

SUOLO

___Indice___

Introduzione

Conoscere il suolo

La struttura

Una risorsa naturale

Una risorsa agricola e alimentare

Formazione di un suolo

L'azione degli organismi

Tanti suoli diversi

Classificazione

Biologia del suolo

Un ambiente ricco di vita

Vita e materia organica

Biologia della terra

Vari fattori

Biologia degli animali ipogei

Protozoi e nematodi

Anellidi e molluschi

Artropodi

Vertebrati

Ambiente e territorio

L'erosione

La salinizzazione

La desertificazione

L'inquinamento del suolo

L'agricoltura sostenibile

Metalli pesanti

Suolo acido

Trattamento e recupero

SUOLO

Introduzione

Il suolo è un sottile involucro che ricopre la crosta terrestre a contatto con l'atmosfera; la sua natura e composizione dipendono da un equilibrio tra fattori ambientali di carattere chimico, fisico e biologico. Esso rappresenta una risorsa naturale importante perché consente la crescita della vegetazione spontanea e di conseguenza un ambiente ricco e vario dove vivono molte forme di vita, principalmente microrganismi e insetti. Qui, grazie alla presenza di una microflora e microfauna, si completano i cicli dell'azoto, del carbonio e del fosforo che sono fondamentali per tutti gli esseri viventi. Il suolo è anche una fonte di cibo perché permette la crescita delle colture agricole e l'allevamento del bestiame; inoltre fornisce il legname che viene usato da una parte della popolazione terrestre come combustibile.

Conoscere il suolo

Il suolo è costituito da particelle solide, acqua e aria miscelate tra loro. Le particelle solide possono avere natura inorganica od organica. I costituenti inorganici sono in massima parte dei minerali: silicati, ossidi e idrossidi di ferro, alluminio, manganese, ecc., che secondo la loro dimensione si classificano in scheletro e terra fina, a sua volta suddivisa in sabbia, limo ed argilla. Questi derivano dall'alterazione della roccia in materiale più piccolo e incoerente che si accumula a formare i depositi superficiali. L'accumulo del materiale incoerente può avvenire nel luogo dove è stata disgregata la roccia o in altri luoghi se viene trasportato dai fiumi, dal vento, dai ghiacciai e dalla forza di gravità.

Dai processi di degradazione cui vanno incontro i residui di vegetali (foglie, frutti, rami secchi o intere piante) ed animali morti deriva, invece, la frazione organica del suolo. I composti organici possono mantenersi inalterati per lunghi periodi (composti non-umici) o andare incontro a profonde e veloci trasformazioni della loro struttura chimica originaria (composti umici o humus). L'acqua e l'aria occupano gli spazi liberi tra le particelle solide (pori), collegati fra loro a formare una fitta ed estesa rete che rende possibile il movimento dell'acqua nel suolo.

La struttura

In condizioni ambientale dove non avviene la rimozione dei componenti di un suolo, si sviluppa quello che viene chiamato suolo maturo, la pedogenesi il nome del processo che porta alla sua formazione. Il suolo maturo è caratterizzato da una successione di strati chiamati orizzonti che sono differenti tra di loro per la struttura del terreno e per la composizione dei costituenti organici ed inorganici.

L'insieme di questi strati distinti prende il nome di profilo del suolo:

- Orizzonte A: ricco dei componenti organici e povero di particelle argillose. Le particelle argillose vengono trasportate dall'acqua negli orizzonti sottostanti.

- Orizzonte B: povero di materiale organico, ma ricco di particelle argillose.
- Orizzonte C: si trovano le particelle di suolo vero e proprio e frammenti di roccia non ancora completamente alterati.

Andando più in profondità si trova la roccia inalterata.

Una risorsa naturale

Il suolo è parte importante del paesaggio e contribuisce a determinare il modo in cui la vegetazione naturale, le coltivazioni e gli insediamenti umani si distribuiscono sul territorio. Ma l'importanza del suolo risiede soprattutto nella sua duplice funzione di riserva degli elementi nutritivi e dell'acqua e di supporto meccanico (come farebbero a stare in piedi le piante se non avessero il suolo in cui affondare le radici?) per la vegetazione, consentendo la formazione di boschi, foreste ed aree protette. L'osservazione diretta ci consente di riconoscere l'effetto fondamentale della presenza del suolo: se facciamo un'escursione in montagna o in campagna possiamo vedere che accanto ad affioramenti di roccia nuda, sui quali difficilmente attecchiscono le piante, si estendono zone più o meno ampie in cui le rocce sono ricoperte da una coltre di suolo. È proprio su questo terreno che si sviluppa la vegetazione spontanea o si piantano le colture agricole. Il suolo, inoltre, riveste un ruolo di fondamentale importanza per l'uomo e gli altri organismi viventi poiché influenza la composizione delle acque. Infatti, la qualità delle riserve idriche sotterranee dipende dal destino dei prodotti inquinanti, inorganici ed organici, provenienti dalle attività agricole, industriali o dalle città e che finiscono nel suolo. Diverse proprietà chimiche e fisiche del suolo agiscono sulla concentrazione e sulla permanenza dei singoli composti inquinanti nel terreno, e quindi sulla probabilità che essi entrino in contatto con le falde acquifere superficiali contaminandole.

Il suolo può avere un grande valore per l'uomo anche se è lasciato indisturbato e mantenuto nelle sue condizioni naturali. È il caso delle aree protette (parchi e oasi): la sopravvivenza dei delicati ecosistemi di queste zone dipende anche e soprattutto dal fatto che il suolo si mantenga in buono stato e non subisca modificazioni da parte dell'uomo. Ad esempio, un tempo l'uomo considerava le zone umide come aree malsane da bonificare e destinare all'agricoltura. Oggi le zone umide sono considerate ecosistemi importanti e fragilissimi, la cui sopravvivenza può essere assicurata solo mediante un'azione attenta di mantenimento delle condizioni particolari del suolo.

Una risorsa agricola e alimentare

L'agricoltura è quella che determina una trasformazione del suolo maggiore e costituisce la forma più imponente di sfruttamento delle risorse rinnovabili (acqua, suolo, flora, fauna e atmosfera) del nostro pianeta. Essa rappresenta, infatti, l'attività produttiva principale, addirittura quasi esclusiva, di moltissimi paesi in particolare di quelli delle regioni tropicali e subtropicali. L'agricoltura utilizza il terreno per ottenere alimenti (frutta, verdura, radici e altre parti di piante che costituiscono il nutrimento quotidiano di base per più di nove decimi dell'umanità), fibre ed altri beni utili all'uomo. Praticata a quasi tutte le latitudini, si presenta in forme estremamente varie: da quella primitiva a

scarso reddito delle zone più povere della Terra (Africa, Asia e America centro meridionale), a quella moderna, ad elevata produttività per unità di superficie, delle regioni temperate (Europa e Nord America).

Nel corso degli ultimi anni, per far fronte alle esigenze alimentari della popolazione mondiale in crescita (senza però poter ampliare la superficie dei terreni coltivabili perché non produttivi o perché occupati dalle città), l'agricoltura ha subito una vera e propria rivoluzione. Essa è diventata intensiva, cioè ad alta produzione per unità di superficie, e specializzata, ossia rivolta verso la coltivazione di poche colture selezionate e migliorate per essere più produttive o qualitativamente migliori. Tutto ciò è stato conseguito grazie al progresso delle tecniche e delle tecnologie agronomiche, all'introduzione di sistemi di irrigazione sempre più efficienti ed al crescente uso di fertilizzanti chimici e di fitofarmaci di facile impiego ed economicamente convenienti, anche se in alcuni casi inquinanti.

Formazione di un suolo

La formazione del suolo è frutto di lunghi processi (pedogenesi) che prevedono, in generale, l'alterazione (cioè la trasformazione) dei composti inorganici (minerali e rocce) e dei composti organici (piante e animali morti o sostanze da loro rilasciate, come foglie ed escrementi) presenti nella zona, la loro deposizione e la successiva formazione di nuovi minerali e nuove molecole organiche.

La composizione e la struttura finale di un suolo dipendono dai seguenti fattori:

- la roccia madre (o matrice litologica), ossia il materiale di origine (rocce, argille, calcari, ecc.) del suolo;
- il clima, che è considerato il maggiore responsabile della formazione e della definizione delle caratteristiche e delle proprietà del suolo;
- l'acqua e la temperatura, che influenzano la maggior parte dei processi fisici, chimici e biochimici importanti nel corso della formazione del suolo maturo;
- l'esposizione al sole;
- l'attività delle entità biotiche (vegetazione, micro e macro fauna e flora);
- il rilievo, definito dall'altitudine e dalla pendenza del terreno;
- il tempo, in quanto i diversi prodotti dell'alterazione e la definizione delle caratteristiche del suolo si verificano in tempi più o meno lunghi;
- l'attività umana.

L'azione degli organismi

Gli organismi possono contribuire alla disgregazione della roccia madre:

- le radici delle piante che si insinuano nelle fessure della roccia e possono produrre sostanze acide che aiutano la disgregazione;
- alcuni molluschi marini scavano fori nella roccia che utilizzano da rifugio aiutati da sostanze acide che producono;
- i licheni riescono a penetrare tra i granuli di minerale della roccia con le loro propaggini microscopiche;
- alcuni batteri producono anidride carbonica, ammoniacca, acido nitrico e acido solforoso, tutte sostanze che reagiscono con i minerali e ne favoriscono l'alterazione;
- gli organismi morti vanno incontro a decomposizione, un processo che libera sostanze come gli acidi umici, anidride carbonica e ammoniacca.

Gli organismi che si muovono nel terreno possono contribuire a frantumare ulteriormente le particelle del suolo, come vermi e coleotteri, che trasportano i resti di piante e di animali dalla superficie negli strati inferiori.

Tanti suoli diversi

Lo spessore del suolo dipende dalla pendenza del terreno. Se il terreno è in pendenza i detriti di roccia non si accumulano sul posto perché, per azione della forza di gravità, rotolano verso il basso. Se il terreno è molto ripido, il suolo è del tutto assente come si può osservare sulle pareti rocciose in montagna.

Il fattore più attivo nella genesi del suolo è indubbiamente il clima: gli elementi maggiormente coinvolti sono l'intensità e la frequenza delle piogge, l'evaporazione, la temperatura ed i venti. Senza l'acqua delle precipitazioni le attività chimiche e biologiche non sono possibili. Infatti, l'acqua discioglie una parte dei sali minerali contenuti nel suolo: questi possono reagire fra di loro dando origine a composti assimilabili da piante e animali. Tuttavia, un eccesso di pioggia può filtrare i sali e allontanarli durante lo scorrimento (lisciviazione), impoverendo il suolo stesso. Così, ad esempio, nei climi caldi dove le precipitazioni sono particolarmente intense (come nelle zone equatoriali), molti sali ed elementi nutritivi (come l'azoto, il calcio, il sodio, il potassio, ecc.) vengono rimossi e il suolo diventa meno fertile. Viceversa, nei climi aridi la poca acqua contenuta nel suolo evapora lasciando in superficie i sali disciolti: il suolo è altrettanto poco fertile ma perché è diventato troppo salino.

La temperatura può agire in diversi modi: in genere l'attività chimica e biologica è favorita dalle alte temperature, mentre è ridotta dal freddo e cessa quando l'acqua del suolo è gelata. Così nei suoli tropicali il materiale organico ed inorganico è del tutto alterato chimicamente, mentre nei suoli gelati della tundra esso si presenta frantumato, ma solo meccanicamente; difatti l'acqua penetra nelle fessure delle rocce, trasformandosi in ghiaccio, aumenta di volume e le frantuma. Anche il vento interviene attivamente nel processo pedogenetico: esso può incrementare l'evaporazione, e, nelle regioni aride che mancano di una copertura vegetale, può sollevare e

trasportare per lunghe distanze la parte superficiale del suolo (erosione eolica), che si va poi ad accumulare in zone diverse da quella di origine.

Il tempo necessario per la formazione di un suolo dipende dalla latitudine:

- in ambienti caratterizzati da un clima temperato, si forma 1 cm di suolo ogni 200-400 anni;
- più veloce è la formazione di un suolo in zone tropicali umide dove occorrono 200 anni;
- perché si accumulino una quantità di sostanze per rendere fertile un terreno è necessario un periodo di 3.000 anni.

Per questi motivi il suolo è considerato una risorsa non rinnovabile: una volta distrutto, è perduto.

Classificazione

Il suolo copre circa un terzo dell'intera superficie terrestre, con uno strato di spessore variabile da una decina di metri, ad un minimo di pochi centimetri, a seconda dell'intensità e della durata dei processi di trasformazione subiti dalle rocce dalle quali deriva. I fattori responsabili della formazione del suolo agiscono in modo tale da portare a suoli di tipo diverso sia a livello di grandi aree geografiche, sia all'interno di piccole regioni.

Il suolo, infatti, non è per nulla uguale in tutto il mondo: ogni zona, più o meno ampia, del nostro pianeta possiede clima, rocce e vegetazione diversi e quindi possiede anche un suolo con caratteristiche proprie e uniche.

Al mondo esistono numerosi metodi di classificazione dei suoli. Tutti hanno l'obiettivo di organizzare i diversi tipi di suolo secondo un determinato criterio, legato o a un particolare fattore di pedogenesi o a un'altra specifica caratteristica del suolo.

Anche se vi sono molti legami tra le diverse classificazioni ufficiali, ne manca una uguale per tutti i paesi a livello internazionale. Tra le principali classificazioni di suoli, si possono ricordare quella del Dipartimento di Agricoltura americano (U.S.D.A.), quella della F.A.O. (Organizzazione delle Nazioni Unite per l'agricoltura e l'alimentazione nel mondo) e quella dell'U.N.E.S.C.O. (Organizzazione delle Nazioni Unite per l'educazione, la scienza e la cultura).

Biologia del suolo

Il suolo è il "luogo" in cui si formano e vengono scomposti materiali essenziali per gli equilibri ecologici, ma anche la sede fisica in cui vengono prodotti i nostri alimenti e, purtroppo, l'anticamera di una lunga serie di guasti ambientali che in esso cominciano per finire altrove. Ciononostante, gli studi sulla biologia del suolo (pedobiologia), rispetto per esempio a quelli sull'aria e sull'acqua, sono ancora piuttosto indietro: perché? La ragione fondamentale è che lo scienziato spesso percepisce la natura alla stessa maniera di tutte le altre persone, il che non

corrisponde sempre al modo giusto per poterla comprendere. Per capire bene la natura, insomma, bisogna andare al di là di quello che si riesce a vedere (o a sentire) e a comprendere con ragionamenti semplici. Si pensi per esempio alla nostra difficoltà di immaginare i molti processi che si verificano a livello microscopico o sub-microscopico, come quelli che si verificano nell'ambiente cellulare; oppure alla difficoltà di adattare il nostro modo di percepire lo scorrere del tempo alla scala dell'evoluzione biologica, che si misura in centinaia di milioni di anni. Ebbene, questi limiti hanno rappresentato uno dei fattori più importanti nell'indirizzare la ricerca scientifica, in qualche caso con esiti abbastanza negativi per la conoscenza: è il caso della biologia del suolo.

Un ambiente ricco di vita

Anche se sugli organismi del suolo non si sa molto, è certo che esso non è un ambiente inerte e sterile, ma è invece un ambiente dinamico e ricchissimo di vita. La maggior parte degli organismi vive entro il primo metro di profondità e, in generale, gli spazi biologici che essi occupano e le loro attività biologiche sono di scala molto piccola. La crescita delle piante coltivate, per esempio, dipende dal modo in cui le particelle solide del suolo si organizzano per permettere che si formino spazi di circa 0,2 mm di diametro. Inoltre, per l'apporto di sostanze nutritive come i nitrati, queste piante dipendono dall'attività di microrganismi di circa 1 μm (1.000 μm = 1 mm). Il suolo è una risorsa di grande valore ambientale, e nel contempo è anche un sistema ecologico difficilmente recuperabile ogni volta che la sua salute viene compromessa dall'inquinamento prodotto dall'uomo. Esso svolge una straordinaria attività di mantenimento degli equilibri ecologici e gioca un ruolo di importanza cruciale nella protezione della salute umana. Lo prova la sua complessa attività di filtro biologico e chimico, in grado di rallentare e limitare gli inquinanti chimici pericolosi che, penetrando dagli strati più superficiali verso quelli più profondi, rischiano di arrivare nelle acque di falda che beviamo.

Vita e materia organica

La frazione organica del suolo proviene dagli organismi che vivono sopra e sotto la sua superficie. La molteplicità di tali organismi e l'esorbitante numero di sostanze che essi sintetizzano, che vanno dai semplici aminoacidi ai grandi polimeri naturali come la lignina, spiegano la grande varietà di materia organica presente nel terreno. Nel suolo i residui degli organismi vegetali e animali non sono tutti biodegradabili alla stessa maniera. Buona parte di questi residui rimane pressoché immutata per periodi anche piuttosto lunghi, accumulandosi nel tempo. A ciò si deve aggiungere che in molti ambienti come le torbiere e le brughiere di latitudini o di altitudini elevate, il clima è dominato per la maggior parte dell'anno dalle basse temperature atmosferiche che rallentano i fenomeni di decomposizione. Quando la materia organica del suolo perdura nel tempo, si forma uno strato superficiale costituito da una matrice color bruno che, se da un lato ha perso le caratteristiche macroscopiche dei materiali originali da cui deriva, dall'altro è in grado di mantenersi in questa fase per periodi indefiniti. La sostanza che ne deriva prende il nome di humus. L'humus è

stato studiato a lungo, soprattutto dal punto di vista della sua chimica; ciononostante, a tutt'oggi non è possibile descriverne nel dettaglio la composizione. Per esempio, è noto che una parte dell'azoto organico che contiene è riferibile alla presenza di aminoacidi, amminozuccheri e acidi nucleici; tuttavia, non è del tutto chiara la natura della parte restante. Quello che si può dire, tuttavia, è che l'humus è un materiale fondamentale nel garantire un serbatoio di materia organica utile agli organismi del suolo.

Biologia della terra

Nel suolo il ruolo biologico principale, in termini puramente quantitativi, è giocato dai microrganismi. Tuttavia, se è vero che i microrganismi rappresentano gli esseri viventi più "presenti" nell'ambiente ipogeo, è vero anche che da soli non possono spiegare tutti i fenomeni ecologici che hanno luogo nel suolo. Molti fenomeni che, per esempio, sono collegati con il ciclo dei nutrienti, di fatto riguardano organismi che occupano posizioni molto diverse nelle reti ecologiche del suolo. Il ruolo di particolari gruppi biologici oggi può essere studiato in vari modi e permettere l'elaborazione di una sorta di schema organizzativo dell'ecologia ipogea. Un principio molto usato per la classificazione di questi gruppi biologici tiene conto delle loro dimensioni. Vengono così individuate cinque categorie fondamentali di organismi ipogei:

- microflora: batteri e funghi;
- microfauna: protozoi e nematodi;
- mesofauna: collemboli, acari, enchitreidi e altri;
- macrofauna: isopodi, molluschi, miriapodi, lombrichi e altri;
- megafauna: anfibi, rettili e mammiferi.

Vari fattori

Un suolo che dal punto di vista della pedogenesi viene considerato maturo può essere definito come lo strato della roccia sedimentaria che viene abitato dagli organismi viventi. Alla fine della pedogenesi (processo che in realtà non finisce mai perché tutti i suoli sono in lento e continuo cambiamento) il suolo si trasforma in un serbatoio pressoché illimitato di organismi. La biodiversità che ne consegue è di altissimo valore ecologico, e di grande utilità anche per l'uomo. Le caratteristiche della biodiversità dei microhabitat del suolo sono definite in maniera diretta da molti fattori, ma soprattutto dal variare della disponibilità di acqua e aria e della temperatura.

Acqua: gli spazi (pori) che si formano fra le particelle solide giocano un ruolo decisivo per la presenza di acqua nel suolo e, di conseguenza, per la presenza degli organismi. Il contenuto idrico viene ripartito nelle varie forme chimiche/fisiche che l'acqua può assumere: vapore, acqua gravitazionale, acqua capillare, acqua igroscopica, acqua di cristallizzazione. L'acqua gravitazionale si accumula nelle cavità più grandi e tende a precipitare negli strati più profondi per semplice effetto del peso. Essa probabilmente rappresenta la fonte di approvvigionamento idrico più immediata per la comunità biologica ipogea. L'acqua capillare si raccoglie in cavità e spazi microscopici, ove viene trattenuta con una certa energia. L'acqua igroscopica si lega con un'energia ancora superiore alle

diverse sostanze presenti nel suolo, da cui si intuisce che la sua disponibilità biologica è ancor più limitata. L'acqua di cristallizzazione non è disponibile per gli organismi. L'acqua, quindi, viene trattenuta dal suolo con una certa energia che può variare a seconda della particolare forma che essa assume. È sulla base di questo principio che l'acqua tende a spostarsi nel suolo, interferendo ovviamente con la capacità delle piante e degli altri organismi di assumere e mantenere il giusto livello di idratazione. Tutto questo riveste un'importanza primaria perché non condiziona soltanto la presenza/assenza di organismi ipogei, ma anche le loro migrazioni circadiane (giornaliere) o stagionali.

Aria: in linea di principio l'esame dell'atmosfera ipogea denota una composizione "qualitativa" molto simile a quella dell'atmosfera epigea, con alcune significative differenze "quantitative", cioè relative al dosaggio dei singoli gas. Per esempio, nel suolo la sola CO₂ è presente in quantità circa dieci volte superiori rispetto a quella dell'aria dell'atmosfera epigea, mentre l'O₂ è presente in misura minore. L'atmosfera ipogea inoltre è spesso satura di vapore acqueo. In carenza di ossigeno il suolo può sostenere la respirazione della comunità biologica residente per non più di qualche giorno. Tuttavia, in condizioni normali, è molto improbabile che l'O₂ costituisca un fattore limitante, perché nei pori si conserva aria sufficiente a garantire un apporto abbondante (si tenga presente che nell'aria la diffusione dell'O₂ è 300.000 volte maggiore che nell'acqua).

Temperatura: la temperatura che si ha nei microhabitat del suolo è direttamente proporzionale alla temperatura atmosferica e alla radiazione solare che colpisce gli strati superficiali. Inoltre, essa è a sua volta influenzata da fattori biologici, come la presenza di vegetazione. Le escursioni termiche seguono ritmi circadiani e stagionali, e in superficie possono registrare valori che oscillano fra qualche grado sottozero e +60°C (in relazione alla latitudine e all'altitudine). Via via che si scende in profondità, comunque, queste escursioni termiche sono molto meno consistenti. Le temperature elevate del suolo spesso si accompagnano a condizioni di aridità che interagiscono in maniera assai complessa con gli organismi ipogei, di regola con esiti negativi soprattutto a carico dei processi respiratori. Tuttavia, in relazione alle condizioni termiche in cui si svolge la vita ipogea, il dato più importante risiede nel fatto che le escursioni rapide e molto estese sortiscono effetti molto più dannosi delle condizioni estreme contraddistinte da andamento costante.

Biologia degli animali ipogei

Un primo importante concetto da comprendere prima di affrontare un excursus sulla fauna del suolo, è che le conoscenze attuali non permettono di elencare con certezza tutti i tipi di animali che abitano questo ambiente naturale così importante. Di fatto, i dati disponibili ai giorni nostri riguardano gli animali che già sono stati studiati nella gran parte degli ecosistemi del pianeta. Ma nessuno può dire se questi dati sono effettivamente completi di tutte le specie ipogee, perché ancora oggi molte zone del globo non sono state esplorate a fondo per quanto riguarda la componente biologica residente nel suolo.

Un campionario stupefacente di animali. Un criterio molto utilizzato per mettere un po' di ordine nella fauna che vive nei primi strati del terreno prevede una classificazione basata sulle dimensioni

dei vari gruppi tassonomici. Questo criterio, tuttavia, viene ritenuto arbitrario e non soddisfacente, perché non è in grado di offrire informazioni utili alla comprensione delle relazioni che si stabiliscono fra una specie animale e le altre specie conviventi. Un modo di procedere molto più utile sarebbe quello di considerare, più che le dimensioni corporee, le abitudini alimentari e il ruolo di ogni singola specie nelle reti ecologiche ipogee. La conoscenza approfondita di questi aspetti infatti sarebbe importantissima per capire come funziona il suolo inteso come sistema naturale dotato di una sua precisa identità ecologica. In linea generale, la fauna del suolo appartiene ai gruppi tassonomici dei Protozoi, dei Nematodi, degli Anellidi, dei Molluschi, degli Artropodi e dei Vertebrati. Naturalmente queste informazioni riflettono soltanto una parte delle conoscenze biologiche necessarie per riuscire a rendere conto della complessità ecologica del suolo. Per avere un quadro più dettagliato occorrerebbero anche altre informazioni, come quelle che riguardano l'abbondanza relativa delle singole specie, la loro diversa distribuzione (nello spazio e nel tempo) e la natura dei loro rapporti ecologici. In questo speciale cercheremo dunque di fornire le principali conoscenze sui gruppi zoologici del suolo, nella piena consapevolezza che fra le molte specie che vivono pochi centimetri sotto la superficie del terreno si stabiliscono reti di relazioni su cui c'è ancora molto da scoprire.

Protozoi e nematodi

Protozoi. I protozoi possono essere considerati animali unicellulari (formati da una singola cellula) e hanno dimensioni comprese fra i 2 e diverse centinaia di μm (ricordiamo che: $1.000 \mu\text{m} = 1 \text{ mm}$). Essi sono estremamente abbondanti e ben distribuiti in tutto lo spessore dei primi centimetri del suolo, e la loro diffusione geografica contempla climi che vanno dalle aree calde e siccitose tipiche dei deserti a quelle fredde e umide tipiche della tundra. I flagellati e le amebe rappresentano la maggior parte dei protozoi del terreno, soprattutto nel contesto di quelle comunità biologiche molto particolari che si formano a ridosso delle radici delle piante (rizosfera). I protozoi sono particolarmente importanti nell'ecologia complessiva del suolo e il loro ruolo è sostanzialmente quello di esercitare un controllo sulle popolazioni di batteri di cui si nutrono.

Nematodi. I nematodi – che, ricordiamo, sono vermi cilindrici pseudocelomati, ossia privi di un vero celoma – hanno dimensioni che vanno da poche decine di μm a circa 2 mm. Essi svolgono una funzione fondamentale nell'ecologia del suolo perché, a seconda delle specie, possiedono abitudini di vita differenti: infatti possono essere predatrici oppure parassite di piante e animali. Tuttavia, si può sinteticamente affermare che, nel suolo, il ruolo dei nematodi risiede principalmente nel controllo dell'abbondanza di altri organismi e nella demolizione della sostanza organica. I nematodi, inoltre, come già visto anche per i protozoi, sono predatori molto efficaci di batteri.

Anellidi e molluschi

Anellidi. È bene anzitutto fare mente locale sul fatto che, a differenza dei nematodi, gli anellidi sono vermi dotati di un vero celoma, e che filogeneticamente occupano una posizione molto differente rispetto ai primi. I principali rappresentanti di questa particolare componente della pedofauna sono gli oligocheti, vale a dire i comuni lombrichi a sezione circolare caratterizzati da una metameria

corporea (la ripetizione di strutture anatomiche identiche lungo l'asse principale del corpo) molto accentuata e da una lunghezza che supera facilmente i 10 mm. Rispetto ai gruppi tassonomici discussi finora, gli oligocheti sono animali contraddistinti da una minore dipendenza dalla quantità d'acqua presente sottoterra. Contrariamente a quanto si potrebbe pensare, tradizionalmente, gli anellidi, e gli oligocheti in particolare, sono stati animali molto studiati dai biologi, a partire da Charles Darwin che se ne occupò con spiccato interesse. Del resto, la loro importanza negli equilibri ecologici del suolo è indiscussa, dal momento che essi partecipano a tutti i processi di rimescolamento della sostanza organica e della componente minerale delle particelle terrose, aumentandone la fertilità.

Molluschi. I molluschi, che misurano, nella maggior parte dei casi, da pochi mm a qualche decina di mm, sono stati per molto tempo trascurati negli studi di pedobiologia, per la semplice ragione che storicamente essi sono stati percepiti più come animali genericamente epigei che come veri animali ipogei. Questa idea, tuttavia, per quanto non corretta, aveva un suo motivo logico sensato, dal momento che, in termini di quantità, raramente i molluschi figurano fra gli animali dominanti nella vita del suolo. Attualmente, comunque, le informazioni più aggiornate sulla biologia ed ecologia dei molluschi indicano che questi animali entrano a fare parte di molte reti trofiche caratteristiche dell'ambiente ipogeo. Sotto tale profilo il gruppo tassonomico principale è quello dei gasteropodi polmonati (con o senza conchiglia), la cui funzione ecologica va prevalentemente messa in relazione con la demolizione della materia organica presente nei livelli più superficiali del suolo. Spesso, tuttavia, i gasteropodi polmonati possiedono abitudini alimentari da erbivori, dal momento che l'alimento principale di molte specie è costituito da foglie e altri residui vegetali.

Artropodi

Con gli artropodi si entra certamente nel gruppo tassonomico quantitativamente più rappresentativo della fauna ipogea. Anche sul piano della variazione dimensionale, comunque, gli artropodi che vivono nel suolo detengono un primato non indifferente, come documentato dal fatto che la loro lunghezza passa dalle poche decine di μm degli acari più minuscoli, alle svariate decine di mm dei miriapodi più lunghi. In linea generale, i gruppi di artropodi più rilevanti sono individuabili nei già citati acari, nei collemboli (insetti apterigoti), nei miriapodi e negli araneidi. In relazione alle caratteristiche degli ambienti studiati, tuttavia, possono risultare particolarmente rappresentati anche altri gruppi di artropodi, come per esempio gli pseudoscorpioni, gli isopodi (porcellini di terra) e diversi insetti forniti di ali come i coleotteri, i ditteri e gli imenotteri. In considerazione dell'ampia gamma di artropodi residenti nel suolo, è impossibile individuare una loro caratteristica trofica dominante che sia in grado di identificarli in un unico ruolo ecologico. In altre parole, l'artropodofauna del suolo è così ricca, sia in termini tassonomici sia in termini morfologici, che i modi di vita e le abitudini alimentari delle varie specie arrivano praticamente a coprire l'intero spettro di nicchie ecologiche che questo ambiente mette a disposizione. Per esempio, nell'ambito degli aracnidi, gli scorpioni, gli opilionidi e gli pseudoscorpioni sono tutti predatori; tuttavia, molti acari (anch'essi aracnidi) sono detritivori, così come lo sono gli isopodi (crostacei). Fra i miriapodi,

esistono numerose forme erbivore, come i sinfili, mentre la maggior parte dei chilopodi e dei diplopodi sono rispettivamente predatrici e detritivore. Se poi si guarda agli insetti, le possibilità sono pressoché infinite, con gruppi come gli ortotteri, totalmente erbivori, e gruppi come i dipluri, che invece sono per lo più predatori. Fra questi due estremi, inoltre, si trova una fascia intermedia rappresentata da una vasta serie di artropodi la cui dieta è molto variabile. Basta infatti citare il caso dei coleotteri, per verificare quale grande diversità di regimi alimentari può regnare nell'ambito di un medesimo gruppo zoologico. Questo stesso ragionamento, peraltro, vale anche per gli imenotteri, gli emitteri e i ditteri.

Vertebrati

Negli studi sulla biologia del suolo, ai vertebrati è stata riconosciuta l'importanza che meritano soltanto negli anni recenti. Il fatto che questi animali siano dotati in media di una mobilità molto più pronunciata rispetto agli invertebrati probabilmente ha fatto passare in secondo piano alcuni loro adattamenti alla vita ipogea di cui oggi viene riscoperta l'importanza. Con il tempo, in pratica, i biologi si sono resi conto che, pur essendo dotati di una grande flessibilità ecologica, molti vertebrati intrattengono con gli ambienti di suolo rapporti molto stretti. Va subito ricordato che anche la pedofauna vertebrata, dai pedobiologi chiamata anche megafauna, mostra una variabilità dimensionale notevole, che va dai pochi cm degli insettivori (vedi il toporagno) e dei piccoli anfibi, alle dimensioni ben maggiori degli ofidi e dei roditori più grandi. Come si può intuire, i vertebrati adattati all'esistenza ipogea comprendono tutti i gruppi che abbracciano l'intera serie dei tetrapodi. Molti di questi, per esempio, trascorrono una parte dei loro cicli di vita in cavità naturali o ripari scavati appositamente nel terreno, proprio per i vantaggi che queste soluzioni di vita offrono sia in termini di protezione dai predatori, sia in termini di migliore regolazione di alcune funzioni fisiologiche (come, per esempio, la termoregolazione e il risparmio idrico). Diversamente da quanto forse ci si aspetterebbe dopo ciò che è stato detto in materia di flessibilità ecologica, i vertebrati includono alcuni animali che possono, anzi devono, vivere in condizioni ecologiche molto ristrette, come quelle tipiche di alcuni habitat ipogei degli ecosistemi tropicali. Ciò viene testimoniato dagli anfibi a corpo vermiforme – i cosiddetti gimnofioni (o cecilie) – i cui adattamenti al suolo hanno raggiunto un grado di specializzazione formidabile. Questi animali, oltre ad avere perduto completamente gli arti, sono spesso caratterizzati da una regressione degli occhi e da una riduzione dei pigmenti cutanei. Il loro sistema di vita, quindi, è assai simile a quello di molti invertebrati, a cui assomigliano per "convergenza adattativa".

Ambiente e territorio

Il suolo è un sistema dinamico in equilibrio con gli altri elementi dell'ambiente circostante, che l'uomo può compromettere attraverso le sue attività e comportamenti. Lo sviluppo urbano delle città, l'espansione industriale, la costruzione di infrastrutture quali ferrovie, strade, ponti, l'agricoltura, sono tutte attività che hanno modificato la destinazione del suolo nel corso del tempo

e ne hanno in alcuni casi determinato il degrado. Il degrado del suolo si manifesta, in tempi più o meno lunghi, attraverso alcuni fenomeni: la desertificazione, l'erosione dello strato superficiale, l'aumento anomalo del contenuto in sali (salinizzazione), l'acidificazione e la presenza di inquinanti. L'inquinamento del suolo è un fenomeno particolarmente grave poiché ha ripercussioni, oltre che sulla sua produttività, anche sulla composizione delle acque con cui viene in contatto (specialmente quelle potabili delle falde acquifere) e, sia pure in minor misura, dell'atmosfera. È pertanto importante che l'uomo svolga le proprie attività in modo compatibile con il mantenimento di un livello elevato di qualità ambientale del suolo, intervenendo, dove necessario, per eliminare l'inquinamento prodotto negli anni passati (attività di ripristino), e soprattutto evitando un suo sfruttamento eccessivo o errato.

L'inquinamento diretto del suolo, mediante il rilascio di inquinanti inorganici e/o organici, può avvenire:

- nei terreni agrari, quando l'equilibrio naturale viene turbato dalle acque di irrigazione inquinate, dai fitofarmaci, dagli erbicidi, dai fertilizzanti, ecc.
- nelle aree urbane, industriali, dismesse e vicino alle miniere, in conseguenza dello smaltimento non corretto di reflui (acque utilizzate nei processi produttivi o di fogna) e al deposito di materiali di scarto contenenti prodotti chimici inquinanti.

L'erosione

Il termine erosione identifica il lento sgretolamento del suolo per azione di agenti come la pioggia battente, le acque di ruscellamento (acqua che proviene dalle precipitazioni e che scorre sulla superficie del terreno) e il vento. L'erosione è un processo naturale che dipende da numerosi fattori quali la conformazione topografica dell'area considerata, la composizione e la struttura del suolo (in particolare, la sua granulometria), il clima (soprattutto come regime delle precipitazioni) e lo stato della copertura vegetale. Alcune attività dell'uomo, quali l'agricoltura intensiva, la deforestazione, l'allevamento intensivo e l'impiego di sistemi di irrigazione inefficienti o inadeguati, accelerano ed intensificano il processo erosivo.

La salinizzazione

La formazione di terreni salini è un processo che si sviluppa quando l'acqua si allontana dal terreno prevalentemente per evaporazione e traspirazione, anziché per percolazione. Ciò si verifica in modo particolare nelle zone aride, ove le precipitazioni non sono sufficienti ad eliminare i sali presenti nel terreno. La salinizzazione è però frequente anche nei terreni agricoli irrigati. L'irrigazione, indispensabile nelle regioni con clima arido, se è effettuata in modo non razionale o con acque non idonee, può causare un accumulo di sali (in particolare di cloruro e solfato sodico) tale da ridurre la capacità delle piante di assorbire attraverso le radici gli elementi nutritivi, rendendo pertanto sterile il suolo. La bonifica dei suoli salini è apparentemente un processo molto semplice, in quanto i sali possono essere rimossi con l'acqua. Prima di irrigare è però necessario intervenire per aumentare la permeabilità del suolo, accrescendo cioè la sua porosità (numero e dimensione dei pori), per

favorire il passaggio dell'acqua che allontana i sali in eccesso. In natura esistono alcune specie vegetali che tollerano la salinità, cioè sono in grado di sopravvivere anche in presenza di un'elevata quantità di sali nel suolo.

La desertificazione

La desertificazione è un fenomeno complesso a cui vanno incontro tutte quelle zone nelle quali le condizioni sfavorevoli di temperatura e di umidità, le due componenti fondamentali del clima, rendono impossibile o precaria la crescita vegetale. Come in molti altri casi che riguardano i processi naturali, l'uomo può influenzare in parte l'andamento della desertificazione, a volte in maniera del tutto negativa. L'incendio e la distruzione della savana ai limiti della foresta tropicale, ai fini di liberare nuovo terreno per la coltivazione dei cereali o del foraggio, sono tra i peggiori esempi di eliminazione forse irreversibile di un delicato ecosistema favorendo l'avanzamento del deserto. Milioni di ettari di suoli sono ogni anno coinvolti in nuovi processi di desertificazione. Chiazze di terreno degradate possono trovarsi a centinaia di chilometri dal deserto più vicino: possono poi espandersi ed unirsi l'una con l'altra, creando delle condizioni simili a quelle desertiche.

Quali sono le aree a rischio? La maggior parte delle regioni che rischiano di tramutarsi in terre aride si trovano in prossimità delle cinque aree desertiche mondiali:

- il Deserto di Sonora tra Messico e Stati Uniti;
- il Deserto di Atacama in Sud America;
- una larga area desertica che dall'Oceano Atlantico corre verso oriente e comprende il Deserto del Sahara, il Deserto Arabico, i deserti dell'Iran e dell'ex Unione Sovietica, il Gran Deserto Indiano nel Rajasthan e infine i deserti del Taklamakan e del Gobi, che si trovano in Cina e in Mongolia;
- il Deserto del Kalahari in Sud Africa;
- gran parte dell'Australia.

Ciò non toglie che la minaccia della desertificazione sia presente anche in zone più temperate (seppure tendenzialmente aride), come il Sud d'Italia, o addirittura umide, come la Foresta Amazzonica.

Quali sono le cause? Fondamentalmente, le cause di origine umana della desertificazione sono tre:

- l'eccessivo sfruttamento delle aree a pascolo e delle aree adiacenti agricole, che causano la scomparsa della copertura erbacea e l'esaurimento delle fertilità dei suoli;
- il sovraccarico d'acqua, che nelle zone umide provoca l'innalzamento progressivo della falda acquifera che danneggia le colture a partire dalle radici, mentre in quelle aride, causa la salinizzazione dei terreni per la forte evaporazione;

- il disboscamento, un fenomeno che, soprattutto nelle regioni umide, lasciando il terreno privo della protezione della vegetazione e riducendo la capacità di ritenzione dell'acqua nel suolo, permette alle violente piogge tropicali di esercitare una forte azione erosiva.

L'inquinamento del suolo

Tra i vari inquinanti atmosferici che agiscono negativamente sull'equilibrio dei suoli vi sono i composti gassosi di origine fotochimica, come l'ozono e i radicali liberi, e tutti i composti solforati e azotati responsabili dell'aumento dell'acidità delle piogge. In particolare, le piogge acide determinano un abbassamento del pH del suolo (acidificazione) che, per i suoli agrari, può tradursi in un apporto utile, perché va a soddisfare i fabbisogni nutritivi di molte colture tolleranti l'acidità del terreno, mentre, per i suoli forestali, che sono già lievemente acidi, provoca un lento ma progressivo danneggiamento della vegetazione, fino a provocarne la morte. Infine, un'altra fonte di inquinamento del suolo sono le acque destinate all'irrigazione dei terreni coltivati. Le acque utilizzate per l'irrigazione possono contenere sostanze organiche naturali o di sintesi, sostanze minerali ed inorganiche o microrganismi, che provengono da scarichi industriali o fognari non correttamente depurati e sono trasmessi al terreno. Questo fenomeno può provocare l'introduzione nella catena alimentare di inquinanti dannosi, oltre a provocare un abbassamento della produzione agricola.

L'inquinamento in agricoltura. Le moderne aziende agrarie utilizzano oggi prodotti chimici di origine industriale (fertilizzanti e fitofarmaci) in grande quantità. Se questi prodotti vengono utilizzati in modo improprio e in quantità eccessive, possono dar luogo a fenomeni di inquinamento delle acque, dell'aria e del suolo e a fenomeni di tossicità per l'uomo e gli animali. I vantaggi economici derivanti dall'uso di molte di queste sostanze hanno fatto trascurare a lungo gli effetti negativi che esse possono determinare, sia direttamente (per assunzione o contatto), sia alterando l'equilibrio dell'ecosistema esistente in origine. In particolare, l'impiego sempre più diffuso dei fitofarmaci ed il loro numero sempre crescente ha posto in primo piano il problema del loro destino una volta che hanno raggiunto il terreno e dell'effetto che essi possono esercitare sull'ambiente circostante.

L'agricoltura sostenibile

Come abbiamo visto, il suolo è un elemento essenziale per la sopravvivenza dell'intera umanità. L'uomo ha sviluppato nel tempo modi di coltivare che consentono di ottenere buone produzioni a costi contenuti. L'agricoltura sostenibile nasce dall'integrazione di pratiche colturali tradizionali, che fanno uso di prodotti chimici come fertilizzanti e fitofarmaci, con quelle biologiche, ossia pratiche a minore impatto ambientale che richiedono una conoscenza profonda delle complesse interazioni tra suolo, acqua, vegetazione e animali.

Ogni anno 30-80 miliardi di tonnellate di suolo vengono perse per erosione: è come se un treno carico di terra scaricasse il proprio carico nello spazio 12 volte ogni anno. Per prevenire o arrestare

l'erosione si impiegano diverse tecnologie e tecniche. Una delle tecniche più efficaci utilizza alcune piante, specie erbacee da prato, che, trattenendo con le radici le particelle di terra, limitano l'effetto erosivo del vento e dell'acqua. Spesso la semina delle specie erbacee avviene dopo aver coperto il suolo con una fitta rete biodegradabile, di origine vegetale (rafia o canapa), che funge da supporto ai semi durante la loro germinazione. Gli agricoltori adottano alcuni accorgimenti per ridurre o bloccare l'erosione del suolo da parte del vento o dell'acqua, quali: piantare alberi lungo i confini dei campi; piantare colture erbacee (come i cereali) in modo da ricoprire il suolo nei mesi di maggiore rischio di erosione (autunno e primavera), lavorare meno il terreno, ecc.

Metalli pesanti

I metalli pesanti (cadmio, cobalto, cromo, rame, mercurio, manganese, nichel, piombo, zinco, molibdeno, stagno) sono tra i più importanti inquinanti del suolo. Sono, infatti, molto diffusi, tossici e persistenti, ovvero hanno la caratteristica di rimanere in circolo nell'ambiente (attraverso la catena alimentare, ad esempio) per molto tempo. Questi inquinanti, se superano determinate quantità, possono causare danni agli organismi con cui vengono in contatto o che li assorbono.

Di norma il metallo presente nei terreni è assorbito dalle radici delle piante e quindi trasportato nelle foglie e nei frutti. Foglie e frutti contenenti gli inquinanti sono mangiati direttamente dal consumatore primario (uomo o animale) che li assimila nel proprio organismo. Le sostanze inquinanti si possono ingerire anche mangiando la carne di un animale che si è alimentato con vegetali inquinati da metalli pesanti. Una volta accumulati nell'organismo (uomo, animale o vegetale) in concentrazioni superiori alla norma, possono produrre gravi danni alla salute e in alcuni casi provocare la morte. Quello appena visto è il metodo di trasmissione degli inquinanti all'interno della catena alimentare: per questo è importante mantenere elevata la qualità ambientale del suolo, per evitare che gli alimenti possano contenere sostanze dannose.

In natura, i metalli pesanti si trovano in giacimenti nel sottosuolo, e senza l'intervento dell'uomo solo in pochi casi e con difficoltà riuscirebbero a diffondersi nell'ambiente circostante e in particolare nel suolo. Attualmente, infatti, la principale causa della loro diffusione è l'attività dell'uomo.

I metalli pesanti possono essere dispersi nell'ambiente o direttamente dall'industria durante alcuni processi produttivi (ad esempio dalle industrie minerarie che li estraggono dal sottosuolo oppure da altre industrie che emettono fumi e acque di scarico inquinate), o dal consumatore quando utilizza prodotti che li contengono (ad esempio le vernici, i pneumatici, i combustibili, ed altri ancora). Questi prodotti, quando vengono utilizzati o se non vengono smaltiti correttamente, provocano la dispersione di alcuni tipi di metalli pesanti. I metalli pesanti, così come altri elementi tossici, provengono quindi non solo dalle attività industriali, ma anche dalle attività civili (sono contenuti, ad esempio, anche nei liquidi delle acque di scarico delle fogne).

I governi di molti Paesi hanno posto grande attenzione a questo tipo di inquinamento e, negli ultimi anni, hanno obbligato le industrie a rispettare severi limiti di emissione di metalli pesanti e a produrre beni che ne contengono in minima quantità o non ne contengono affatto. L'obiettivo è di

mantenere il loro livello di dispersione nell'ambiente quanto più possibile al di sotto di determinate soglie considerate di sicurezza per l'uomo, gli animali e la vegetazione.

Suolo acido

Normalmente l'acidità dei suoli è da attribuire alla presenza di elevate quantità di idrogeno e alluminio. Sebbene alcuni suoli acidi derivino direttamente da rocce acide, la maggior parte di essi si forma in aree caratterizzate da elevata piovosità o coltivate. Infatti, la velocità di acidificazione dipende dalla velocità con la quale la maggior parte degli elementi nutritivi presenti vengono allontanati dal suolo (dalle piogge o, dopo essere stati assimilati dalle colture, con i raccolti) lasciando spazio agli elementi che conferiscono acidità. Nei suoli acidi è molto difficile che le piante possano crescere, anche se la sensibilità varia da specie a specie: esistono, infatti, alcune specie tolleranti ed altre che richiedono addirittura un'elevata acidità del suolo per crescere e produrre. La bonifica dei suoli acidi avviene mediante l'impiego di composti di calcio e di magnesio, come la calce (carbonato di calcio).

Trattamento e recupero

Per il suo potere assorbente, la sua capacità tampone, l'intensa attività biotica che in esso si svolge, il suolo è incline all'autodepurazione o, quanto meno, è in grado di smorzare gli effetti negativi derivanti dall'immissione di sostanze inquinanti. È evidente che la capacità auto depurante del suolo ha un limite. Se l'inquinamento supera questo limite il suolo può perdere la sua funzione di "filtro" in modo irreversibile, causando notevoli danni. A differenza dell'atmosfera e delle acque che, una volta rimosse le fonti di inquinamento, si decontaminano in tempi relativamente brevi, il terreno, pur possedendo un elevato potere di autodepurazione mediante meccanismi chimici, fisici e biologici, resta contaminato per tempi assai lunghi.

È stato osservato, infatti, che, per ridurre apprezzabilmente il contenuto in metalli pesanti di un terreno inquinato, non sono sufficienti quantità di acque corrispondenti a quelle di diversi decenni di piogge.

La presenza nel suolo di composti inquinanti, soprattutto se caratterizzati da elevata tossicità, può costituire un rischio per la salute umana e per l'ambiente tale da richiedere un intervento di risanamento da parte dell'uomo. La bonifica di un suolo può consistere nell'inattivazione o degradazione degli inquinanti (sono trasformati in sostanze meno pericolose o non pericolose del tutto) o nella loro rimozione mediante trattamenti chimici, fisici e biologici. La bonifica interessa generalmente i suoli agrari e le aree limitrofe a insediamenti industriali e a discariche abbandonate.

Una gestione sostenibile. L'obiettivo perseguito dai programmi di gestione sostenibile è di conservare e migliorare la qualità del suolo e di rendere compatibili le attività dell'uomo con il mantenimento delle funzioni vitali svolte da questa risorsa nei confronti di tutta la natura. Il concetto di qualità del suolo è però spesso di difficile definizione e i criteri impiegati dipendono anche dalla destinazione finale del suolo. Ad esempio, la qualità dei suoli agrari viene valutata in base alla produttività (resa e qualità dei prodotti) e alla presenza di inquinanti pericolosi per i



Ambiente / Terra / Suolo

consumatori, quella dei suoli forestali secondo la loro integrità e stabilità, mentre, quella dei suoli edificabili in base alla presenza di inquinanti pericolosi per gli abitanti. È inoltre importante salvaguardare l'integrità dei suoli di ecosistemi particolarmente preziosi, come le zone umide, le foreste tropicali e la savana.

Testo aggiornato ad agosto 2022