

Suolo

Biologia del suolo

Pedobiologia

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, e infatti gli studi si sono per lo più concentrati sui funghi e sui batteri. 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. Per esempio, le conoscenze sulle relazioni che riguardano i livelli superiori delle catene alimentari del suolo sono ancora piuttosto arretrate. Questo ritardo si traduce in una conoscenza delle dinamiche biopedologiche ancora incompleta e inadeguata. 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 e che a tutt'oggi sono poco conosciuti. Malgrado le difficoltà, alcuni studi hanno chiarito l'identità di singole specie normalmente residenti nel suolo e hanno consentito di formulare qualche ipotesi sulle loro funzioni ecologiche. 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

carezza 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 sotto zero 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

Sepolti vivi: la 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

Come abbiamo visto nel precedente speciale dedicato alla biologia del suolo, 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 siccite 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 sotto terra. 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 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 opilioni 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".