework for the conservation of biological and non-biological heritages*. Journal of Applied Ecology, 49(6), 1267-1277.
- IUSS WORKING GROUP WRB, 2015 - *World Reference Base for Soil Resources 2014, update 2015 International soil classification system for naming soils and creating legends for soil maps*. World Soil Resources Reports No. 106. FAO, Rome
- LO PAPA, G., PALERMO, V. DAZZI, C., 2011 - *Is land-use change a cause of loss of pedodiversity?* The case of the Mazzarrone study area, Sicily. Geomorphology, 135: 332–342. <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2011.02.015>
- JAHN, R., BLUME, H. P., ASIO, V. B., SPAARGAREN, O., SCHAD, P., 2006 - *Guidelines for soil description*. FAO, Rome.
- KUMAR, N., SINGH, R. K., MISHRA, S. K., SINGH, A. K., PACHOURI, U. C., 2010 - *Isolation and screening of soil Actinomycetes as source of antibiotics active against bacteria*. International Journal of Microbiology Research, 2(2), 12.
- LE QUÉRÉ, C., ANDREW, R. M., FRIEDLINGSTEIN, P., SITCH, S., HAUCK, J., PONGRATZ, J., ZHENG, B., 2018 - *Global carbon budget*. Earth System Science Data, 10(4), 2141-2194.
- NEW, M., TODD, M., HULME, M., JONES, P., 2001 - *Precipitation measurements and trends in the twentieth century*. International Journal of Climatology: A Journal of the Royal Meteorological Society, 21(15), 1889-1922.
- PHILLIPS JD, 1995. *Self-organization and landscape evolution*. Progr. Phys. Geogr. 19:309-21
- PRIORI, S., PELLEGRINI, S., VIGNOZZI, N., COSTANTINI, E.A.C., 2021 - *Soil Physical-Hydrological Degradation in the Root-Zone of Tree Crops: Problems and Solutions*. Agronomy, 11, 68. <https://doi.org/10.3390/agronomy11010068>
- ROBINSON DA, LEBRON I, VEREECKEN H, 2009. *On the definition of the natural capital of soils: a framework for description, evaluation, and monitoring*. Soil Sci. Soc. Am J. 73:1904-11
- SUN, D., ANGST, G., AND FROUZ, J., 2021 - *Microbial communities in soil macro-aggregates respire less, are more diverse and stable across successional and geographical gradients*, EGU General Assembly 2021, online, 19–30 Apr 2021, EGU21-16011, <https://doi.org/10.5194/egusphere-egu21-16011>, 2021.

TARGULIAN, V. O., KRASILNIKOV, P. V., 2007 - *Soil system and pedogenic processes: Self-organization, time scales, and environmental significance*. Catena, 71(3), 373-381.

VAN ANDEL, T. H., ZANGGER, E., DEMITRACK, A., 1990 - *Land use and soil erosion in prehistoric and historical Greece*. Journal of field archaeology, 17(4), 379-396.

VOS, W., STORTELDER, A., 1992 - *Vanishing Tuscan landscapes. Landscape ecology of a submediterranean-montane area (Solano Basin, Tuscany, Italy)*. Centre for Agricultural Publishing and Documentation (Pudoc), Wageningen, the Netherlands.

WILLIS, K. J., SÜMEGI, P., BRAUN, M., BENNETT, K. D., TOTH, A., 1998 - *Prehistoric land degradation in Hungary: who, how and why?*. Antiquity-Oxford-, 72, 101-113.

XINYING, Z., XIAOQIANG, L., DODSON, J., KELIANG, Z., ATAHAN, P., NAN, S., QING, Y., 2012 - *Land degradation during the Bronze Age in Hexi Corridor (Gansu, China)*. Quaternary International, 254, 42-48.

ZANELLA, A., PONGE, J. F., BRIONES, M. J., 2018 - *Humusica 1, article 8: Terrestrial humus systems and forms—Biological activity and soil aggregates, space-time dynamics*. Applied Soil Ecology, 122, 103-137.

Edoardo A.C. Costantini

CNR-IBE

Dipartimento di Scienze Bio Agroalimentari,
Sesto Fiorentino (FI)

International Union of Soil Sciences President Elect;

European Society for Soil Conservation Secretary;

Accademia dei Georgofili, Firenze;

Accademia Nazionale di Agricoltura, Bologna.

E-Mail: eac.costantini@gmail.com

PAROLE CHIAVE: *obiettivi di sviluppo sostenibile, pedodiversità, biologia del suolo*

RIASSUNTO

Scopo del lavoro è di dimostrare che è necessario preservare la diversità naturale dei suoli per preservarne la biodiversità. L'importanza del suolo per il raggiungimento degli obiettivi di sviluppo sostenibile è riconosciuta a livello internazionale sia dalle Nazioni Unite sia dalla Unione Europea. L'auto-organizzazione del suolo è fondamentale nel determinarne la funzionalità, in particolare, la formazione di habitat che all'interno del suolo stesso condizionano la presenza degli organismi e la loro atti-

vità. Il risultato è che la diversità di suoli in natura è non solo correlata con la biodiversità sopra terra, ma determina anche buona parte della biodiversità ospitata dal suolo stesso. I dati della banca dati pedologica nazionale indicano come la degradazione del suolo, essenzialmente l'erosione e la perdita di sostanza organica, abbiano impoverito il patrimonio italiano di pedodiversità. Si propone pertanto l'inclusione della pedodiversità nei programmi relativi alla conservazione della natura, in particolare, la difesa delle tipologie di suolo rare e di quelle caratterizzate da comunità biologiche particolari o rappresentative della biodiversità pedologica locale.

KEY WORDS: *sustainable development goals, pedodiversity, soil biology*

ABSTRACT

The aim of the work is to demonstrate that it is necessary to preserve the natural diversity of soils in order to preserve their biodiversity. The importance of soil for the achievement of the sustainable development goals is internationally recognized both by the United Nations and by the European Union. The soil self-organization is fundamental in determining its functionality, in particular, the formation of habitats that affect the presence of organisms and their activity within the soil. The result is that the diversity of soils in nature is not only correlated with the biodiversity above ground but also determines a large part of the biodiversity hosted by the soil itself. The data from the national soil database indicate how soil degradation, essentially erosion and loss of organic matter, has impoverished the Italian heritage of pedodiversity. It is therefore proposed to include pedodiversity in programs relating to nature conservation, in particular, the conservation of rare soil types and those characterized by particular biological communities, or representative of local soil biodiversity.