



# PARTE QUARTA SUOLO

## ONLINE – APPROFONDIMENTO 8.1 PEDOGENESI

Guido Baldoni

### 8.1.1 LA PEDOGENESI

Il suolo si forma dall'alterazione delle rocce e la sua dinamica può essere assimilata alla crescita di un essere vivente: si origina a partire da una roccia madre e si modifica nel tempo, tendendo a uno stadio maturo, detto *climax*; nel quale è in equilibrio con gli altri compartimenti dell'ecosistema. Il climax può però non essere mai raggiunto a causa del ripetersi di disturbi esterni, quali, ad esempio, gli interventi umani. In certi casi il suolo si degrada: diventa un substrato sterile, che ha perso le sue funzionalità (es. fertilità) per un tempo incommensurabile in termini biologici.

#### I fattori pedogenetici

I principali fattori che dirigono la pedogenesi, in ordine d'importanza, sono:

- Tipologia di roccia madre;
- Tempo;
- Clima;
- Topografia;
- Organismi;
- Uomo, con le sue molteplici attività.

Essi sono tutti interdipendenti e il percorso pedogenetico è pilotato dalla loro azione congiunta.

#### *Materiale parentale*

Il processo pedogenetico si differenzia in funzione dei minerali d'origine, anche se ciò non si è dimostrato così importante come si pensava un tempo. Più rilevante risulta, invece, il meccanismo di trasformazione. La roccia madre si altera attraverso tre fasi successive:

- Alterazioni dovute a pressioni e temperature all'interno del mantello terrestre.
- Azione chimico-meccanica a contatto con l'atmosfera, in cui è coinvolta anche la fase biotica.
- Trasporto o accumulo in loco del materiale alterato.

#### *Tempo*

Ogni suolo ha avuto un proprio inizio; dovuto, ad esempio a una frana che ha scoperto la roccia oppure a una colata lavica che ricopre un terreno. Da quel momento prende avvio il processo pedogenetico, che può svolgersi per periodi più o meno lunghi, a seconda del materiale d'origine. Esistono rocce più o meno alterabili. Le prime (es. la calcite), formano un suolo in tempi relativamente brevi (circa mille anni), le seconde, come il quarzo e i basalti, richiedono tempi compresi tra centomila e 1 milione di anni. La velocità è intermedia per i feldspati, minerali argillosi frequenti nei terreni fertili.



**FIGURA 8.1.1** (a) Valle a U formata da un ghiacciaio (fonte: Wikimedia Commons); (b) Valle a V scavata da un fiume.

### Clima

Il clima agisce sulla pedogenesi sia direttamente, con piogge, vento, escursioni termiche, ecc., sia indirettamente, determinando il tipo di vegetazione che si instaura sul suolo. Lo sminuzzamento delle rocce a opera dei fattori climatici comporta la formazione di sedimenti sempre più fini col passare del tempo, sino ad arrivare alle dimensioni della sabbia (granuli composti da un solo minerale, di dimensioni dell'ordine di qualche frazione di millimetro). Le particelle ancora più minute (argille, di alcuni micron), non possono essere ottenute dalla sola azione fisica ma devono entrare in gioco anche fattori chimici e biologici.

I principali eventi climatici coinvolti nella degradazione delle rocce sono:

- Il gelo e disgelo, detto anche gelivazione o processo crioclastico. L'acqua, all'interno delle fessure,

congelando, aumenta di volume (di circa il 9%), producendo pressioni in grado di allargare le fratture e, dopo alcuni cicli, di frantumare rocce anche tenaci.

- La disgregazione salina, chiamata anche processo aloclastico, è sostanzialmente analoga alla precedente, solo che avviene a opera dei sali disciolti nelle acque circolanti, che si accumulano nelle fessure delle rocce. È molto più lenta della gelivazione, per il tempo richiesto dalla precipitazione e crescita cristallina dei sali.

- L'erosione eolica; il vento altera la roccia per erosione non solo trasportando le particelle a grandi distanze (movimenti delle dune) ma anche per il continuo e intenso impatto delle particelle contro le masse rocciose. La pressione del vento può essere notevole, raggiungendo i  $200 \text{ kg m}^{-2}$  e determinando il distacco di particelle rocciose anche di grosse dimensioni.

- L'erosione idrica; può essere causata da diversi fenomeni. Si hanno:

- I ghiacciai, coi loro lenti movimenti, provocano una graduale disgregazione delle rocce e creano valli tipicamente a U (**FIGURA 8.1.1A**).
- I fiumi, invece, erodendo più rapidamente e incisivamente le rocce, scavano valli a V e, in certi ambienti, creano canyon (**FIGURA 8.1.1B**).
- Le piogge, con la loro seppur ridotta acidità, possono far lisciviare gli elementi dai terreni più alcalini, con la formazione dei calanchi (**FIGURA 8.1.2**).



**FIGURA 8.1.2** Calanchi nel Parco dei Gessi Bolognesi.

### Topografia

La posizione, giacitura ed esposizione agiscono indirettamente sulla pedogenesi, determinando il micro-



clima del luogo. L'influenza si ripercuote significativamente:

- sull'umidità e temperatura dei diversi ambienti pedologici;
- sul tipo di copertura vegetale del suolo durante la pedogenesi;
- sull'entità dell'erosione e sulla deposizione del materiale eroso;

Ne risultano modelli di zonazione alquanto diversificati della vegetazione e dei terreni sottostanti. Ad esempio, in pianura si insediano rapidamente specie vegetali che possono mitigare gli estremi climatici e accrescere la coesione delle parcelle terrose, rallentando la pedogenesi. In un pendio esposto a sud, nel nostro emisfero, la temperatura è maggiore di quella a esposizione settentrionale; ciò comporta una maggiore copertura vegetale, con minore erosione idrica ed eolica.

### Fattori biologici

Gli organismi tellurici sono tra gli agenti alteranti più importanti del suolo poiché capaci di modificare in maniera relativamente veloce la roccia madre, sia chimicamente sia fisicamente. La pedogenesi organica prende origine da organismi inferiori: colonie batteriche, alghe, muschi e licheni, che sono i primi colonizzatori di substrati rocciosi appena emersi (**FIGURA 8.1.3**).

Gli organismi trattengono l'acqua e l'arricchiscono di  $\text{CO}_2$ , rendendola acida, quindi con maggiore attività degradativa. In seguito, diventa importante



**FIGURA 8.1.3** Inizio di una successione ecologica su lava vulcanica.

l'attività delle piante superiori. Ad esempio il pino austriaco (*Pinus nigra* J.F. Arnold subsp. nigra), tipico dell'ambiente carsico (**FIGURA 8.1.4**) altera notevolmente il suolo emettendo essudati radicali.

Durante le successioni ecologiche (stadi di crescita, detti sere), la vegetazione evolve assieme al terreno. Quando la copertura vegetale arriva a un equilibrio col suolo, nel climax, i terreni possono essere caratterizzati in funzione delle comunità vegetali presenti su essi (ambito dello studio fitosociologico). Le radici delle piante superiori tendono ad assorbire elevate quantità di materiali, prelevandoli anche dagli strati profondi del terreno. Questi sono riportati in superficie, contenuti nei residui vegetali. Secondo Kovda (1980), le foreste di conifere, annualmente, portano in superficie 80-120 kg ha<sup>-1</sup> di sostanze minerali; quelle di latifoglie fino a 300-600 kg ha<sup>-1</sup>. Ma la più efficiente è la vegetazione erbacea delle steppe e praterie, che può estrarre fino a 1,5-2 Mg di elementi ha<sup>-1</sup> anno<sup>-1</sup>.

Anche i microrganismi svolgono un ruolo fondamentale nella pedogenesi. A loro si deve, ad esempio, l'attivazione del ciclo di molti elementi chimici, come l'azoto, lo zolfo e il fosforo. Alcuni svolgono il compito di trasformare la sostanza organica in humus; un materiale colloidale, fondamentale per la fertilità fisico-chimica dei terreni. Non va, infine, sottovalutata l'importanza della mesofauna nell'alterazione e trasporto del terreno. In questo ambito, molto attivi sono le formiche, le termiti e, soprattutto, i lombrichi, i quali prediligono ambienti umidi e possono ingerire e compostare fino a 50 Mg ha<sup>-1</sup> anno<sup>-1</sup> di terreno.



**FIGURA 8.1.4** Pino austriaco su suoli carsici delle scogliere del Friuli-Venezia Giulia (fonte: Dipartimento di Scienze della Vita, Università degli Studi di Trieste Andrea Moro – licenza CC BY-SA 4.0).

### Uomo

È evidente che molte attività antropiche influenzano il percorso pedogenetico. L'uomo ha da sempre fatto affidamento sulla capacità della pedosfera di fornirgli cibo, fibre, materiali di costruzione, aree di smaltimento dei rifiuti, ecc. Ultimamente, però, in alcune località l'intensità di sfruttamento del suolo ha raggiunto limiti preoccupanti, che ne impongono un drastico ridimensionamento. I processi antropici che possono incidere sulle caratteristiche dei suoli sono svariati e si possono suddividere nei seguenti gruppi:

*a)* Processi che determinano cambiamenti delle tipologie pedologiche. Sono interventi che modificano gli orizzonti del suolo. Un'azione diretta viene condotta dalle lavorazioni del terreno. Alcune (arature) rivoltano le zolle e sconvolgono l'ordine degli orizzonti. Altre (epicature) incidono meno sulla disposizione degli strati ma tendono ad arieggiare il suolo.

*b)* Processi che creano orizzonti sottosuperficiali costipati, impermeabili. Essi sono imputabili sia alle irrigazioni in ambienti aridi, che creano crostoni subito sotto lo strato in cui arriva l'acqua, sia ad arature condotte sempre alla stessa profondità, che creano una suola di lavorazione impenetrabile alle radici e all'acqua.

*c)* Processi che determinano la formazione di nuovi orizzonti. Ad esempio, l'apporto prolungato di sostanze ammendanti, come il letame, crea uno strato superficiale ricco di humus.

*d)* Processi che determinano l'emergenza di substrati rocciosi. Si tratta di scavi o estrazioni di materiali, che può portare in superficie della roccia madre, su cui può iniziare una nuova pedogenesi. Ciò avviene, per esempio nelle miniere a cielo aperto (**FIGURA 8.1.5**)



**FIGURA 8.1.5** Miniera a cielo aperto per l'estrazione del rame presso Bingham Canyon, Utah, USA.

*e)* Processi che modificano i pedo-paesaggi. Tipico esempio è il terrazzamento delle colline del Sud-est asiatico, per permettere la coltivazione del riso in sommersione. Altre alterazioni a livello territoriale sono rappresentate dalle opere di bonifica per il drenaggio idrico.

*f)* Processi che determinano la degradazione del suolo. Sono attività antropiche, quali la deforestazione, la cementificazione, le discariche, ecc. che possono denaturare completamente lo strato superficiale del terreno.

*g)* Processi che determinano la pedogenesi a partire da substrati artificiali. Ultimamente l'uomo si trova spesso nella necessità di ricreare un suolo che è andato perso o per causa sua (es. creazione del verde urbano, zone industriali contaminate, ecc.) o per eventi calamitosi naturali (es. eruzioni vulcaniche, inondazioni, ecc.).

Le attività umane possono, dunque, sia modificare la morfologia del terreno sia alterarne le proprietà chimico-fisiche e biologiche. Se condotte in maniera inadeguata, possono insterilirlo. Chiaramente, lo sviluppo economico e sociale umano non può essere arrestato, ma deve avvenire nel rispetto delle risorse ambientali che, nel caso del suolo coltivabile, può ricostruirsi solo in tempi estremamente lunghi.

### Il destino dei materiali alterati

Man mano che si formano, i detriti possono essere allontanati dalla roccia di origine e formare un terreno alloctono oppure possono rimanere in loco e dar vita a un terreno autoctono.

#### Terreni alloctoni

Provengono dalla degradazione di materiali molto eterogenei, spesso differenti dal substrato roccioso su cui giacciono. Di norma, sono più ricchi di elementi degli autoctoni. Raggiungono spessori elevati e sono costituiti da materiali di natura e dimensioni diverse, con caratteristiche chimico-fisiche bilanciate, quindi sono spesso fertili. Gli agenti naturali che possono veicolare i detriti sono vari, quali la gravità, l'acqua e il vento.

*a)* Terreni trasportati dalla gravità.

I suoli che si muovono per gravità, detti colluviali, sono sia quelli che si accumulano ai piedi delle montagne sia quelli formati su eruzioni vulcaniche. La loro estensione è limitata. I suoli ai piedi dei monti sono in genere poco fertili, quelli eruttati dai vulcani possono avere una buona dotazione di elementi nutritivi, come le terre nere attorno all'Etna (**FIGURA 8.1.6**)





**FIGURA 8.1.6** Terre nere in provincia di Catania, ai piedi dell'Etna.



**FIGURA 8.1.7** Terre fertili attorno al Lago di Nemi (suoli alloctoni colluviali) (fonte: Wikimedia - licenza CC BY-SA 3.0 DEED).

e le colline vulcaniche, tufiche, dell'agro romano (**FIGURA 8.1.7**), su ciascuna delle quali prospera la vite.

*b)* Terreni trasportati dalle acque.

Molto più diffusi dei precedenti sono i terreni originati da sedimenti veicolati dalle acque. Se il trasporto e sedimentazione sono avvenuti a opera delle acque di un fiume, i suoli vengono chiamati alluvionali; se trasportati dal mare si definiscono litorali e quelli mossi dal ghiaccio sono i diluviali:

- I terreni alluvionali;

hanno caratteristiche molto diverse a seconda delle dimensioni dei materiali depositati, che dipendono, essenzialmente, dalla velocità dell'acqua. Poiché la velocità di un fiume va diminuendo dalla sorgente alla foce, i materiali verso la foce risultano molto fi-

ni e frequentemente raggiungono spessori profondi. Risultano quindi generalmente assai fertili. In Italia vi sono molte pianure alluvionali, come è, ad esempio, l'intera Pianura del Po coi suoi affluenti (**FIGURA 8.1.8**), le valli dall'Adige, del Tevere e di molti fiumi appenninici, verso la loro foce.

- I terreni litoranei;

sono rappresentati da dune, in prossimità delle coste, costituite da materiali grossolani; quasi sterili perché non trattengono né gli elementi nutritivi né l'acqua (**FIGURA 8.1.9**).

- I terreni trasportati dal ghiaccio (morenici o diluviali);

si originano dai materiali erosi dalle montagne, trasportati a valle dal lento moto dei ghiacciai. In Ita-



**FIGURA 8.1.8** Pianura padana (alluvionale).



**FIGURA 8.1.9** Terreno litoraneo nella costa romagnola (fotografia di Luca Vignoli).

lia formano le Prealpi moreniche, presenti in Lombardia e nel Veneto (FIGURA 8.1.10). Sono costituiti da materiale eterogeneo in quanto a dimensioni e componenti. Sono profondi, di facile sgrondo e fertili. Particolarmente adatti alle coltivazioni arboree.

c) Terreni trasportati dal vento (eolici);

Possono essere costituiti da sabbie dei deserti attuali, che sono praticamente sterili, e interessati da intensi fenomeni erosivi (FIGURA 8.1.11); oppure da terre accumulate in antichi deserti. In quest'ultimo gruppo rientrano i loess, enormi depositi di materiale polverulento, formati milioni di anni fa in aree desertiche (ad esempio, in una parte del Midwest americano). Grazie alla profondità e all'ideale grandezza delle particelle, in presenza di sufficiente piovosità, essi sono considerati fra i più fertili suoli del mondo (FIGURA 8.1.12).



FIGURA 8.1.10 Colline di terreni moreniche nei pressi del Lago di Garda.



FIGURA 8.1.11 Dune sabbiose del deserto del Sahara (fotografia di Guido Baldoni).



FIGURA 8.1.12 Loess in Idaho (USA) (fonte: Wikimedia, foto di Lynn Suckow – licenza CC BY-SA 2.0).

### Terreni autoctoni

Hanno generalmente caratteristiche poco favorevoli all'agricoltura poiché sono superficiali e costituiti da particelle non uniformi, spesso difettose di qualche elemento. Vi sono terreni autoctoni propriamente detti, come quelli ai piedi dei monti alpini (FIGURA 8.1.13), originati dallo sgretolamento a opera del gelo di rocce dure; pertanto, poco alterate.

E vi sono terreni paraautoctoni, nei quali il detrito, pur rimanendo in loco, subisce significative trasformazioni, che, a volte, lo possono migliorare. Questo è, ad esempio, il caso delle terre rosse pugliesi, che originatesi a partire da una sottostante roccia calcarea, vengono alterate dalle condizioni climatiche e diventano ottime per la coltivazione di vite e olivo (FIGURA 8.1.14).

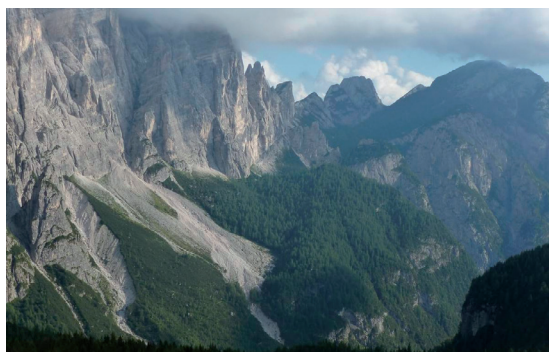


FIGURA 8.1.13 Terreni autoctoni in formazione sui conoidi ai piedi delle dolomiti bellunesi (fonte: Ospitalità Diffusa Conca Agordina – Dolomiti).





**FIGURA 8.1.14** Terre rosse della Puglia centrale (parautoctone).

**Terreni organici**

Anche i terreni organici possono considerarsi parautoctoni. Essi vengono classificati in funzione del contenuto di materia organica (**TABELLA 8.1.1**).

Gli elevati tenori organici sono dovuti ad accumuli plurimillennari di vegetazione in ambienti freddi, sommersi e riducenti, che hanno impedito o rallentato l'ossidazione biologica (mineralizzazione) dei composti organici.

La degradazione dei residui vegetali può essere avvenuta mediante vari processi e in maniera più o meno accentuata, per cui si possono avere suoli organici di natura diversa (**FIGURA 8.1.15**).

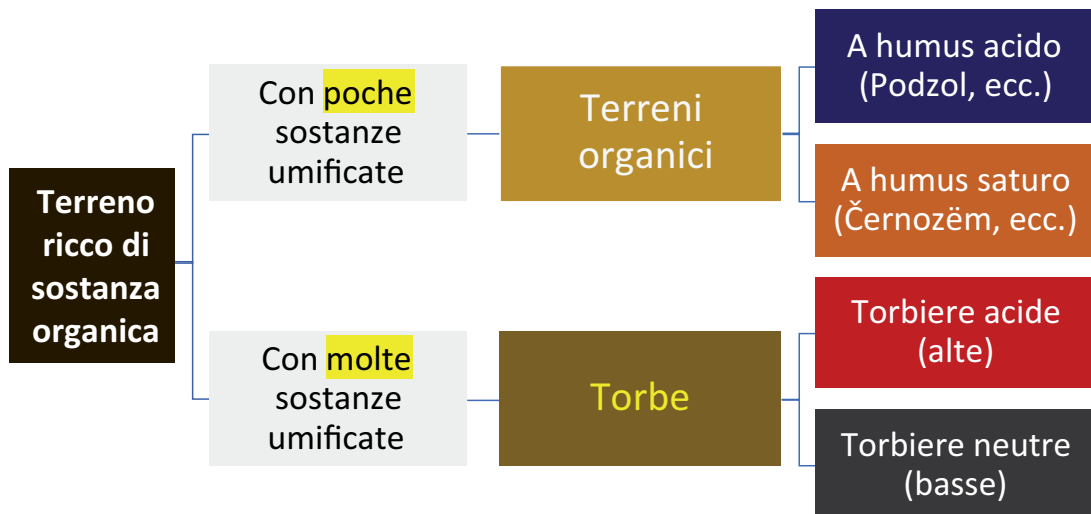
Una prima suddivisione riguarda la qualità della sostanza organica accumulata.

TIPI DI TERRENI	SOSTANZA ORGANICA (% SUL PESO SECCO)
Molto poveri di sostanza organica	< 1%
Poveri di sostanza organica	1 – 2%
Mediamente dotati di s.o.	2 – 3%
Ricchi di sostanza organica	3 – 10%
Umiferi	10 – 20%
Torbosi	20 – 50%
Torbe	> 50%

**TABELLA 8.1.1** Classificazione di terreni in funzione del loro contenuto di sostanza organica.

Se essa è costituita da residui vegetali che vengono velocemente degradati dai microrganismi si hanno terreni organici poveri di humus. In ambiente acido, il terreno organico (podzol), è demolito più che dai batteri, dai meno efficaci funghi. Gli elementi nutritivi contenuti sono, quindi, disponibili solo lentamente per le piante. Al contrario, i terreni organici saturi di basi (černožëm) presentano una sostanza organica ricca di calcio (pH più alto) che viene demolita più dai batteri che dai funghi. La demolizione è veloce e gli elementi nutritivi sono più prontamente disponibili. In entrambi i casi, comunque, il materiale organico stabile contenuto in essi non è molto elevato.

D'altra parte, vi sono le torbe, che hanno una sostanza organica costituita quasi totalmente da



**FIGURA 8.1.15** Tipologie di terreni organici.

macromolecole organiche poco aggredibili dai microrganismi (ricca di fenoli), quindi di durata molto più prolungata (centinaia di anni). La torba non è un vero terreno ma un insieme di resti vegetali pochissimo decomposti poiché originati dalla vegetazione sommersa in antichi laghi o paludi.

Così come per i terreni organici, anche il processo di formazione delle torbe procede diversamente se avviene in ambiente acido o neutro. Nelle torbiere di tipo neutro (torbe basse), la cellulosa e l'emicellulosa tendono a scomparire. Rimangono solo la lignina, le cere, le resine e le proteine; si hanno dunque torbe ricche di azoto ed elementi nutritivi. Nelle torbiere alte (acide), viceversa, la cellulosa e l'emicellulosa si conservano, mentre tendono a degradarsi le proteine. Così, nelle torbe alte vi è poco azoto e poche ceneri.

A volte, gli strati di accumulo sono così profondi (torbiere), da permettere un'estrazione della torba ai fini commerciali. Questo materiale rappresenta il principale substrato in floricoltura e orticoltura, usato più come ammendante che come fertilizzante, per le sue ottime qualità fisiche (elevata permeabilità idrica e aerazione).

I depositi di torba coprono un'area totale di circa 4 milioni di km<sup>2</sup> (il 3% di tutte le terre emerse) e contengono circa 550 miliardi di tonnellate di carbone, rappresentando un capiente serbatoio di CO<sub>2</sub>. Il 60% di tutte le torbiere del mondo si trova in Russia.

## 8.1.2 IL PROFILO DEL SUOLO E I SUOI ORIZZONTI

Nel profilo di un suolo si distinguono strati di diverso spessore, colore, proprietà fisico-chimiche e biologiche, che vengono definiti orizzonti. Essi sono la diretta conseguenza dei fenomeni che si sono succeduti nel tempo, in modo discontinuo, durante la pedogenesi (FIGURA 8.1.16).

Ogni tipologia di suolo ha una serie di orizzonti caratteristici, che costituiscono la base delle classificazioni pedologiche. Nella nomenclatura più recente, gli orizzonti principali vengono indicati con lettere maiuscole, secondo il seguente ordine:

- Orizzonte O (organico o organic)

Rappresenta lo strato del terreno più superficiale, a diretto contatto con l'atmosfera, spesso molto sottile (pochi decimetri). È indicato come orizzonte organico poiché è direttamente interessato dall'attività biologica ed è il primo luogo su cui si depositano i residui degli organismi. L'orizzonte O è molto fragile, soggetto agli agenti meteorici e biotici, che possono rapidamente modificarlo. Può essere oggetto anche di un'intensa erosione (idrica o eolica), che priva il terreno della sua parte più attiva.

### Orizzonti del suolo

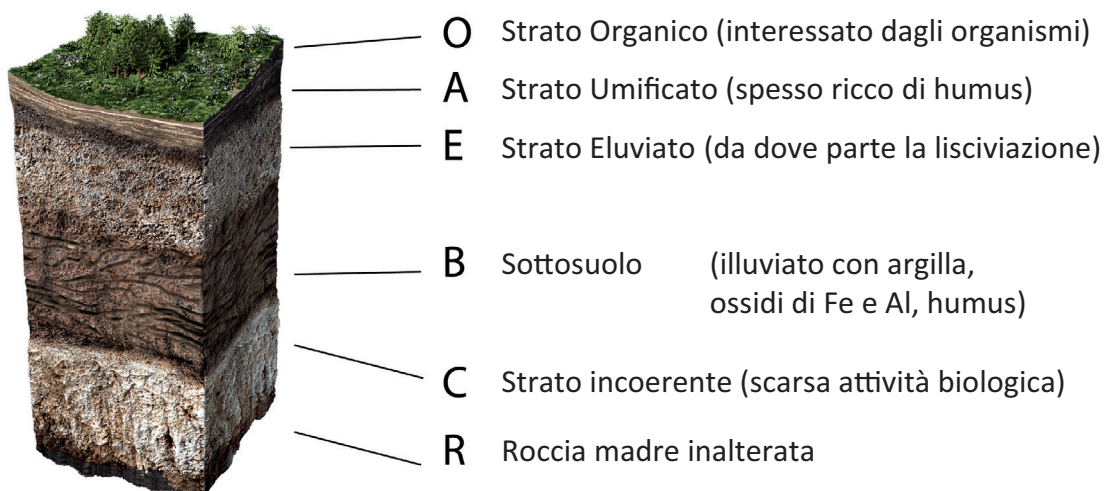


FIGURA 8.1.16 Profilo di un terreno naturale.



- Orizzonte A (unificato o topsoil)

Indica lo strato che si trova subito sotto all'orizzonte O (a volte non chiaramente distinto da esso). L'orizzonte A ha completamente perso le caratteristiche della roccia d'origine e risente delle condizioni atmosferiche nonché, nel caso dei terreni agricoli, delle numerose pratiche condotte (es. lavorazioni, concimazioni, irrigazioni, pascolamento). È spesso ricco di sostanza organica stabile (humus), più o meno legata alla frazione minerale, formante colloidali che conferiscono all'orizzonte la capacità di trattenere acqua ed elementi nutritivi, proprio ove sono maggiormente attivi i sistemi radicali (rizosfera). Può dunque agire da serbatoio di nutrienti e acqua per le piante, rendendo fertile il terreno. Nel caso di un'elevata concentrazione di humus, il suo colore risulta più scuro degli altri strati.

- Orizzonte E (eluvato)

Essendo generalmente costituito da detriti di diametro elevato, in questo orizzonte avviene il massimo dilavamento per lisciviazione di elementi nutritivi; se piove molto ed è freddo vengono asportati anche argille, ferro e alluminio. Lo strato rimane, quindi, ricco solo di quarzo e altri materiali resistenti, che gli conferiscono una colorazione più chiara dello strato superiore. In alcuni terreni molto lisciviati, l'orizzonte E assume un tipico colore grigio-cenere.

- Orizzonte B (illuvato o subsoil)

Anche in questo orizzonte la struttura della roccia originaria non è più distinguibile. Le sue caratteri-

stiche dipendono essenzialmente da ciò che viene lisciviato dagli strati superiori e dalla sua capacità di trattenerli. Può dunque presentarsi come un orizzonte pieno di minerali argillosi, di sesquiossidi di ferro e alluminio, di ossidi di altri minerali (carbonati, gesso, ecc.) e di una parte di humus. Di conseguenza, risulta più scuro dello strato superiore. La sua struttura, se contiene molte argille, può assumere una forma tipicamente poliedrica o colonnare.

- Orizzonte C (strato incoerente)

È un orizzonte spesso di ridotto spessore, costituito da materiale incoerente poiché presenta forme detritiche frammiste alla roccia madre non alterata. È poco interessato dai fattori pedoclimatici e biologici. In quest'orizzonte si accumulano prevalentemente silicati e carbonati e sono frequenti processi di cementificazione. Ciò può renderlo uno strato indurito, a volte impermeabile, noto come hardpan.

- Orizzonte R o E (roccia madre o substrato inalterato)

È l'orizzonte della roccia madre, inalterata. A volte è costituito da particelle grossolane che, lasciando ampi spazi fra loro, permettono un rapido deflusso idrico in ambiente sotterraneo. Si formano così le falde acquifere, che tendono a impoverire l'orizzonte di argilla, ferro e alluminio per lisciviazione. Altre volte, però, la roccia madre può essere costituita da particelle finissime che, assestandosi, rendono il sottosuolo completamente impermeabile.