



Energia
Territorio
Ambiente

Protocollo abitare sostenibile e sicuro
Con sede presso la CCIAA
di Torino

Progetto abitare sostenibile

Anno scolastico 2018-2019

Temi trattati nel quaderno 3:

a) Coltivazione e cibo

giugno 2019

Associazione ETA Energia Territorio Ambiente
Via Torino, 31 10082 Cuorgnà (TO)

P. IVA 11151650014 C.F. 92517760010

Realizzato grazie al
contributo della
Fondazione CRT - Torino

Il Suolo un amico sconosciuto



Sommario

INTRODUZIONE	4
PARTE PRIMA	7
CONOSCERE IL SUOLO: GENESI, CARATTERISTICHE ED EVOLUZIONE NELL'AMBIENTE	7
<i>IL SISTEMA SUOLO E LE SUE INTERAZIONI</i>	7
<i>PEDOGENESI</i>	8
<i>NASCITA DEL SUOLO</i>	9
<i>ROCCIA MADRE</i>	10
<i>GEOMORFOLOGIA</i>	11
<i>CLIMA</i>	12
<i>ORGANISMI VIVENTI</i>	13
<i>TEMPO</i>	14
<i>UOMO E PEDOGENESI</i>	16
<i>I "PALEOSUOLI"</i>	16
PARTE SECONDA	19
COMPrensione e Consapevolezza del Suolo per un Ambiente Sostenibile	19
<i>LE PIU' IMPORTANTI FUNZIONI DEL SUOLO</i>	19
<i>Sostenibilità, Interazione e Competizione tra le Funzioni del Suolo</i>	21
<i>USO E CURA DEL SUOLO IN UN AMBIENTE SOSTENIBILE</i>	22
UN NUOVO MODO DI INTENDERE IL SUOLO, GUARDANDO AL FUTURO	26
CONCLUSIONI	30

INTRODUZIONE

Il suolo, componente fondamentale della produzione agricola e della sostenibilità ecologica, è una risorsa limitata, fragile, difficilmente recuperabile e non rinnovabile in una scala temporale umana.

Vi sono due sorgenti basilari della nostra conoscenza attuale del suolo: la prima è la pratica raggiunta dai contadini nell'arco di secoli, fatta di esperienze, di errori e di conquiste, mentre la seconda è la Scienza del Suolo che, iniziata nel XVII secolo, ha avuto il suo massimo impulso a partire dalla seconda metà del XIX.

Oltre un secolo di osservazioni e di ricerche hanno portato gli studiosi alla conclusione che, al contrario dei minerali, dei vegetali e degli animali, i suoli non sono entità nettamente distinte ed esattamente individuabili: essi, nell'ambito di una visione ecologica globale, devono essere considerati come fenomeni di interfaccia della superficie terrestre, manifestazioni appartenenti alla pedosfera (dal greco πῆδος=suolo), cioè all'ambiente in cui litosfera, atmosfera, idrosfera e biosfera si sovrappongono ed interagiscono.

Finché non apparve la vita sulle terre emerse, non vi fu suolo nel senso proprio della parola: le rocce erano direttamente esposte agli agenti dell'alterazione chimica e fisica, nonché all'erosione, in un ambiente scarso di ossigeno e privo di organismi viventi.

Solo verso la metà dell'era Paleozoica l'ossigeno libero divenne relativamente abbondante in seguito alla comparsa dei processi di fotosintesi ed al riciclo biogeochimico dei suoi prodotti. Con la colonizzazione delle terre emerse da parte della biomassa, vegetale e animale, differenti tipi di alterazione delle rocce e importanti prodotti residuali, tra cui i suoli, sono andati lentamente evolvendosi. Fattori endogeni, come il vulcanesimo, ed esogeni, come le glaciazioni, l'erosione e la sedimentazione, hanno interferito con la genesi e l'evoluzione dei suoli modificando le superfici, i materiali minerali e le condizioni bioclimatiche con cui cominciarono a trovarsi in equilibrio.

Lo possiamo notare, ad esempio, nei pochi suoli relitti che conservano caratteristiche legate a condizioni bioclimatiche molto antiche.

Al contrario, la maggior parte dei suoli attualmente osservabili si è formata durante il Quaternario ed è pertanto opportuno aver presente la storia geologica, climatologica e botanica degli ultimi due milioni di anni: i cambiamenti climatici e vegetazionali, i cicli di erosione e rideposizione eolica e fluvioglaciale, il livello dei mari e gli agenti geotettonica, che perdurano fin dal Pleistocene, sono alla base delle profonde variazioni del substrato su cui il

suolo si è evoluto e/o si evolve, nonché responsabili, in certi casi, dell'interruzione della pedogenesi per seppellimento di suoli già formati che, pertanto, sono da considerarsi paleosuoli.

L'origine del suolo, le sue proprietà, la sua descrizione e classificazione sono oggetto della **pedologia**: essa considera il suolo come un corpo naturale da studiare anatomicamente ed ecologicamente, cioè nelle sue componenti e nel suo ambiente, senza ancora prendere in considerazione le relazioni suolo-pianta in termini di quantità, qualità e, soprattutto, intensità. Le manifestazioni delle varie proprietà del suolo, le loro reciproche relazioni e quelle con la nutrizione e la crescita vegetale sono invece oggetto dell'edafologia (dal greco *ἔδαφος* =nutrimento): sotto questo punto di vista si considerano soprattutto le ragioni della variabilità morfologica ed altitudinale del suolo e la possibilità di conservazione od incremento della sua produttività.

In queste pagine il punto di vista sarà, nel contempo, edafico e pedologico, perché i due aspetti sono interdipendenti.

Infatti, la funzionalità e la produttività di un suolo sono legate al sito in cui esso si trova e, pertanto, per caratterizzarle, il suolo deve essere rilevato, studiato e tipizzato, senza dimenticare che nessun laboratorio o nessun modello potranno correggere scelte sbagliate, dovute ad una non corretta descrizione o indagine di campagna. D'altro canto, solo attraverso i dati analitici della microbiologia, della mineralogia, della fisica e della chimica del suolo, si possono avere le conoscenze di base indispensabili per capire le proprietà intrinseche di questo comparto ambientale là dove esso si propone come risorsa.

Nella nostra accezione possiamo pensare al suolo come un corpo naturale che consiste di strati, od orizzonti, di spessore variabile e costituiti da materiali minerali e/o organici che, per proprietà morfologiche, chimiche, fisiche, mineralogiche e biochimiche, sono diversi da quelli da cui hanno avuto origine, cioè dalla cosiddetta roccia madre e dai residui della biomassa.

Al variare delle condizioni ambientali, i tipi e le intensità dei processi pedogenetici cambiano e danno origine a suoli diversi, talora unici.

Da questa semplice constatazione si può dedurre che la complessità, più che la semplicità, è un carattere comune a tutti i suoli: ***il suolo è per sua natura condizionato da situazioni ambientali multivariate.***

L'osservazione, anche casuale, del suolo in spaccati naturali, lungo le strade o nelle scarpate, consente infatti di verificare che, in questo ricoprimento continuo della superficie, esiste grande variabilità anche solo nel colore, nella consistenza, nell'umidità e in molto altro.

La moderna Scienza del Suolo, pur riconoscendo questa variabilità non solo esteriore, ma anche interna, è riuscita ad individuare la presenza di proprietà e caratteristiche comuni in suoli di stazioni anche molto lontane e in ambienti diversi: è stato possibile pertanto razionalizzare lo studio del suolo e indicarne il valore come risorsa irriproducibile.

Il suolo, inteso come risorsa, è stato quindi riconosciuto come un'entità estremamente più complessa di un semplice mezzo di crescita dei vegetali. Esso, malgrado la grande mutevolezza, è di per sé, comunque e dovunque, un sistema dinamico aperto, formidabile trasformatore di energia, in cui compiono il loro ciclo biologico miriadi di organismi, che serve come "*discarica*" naturale dei residui animali e vegetali o come filtro di sostanze tossiche ed è, infine, una sorta di "emporio" fondamentale degli elementi nutritivi.

Da ultimo, ma non per importanza, non si deve dimenticare che ***l'uomo dipende dal suolo e, in un certo senso, oggi più che mai, il suolo dipende dall'uomo.***

Essendo un corpo naturale su cui si insediano i vegetali o che, al contrario, soggiace alle fondamenta di edifici e strade, o assorbe scarichi agricoli, industriali e urbani, può andare incontro a processi distruttivi.

Questi sono accentuati dalla mancata conoscenza della genesi, della funzionalità, degli equilibri e delle attitudini di questo fondamentale perno dell'ecosistema.

PARTE PRIMA

CONOSCERE IL SUOLO: GENESI, CARATTERISTICHE ED EVOLUZIONE NELL'AMBIENTE

IL SISTEMA SUOLO E LE SUE INTERAZIONI

Il termine ***pedogenesi*** indica tutti i fenomeni che sono alla base della formazione e dello sviluppo del corpo suolo con le sue caratteristiche morfologiche e chimico-fisiche.

Dal punto di vista genetico il suolo può essere considerato a diversi livelli, ciascuno con un suo grado informativo:

1. a livello di ***regione geografica***, per evidenziare soprattutto gli effetti climatici zonali (si parla di suoli boreali, suoli tropicali, suoli di steppa, suoli mediterranei, ecc.);
2. a livello di ***paesaggio regionale***, per studiare gli effetti oro-idrografici complessivi di un bacino;
3. a livello di ***sottobacino***, per collegare la natura dei suoli alla dinamica dei versanti e alle condizioni geomorfologiche locali;
4. a livello di ***polipedon***, cioè di singolo suolo, o di ***pedon***, cioè della più piccola unità spaziale tridimensionale che conserva una determinata sequenza di orizzonti, dalla superficie alla roccia madre, ed è espressione dei processi pedogenetici;
5. a livello di ***profilo***, cioè di organizzazione successiva di strati od orizzonti, per descrivere il dinamismo delle frazioni che compongono un suolo e le sue cause;
6. a livello di ***orizzonte***, entro il quale le condizioni chimiche, fisiche e strutturali sono più omogenee ed è possibile associarle alle diverse figure pedogenetiche (aggregati, concrezioni, laccature, ecc.) osservabili macroscopicamente;
7. 7) a livello di ***aggregati*** o ***ped***, all'interno dei quali si osservano le macro o micro condizioni strutturali che sono alla base e/o sono il risultato della complessa interazione delle diverse frazioni minerali ed organiche che compongono il suolo e dove si manifestano le reazioni di superficie e i vincoli alla soluzione circolante.

Il livello di ***pedon*** è quello che più propriamente risponde alle esigenze descrittive, sia in termini di fertilità chimica e stazionale della risorsa suolo, sia in termini tassonomici: a questo livello si può notare l'interazione tra i fattori della pedogenesi, la complessa relazione tra questi e i processi e le proprietà del corpo suolo, dalla sua "nascita" alla sua, non auspicabile ma possibile, "morte".

PEDOGENESI

Il termine **pedogenesi** indica tutti i fenomeni e i processi che sono alla base della formazione e dello sviluppo del sistema suolo con le sue caratteristiche morfologiche, mineralogiche, chimiche, fisiche e biologiche che lo rendono l'habitat naturale dei vegetali.

Il sistema suolo è costantemente perturbato da forze interne ed esterne.

Come già accennato, esso comprende più sottosistemi (orizzonti, aggregati, unità tessiturali, soluzione circolante, ecc) e, nello stesso tempo, fa parte di sistemi più ampi (paesaggi regionali, bacini idrografici, unità geomorfologiche, ecc) entro i quali i suoli possono essere geneticamente concatenati tra loro.

La dinamica conseguente alle forze che agiscono ed interagiscono nel suolo non è normalmente osservabile in tempi umani e, pertanto, lo stesso viene spesso considerato come un elemento stabile del suo ambiente; la vita dell'uomo infatti è, in genere, troppo breve per notare l'evoluzione morfologica del corpo suolo in un ambiente indisturbato.

Affermazione che smette di essere vera se l'osservazione riguarda aspetti particolari quali, per esempio, la sola frazione liquida: si potrà facilmente osservare, in questo, caso una variazione continua e rapida della qualità della soluzione circolante in risposta alle continue variazioni condizioni termopluviometriche, al drenaggio ed alla asportazione di elementi da parte delle radici dei vegetali. Altrettanto si potrebbe dire per la biomassa del suolo: ciò che macroscopicamente sembra statico è in realtà sede di uno straordinario dinamismo.

Dinamica significa anche continuo cambiamento come effetto di più cause intercorrelate, di cui solitamente solo poche prevalgono e rappresentano nel loro insieme il **processo pedogenetico di base**. L'identificazione delle forze coinvolte in questo processo è essenziale per prevedere le conseguenze dell'intervento umano sul suolo, ancorché queste siano sovente posticipate, rispetto all'azione compiuta, anche di alcune generazioni.

In sintesi, i processi pedogenetici di base sono il risultato di flussi di energia nel sistema aperto "**pedosfera**". Nel suolo sono presenti continui input e output di energia e di materiali che non consentono altro che condizioni di equilibrio apparente.

La contemporaneità di più processi e il risultato complessivo portano ad identificare condizioni stazionarie tipiche che sono utilizzabili, tra l'altro, per la distinzione tassonomica. Si può osservare che processi come il rimescolamento ad opera della mesofauna, i movimenti di autorimescolamento (in alcuni suoli, l'abbondante presenza di particolari tipi di minerali argillosi determina espansioni e contrazioni del terreno in condizioni, rispettivamente, di clima umido e secco.) o l'azione gelo-disgelo portano ad una condizione caotica e disordinata

in tutto o in parte del profilo e quindi hanno una variazione positiva di entropia, mentre i processi di alterazione dei minerali primari, l'illuviazione, l'umificazione, la lisciviazione dei sali solubili, ecc. comportano una selezione e riorganizzazione dei materiali e, di conseguenza, sono considerati non spontanei ed hanno una variazione negativa dell'entropia.

Lo stato stazionario con cui il suolo come sistema aperto si presenta è quindi una condizione apparentemente invariabile, ma effimera, per il costante cambiamento dei flussi di energia e, di conseguenza, del gradiente termodinamico complessivo: esso appare come una condizione statica solo se non si tiene conto del fattore tempo e delle maggiori variazioni dei fattori climatici che avvengono solo in tempi "geologici". Lo stato stazionario è governato solo da piccoli cambiamenti o aggiustamenti interni, conseguenti a processi spontanei irreversibili; esso può durare pochi decenni o qualche secolo, ma è, inevitabilmente, destinato a mutare.

NASCITA DEL SUOLO

La "nascita" del suolo corrisponde alla comparsa delle proprietà mineralogiche, fisiche, chimiche e biologiche che lo distinguono dalla parte profonda del regolite ed ha inizio con l'alterazione della roccia madre, sotto l'azione degli agenti atmosferici e biotici.

Nel 1941 Jenny, nel suo libro "Factors of Soil Formation", formulò l'ipotesi che il suolo fosse il risultato dell'interazione di **fattori pedogenetici** rappresentati da **roccia madre** (rm), **clima** (cl), **organismi viventi** (o) , **topografia** e **geomorfologia** (g) e **tempo** (t). Tali fattori agirebbero come variabili indipendenti nei confronti della nascita e dell'evoluzione del corpo suolo, ma non necessariamente indipendenti tra loro: ogni proprietà (s) del suolo deriverebbe pertanto da una funzione multivariata

$$s = f(rm, cl, o, g, t, \dots)$$

L'insieme delle proprietà di un suolo (s) non sarebbe quindi che una delle molteplici combinazioni derivate dalle singole funzioni multivariate di ogni proprietà.

Tale ipotesi ha assunto oggi un valore globale e può essere estesa fino a comprendere tutte le proprietà dell'ecosistema, non solo del suolo, ma anche delle cenosi animali e vegetali.

L'importanza relativa dei fattori pedogenetici varia da un suolo all'altro, ma oggi si riconosce alla roccia madre una certa prevalenza a livello di pedon, mentre il clima avrebbe un effetto soprattutto a livello di distribuzione geografica dei tipi di suolo e gli altri fattori subentrerebbero nell'indurre variabilità a livello di paesaggio. La roccia madre e la

geomorfologia condizionano lo **stato iniziale** della stazione, il clima e la biomassa regolano invece la velocità delle reazioni chimiche e biochimiche a livello zonale, fermo restando che il tempo, comunque, regola sempre il livello evolutivo raggiunto.

Il modello di Jenny è stato criticato per aver introdotto il fattore tempo, che di per sé non influenza direttamente il suolo, tuttavia i processi pedogenetici sono per lo più lenti e il loro effetto è effettivamente osservabile solo attraverso le variabili cronodipendenti.

ROCCIA MADRE

La roccia madre, come si è già accennato, è il materiale minerale grezzo da cui il suolo nasce e che, con le sue caratteristiche fisiche, chimiche, mineralogiche e di giacitura ne condiziona lo sviluppo, talora limitando anche gli effetti degli altri fattori: in ogni caso, tanto meno il suolo è evoluto, tanto più le sue proprietà conservano una memoria della roccia originaria.

I minerali costituenti le rocce contribuiscono alla pedogenesi secondo il loro **grado di stabilità all'alterazione**: alcuni minerali si alterano in poche migliaia di anni, mentre, per altri, ne occorrono anche milioni.

La stabilità di un minerale è legata alla sua struttura e all'energia di legame, ma anche all'ambiente di alterazione.

Su **rocce compatte** lo sviluppo del suolo è tanto più lento quanto più i cationi basici vengono liberati nell'alterazione dei minerali bilanciando l'acidità che, al contrario, accelera la pedogenesi.

Su **rocce quarzose** o **calcaree** la pedogenesi è ostacolata in quanto, nelle prime, il quarzo è stabile all'alterazione chimica e mineralogica e, nelle seconde, la rimozione per dissoluzione del calcare è un precursore necessario ed indispensabile per la formazione del suolo.

Ricordiamo che, ai fini evolutivi dei suoli, anche la vegetazione è condizionata dalla roccia madre che, come riserva stabile, anche se non immediatamente disponibile, rifornisce la soluzione e quindi contribuisce alla selezione delle specie vegetali.

Tra le **rocce cristalline** quelle scistose sono le meno resistenti all'alterazione, mentre tra quelle **sedimentarie** la resistenza varia con la permeabilità e con la presenza di cementi calcarei o silicei: le dimensioni delle particelle e la diversa possibilità dell'acqua di percolare influenzano sia le condizioni microclimatiche, sia la vegetazione.

Soprattutto sui depositi sedimentari non consolidati del Quaternario, le variazioni tessiturali del materiale originario influenzano la pedogenesi in quanto regolano la velocità e la profondità di percolazione e di conseguenza le proprietà ad essa correlate. Benché meno

permeabile, una matrice a tessitura fine presenta una superficie specifica delle particelle molto elevata e quindi l'alterazione dei minerali è più accentuata che in quella a tessitura sabbiosa o grossolana: la neoformazione di argille è maggiore anche per la più elevata probabilità che i prodotti dell'alterazione, loro precursori, permangono e interagiscono.

Le **piroclastiti** sono probabilmente le rocce che maggiormente incidono sulla pedogenesi, portando a suoli che hanno in comune una bassa densità reale e un alto contenuto di prodotti di alterazione, amorfi o paracristallini.

Anche i materiali vetrosi contenuti nelle **rocce effusive** si alterano velocemente, in media qualche migliaio di anni, producendo allofane, imogolite, silice e complessi Al- e Fe-umici. Nel tempo e negli ambienti più liscivianti si ha neoformazione di gibbsite, di halloysite e, in quelli meno drenanti, di argille.

Gli ioni specifici, la loro concentrazione nella roccia madre e il rapporto molare $\text{SiO}_2:\text{Al}_2\text{O}_3$ sono le caratteristiche più importanti della roccia madre ai fini della neoformazione di argille. L'ambiente pedogenetico determina se certi ioni o costituenti permangono o vengono allontanati dopo l'alterazione e, di conseguenza, condiziona il tipo di minerale argilloso che si può formare.

In generale la roccia madre influenza la mineralogia del suolo secondo il clima e secondo la lisciviazione: quanto più un ambiente è liscivante, tanto più il peso della roccia madre è poco rilevante.

GEOMORFOLOGIA

La roccia si presenta disponibile all'azione degli agenti atmosferici di alterazione secondo il **rilievo** e la **giacitura**, intesa come esposizione e pendenza. Queste condizioni regolano anche i rapporti tra suolo e falda, tra suolo e percolazione e tra suolo e ruscellamento superficiale.

La profondità della falda determina l'evoluzione del suolo in presenza o in assenza d'acqua (condizioni riducenti ovvero ossidanti), la percolazione, con possibilità di movimento o di asporto di soluti e di materiali dispersi e l'erosione, con asporto, trasporto e riporto di materiali ad opera dell'acqua o del vento.

Quanto più la pendenza è elevata e il suolo è impermeabile, tanto più l'effetto erosivo delle precipitazioni è alto: l'erosione è un fattore limitante l'evoluzione di un suolo tanto che può indurre un continuo "ringiovanimento" del profilo per asporto parziale (suoli troncati) o totale degli orizzonti superficiali. L'effetto dell'erosione superficiale più o meno severa si traduce in un continuo **rimodellamento** delle superfici con possibilità di maggiore evoluzione

dei suoli meno acclivi, anche in termini di potenza (profondità). I materiali trasportati dall'erosione possono **colluviare** alla base delle pendici o nelle conche e **alluvionare** nelle pianure: talora suoli già evoluti possono essere sepolti e sottratti ai fattori della pedogenesi (suoli fossili).

Una successione di suoli relativamente uniformi per roccia madre, ma con diverse condizioni di drenaggio, formano una **sequenza idrologica**, nella quale la pedogenesi procede in modo diverso partendo dall'ambiente più ossidante, con comparsa del colore giallo-rosso, dove la percolazione non è impedita, e progredisce con l'instaurarsi di forme e colori di riduzione (bluastri e grigiastri), dove la libera circolazione dell'acqua è ostacolata.

Una sequenza di suoli legata all'idrologia è spesso una **catena di suoli** o più esattamente una **topo sequenza**, e si realizza normalmente nelle posizioni sommitali, di versante, e basali dei rilievi.

Il rimodellamento e la variabilità pedogenetica sono anche conseguenza dell'azione del vento. L'**erosione eolica** è prevalente negli ambienti poveri di coperture vegetali: la sua importanza risiede nella selezione dimensionale operata dal vento che trasporta limi e sabbia fine depositandoli altrove.

Senza giungere necessariamente alla condizione di suolo sepolto, un suolo soggetto ad apporti di nuovi materiali "freschi" può risultare, in genere, "ringiovanito" nei suoi orizzonti superficiali, tranne quando l'input è di materiali erosi da orizzonti già pedogenizzati.

Il rilievo e la giacitura sono infine responsabili delle condizioni microclimatiche legate all'esposizione, cioè al diverso input di energia solare e alla diversa distribuzione delle precipitazioni; anche a questa variabilità è legata la diversa alterazione della roccia madre e intensità di pedogenesi.

CLIMA

Il fattore clima è, forse, il più importante agente pedogenetico, in quanto regola le proprietà di moltissimi suoli, tanto che dal punto di vista tassonomico il **criterio zonale** è a lungo rimasto come strumento distintivo di diversi tipi di suolo a partire da Dokuchaev (il "padre" della pedologia), nella seconda metà del secolo scorso, e dai pedologi di scuola russa.

Ancora oggi, sovrapponendo una carta dei suoli ad una carta delle isoiete e delle isoterme, si possono fare in molte zone del mondo importanti considerazioni sulle relazioni suolo-clima. Nell'accezione comune si continua a definire **zonale** un suolo così evoluto ed in equilibrio con il suo clima da nascondere l'effetto degli altri fattori pedogenetici, **intrazonale** un suolo

evoluto in cui però esistono particolari condizioni stagionali, quali geomorfologia o vegetazione, che influenzano l'effetto del clima, **azonale** un suolo poco evoluto ed indifferenziato perché di recente formazione o perché fattori ambientali ne hanno bloccato la pedogenesi.

La zonalità è però limitata all'emisfero boreale con esclusione delle zone tropicali e subtropicali: resta valida solo nelle aree in cui non ci sono stati, nel tempo, molti cicli di erosione e rideposizione correlati con cambiamenti climatici, con movimenti tettonici, ovvero dove non ci sono substrati così recenti da rendere il rilievo ininfluenza nella differenziazione dei tipi di suolo.

Le componenti climatiche che intervengono al momento della nascita del corpo suolo sono l'**umidità** e la **temperatura**: inizialmente, esse iniziano a controllare la velocità dei fenomeni chimici, fisici e biologici della pedogenesi, soprattutto i processi di alterazione della roccia madre e di lisciviazione. L'umidità agisce in funzione dell'intensità e della distribuzione annua delle precipitazioni, dell'evaporazione (inizialmente dal suolo e, successivamente, anche come traspirazione dei vegetali) e della possibilità di scorrere sulla superficie o penetrare nel suolo, secondo la morfologia e la permeabilità della roccia.

ORGANISMI VIVENTI

La colonizzazione della superficie della roccia madre è inizialmente vegetale, e tende a raggiungere un equilibrio corrispondente ad una comunità **climax**, in cui i rapporti tra le diverse specie sono in funzione delle condizioni ambientali.

Gli agenti chelanti sono responsabili di gran parte dell'iniziale alterazione della roccia madre, e talora possono essere addirittura dominanti: essi sono di origine biologica e sono presenti nei primissimi stadi della pedogenesi come essudati dei licheni che crescono sulla superficie denudata della roccia. La struttura dei chelati è complessa, ma sostanzialmente consistono di una molecola organica che, con una conformazione ad anello, "intrappola" uno ione metallico trattenendolo con più di un legame ionico. In soluzione, i chelati sono stabili alle condizioni del pH di formazione.

La fauna, che partecipa a vari processi pedogenetici, è evidentemente e strettamente correlata con la flora, e selezionata dalle condizioni di acidità e di accumulo di materiale organico morto o **lettiera**.

L'**uomo** è, a questo proposito, un fattore indipendente di pedogenesi, ma di ciò si parlerà oltre più dettagliatamente, essendo la sua azione destinata a determinare più sovente la morte piuttosto che la nascita del suolo.

TEMPO

L'alterazione della roccia e dei minerali è, come si è visto, dipendente dal tempo, ma in modo variabile, e le proprietà del suolo nascono ed evolvono più rapidamente se sono legate alla sostanza organica ovvero più lentamente se legate alla frazione minerale primaria.

Il tempo deve essere visto come intervallo necessario perché un suolo raggiunga uno **stato stazionario**. Ciò non può valere ugualmente per tutte le proprietà del suolo: all'inizio le variazioni di alcune sono molto rapide, tuttavia, nel tempo, tutte raggiungono una stabilità, o equilibrio apparente, nel quale i fenomeni di formazione sono bilanciati dai fenomeni distruttivi.

Nelle regioni temperate, in condizioni costanti, si è stimato possibile il raggiungimento di un equilibrio stabile nel sistema suolo-pianta in 1000-10000 anni: tale situazione è stabile nel senso che, nel breve intervallo in cui sono state possibili delle osservazioni scientificamente valide, cioè poco più di 100 anni, in questi suoli le variazioni sono state trascurabili.

Per contrasto, nelle regioni tropicali, dove i fattori di alterazione sono più energici, il suolo raggiunge uno stato stazionario in tempi più lunghi, e ciò perché l'alterazione deve interessare strati più potenti, e gli orizzonti profondi sono poco influenzati dalla biomassa.

Studi semiquantitativi sulla velocità di evoluzione del corpo suolo possono essere fatti solo sui suoli che si sviluppano su sedimenti non consolidati del Quaternario, per i quali il fattore tempo è abbastanza ben conosciuto: i depositi glaciali, i terrazzi fluvioglaciali e i depositi sedimentari di "lavaggio" delle morene sono substrati per i quali, a parte le condizioni paleoclimatiche e il tempo, i fattori pedogenetici possono essere considerati costanti: su queste formazioni si osservano delle vere e proprie **cronosequenze** di suoli e si tentano delle approssimazioni di **cronofunzioni** che tengano conto anche delle variazioni climatiche e delle successioni deposizionali legate ai periodi interglaciali. Agli studi delle cronosequenze si deve la correlazione tra morfologia del suolo e tempo.

Alcune condizioni morfologiche, chimiche e fisiche sono pertanto spiegabili in funzione del tempo:

- **orizzonte organico**: la sostanza organica, attraverso i processi di mineralizzazione e di umificazione, raggiunge uno stato stazionario più rapidamente della frazione

minerale, anche solo in qualche centinaio di anni e, pertanto, negli orizzonti superficiali che sono più interessati dalla sostanza organica, le proprietà del suolo risentono maggiormente di questa alterazione. Variazioni del contenuto di sostanza organica portano abbastanza rapidamente a nuove condizioni stazionarie. Il valore del pH tende normalmente ad un contemporaneo abbassamento con l'aumento di acidi organici deboli e allo stesso modo, nel tempo, gli orizzonti superficiali vedono diminuire per lisciviazione la quantità di carbonati che, tuttavia, finché sono presenti mantengono elevato il pH. Il pH finale risulta pertanto determinato da un insieme di condizioni climatiche, vegetazionali e mineralogiche.

- **orizzonti argillosi:** la formazione di argilla è un processo molto più lungo, in quanto legato alla neoformazione di minerali, al deposito eolico di materiali fini, all'alterazione dei minerali primari e alla presenza di condizioni atte a consentire la traslocazione delle argille entro il profilo. In funzione della profondità si può evidenziare un incremento dell'argilla contemporaneo all'aumento della potenza dell'orizzonte: ciò è però un carattere variabile spazialmente in relazione alla presenza nel suolo di cationi disperdenti. L'input eolico di materiali fini già formati e le precipitazioni aumentano le probabilità di lisciviazione delle argille: orizzonti argillici sono stati descritti in suoli su depositi loessici di solo 100 anni, ma se non vi sono sufficienti precipitazioni gli accumuli di argilla non si osservano neppure dopo milioni di anni.
- **sviluppo del colore rosso:** lo sviluppo di colore rosso è in genere associato agli orizzonti di alterazione dei suoli più pedogenizzati. La *rubefazione*, più accentuata nei climi caldo aridi, può essere confrontata con il colore della roccia madre e dare un'indicazione del tempo di pedogenesi purché non siano intervenute variazioni climatiche ad influenzare l'intensità dei fenomeni pedogenetici: la presenza di colore rosso è infatti da interpretare come un effetto sinergico, sia termico, sia temporale.
- **quantità di Fe:** la quantità di ossidi di ferro ben cristallizzati rispetto al ferro totale è risultata essere abbastanza ben correlata con l'età dei suoli in cronosequenze di alta pianura.
- **mineralogia delle argille:** nei suoli che non evolvono su roccia madre argillosa cambia nel tempo, ma tende a rimanere stabile fino a quando non variano in modo drastico le condizioni di neoformazione. In quelli su matrice argillosa, si possono avere neoformazioni di argille poco stabili che, gradualmente, evolvono verso forme più

stabili partendo dagli orizzonti superficiali; il tasso relativo di questo cambiamento, valutato tra diversi orizzonti, può essere preso come indice temporale e bioclimatico.

UOMO E PEDOGENESI

L'azione antropica può essere **diretta**, come nel caso della conversione di un suolo naturale a suolo coltivato, o **indiretta**, quando si concretizza nel cambiamento delle condizioni di un fattore pedogenetico, per esempio il clima o il rilievo.

La messa a coltura di un suolo comprende gli interventi di lavorazione più o meno profondi, la sistemazione delle superfici, la correzione e fertilizzazione, organica o minerale, il cambiamento delle specie vegetali e il cambiamento del regime idrico.

Sono queste le scelte che, soprattutto se eseguite in modo scorretto o inappropriato, sono causa di impoverimento di elementi nutritivi, di distruzione della struttura o di variazioni del pH e, quindi, soprattutto negli orizzonti superficiali, di interferenza con i fattori naturali della pedogenesi.

I movimenti terra, le livellazioni e le compattazioni sono operazioni ad elevato rischio di perdita della risorsa suolo, specialmente se comportano lo scavo e il riporto di materiale poco pedogenizzato dagli orizzonti più profondi alla superficie.

I cambiamenti del clima edafico, attraverso le sistemazioni idrauliche, le opere di irrigazione o la deforestazione possono imporre al suolo condizioni estreme di alterazione e di rischi legati al drenaggio.

Senza arrivare a queste conseguenze, anche l'utilizzo delle foreste e delle superfici erbose, falciate o pascolate, può indirizzare l'evoluzione da un tipo di suolo ad un altro.

Ad esempio, in ambiente forestale, pur non cambiando la destinazione a bosco, l'uomo può operare dei tagli o modificare la composizione specifica presente, variando la qualità e la quantità dei residui vegetali, con inevitabili conseguenze sulla biomassa, sull'umificazione, sul drenaggio, sulla lisciviazione delle basi, ecc.

I "PALEOSUOLI"

Un suolo si forma per tutto il periodo in cui la parte superiore della litosfera è soggetta a trasformazioni operate da agenti atmosferici e da attività biologica. Pertanto, come visto, nella definizione di suolo è cruciale la presenza e l'evoluzione di un'interfaccia atmosfera/litosfera/idrosfera/biosfera che opera su periodi di tempo più o meno lunghi e in condizioni climatiche diverse.

Nei cosiddetti **paleosuoli** questa interfaccia è normalmente scomparsa: infatti quando un suolo viene **sepolto** da nuovi sedimenti su di esso cessa di operare il sistema dinamico biotico e abiotico della pedogenesi. Gli equilibri vengono alterati e la struttura evolve in una direzione nuova. Può definirsi **relitto** un suolo antico che rimane esposto in superficie senza radicali trasformazioni.

Un paleosuolo è in sostanza un suolo che presenta caratteri chimici e fisici, soprattutto granulometrici, correlabili con uno o più processi specifici di una pedogenesi interrotta. Tali caratteri sono più o meno persistenti e, pertanto, quando un paleosuolo viene "decapitato" e riportato alla superficie, iniziano ad operare gli agenti pedogenetici attuali a danno dei costituenti più antichi: alcuni di essi scompariranno, mentre altri, più resistenti, ad esempio i noduli ferro-manganesiferi, tenderanno a permanere. Questi caratteri residuali rappresentano la "memoria" di un paleosuolo che può essere così interpretato come un vero e proprio **suolo fossile**. I caratteri chimici o chimico-fisici, pur non essendo geneticamente dissimili tra suolo e paleosuolo, possono testimoniare in quest'ultimo condizioni pedoambientali tipiche di antichi equilibri e di combinazioni di fattori pedogenetici diversi dalle attuali. Essi sono soprattutto la lisciviazione delle argille, la solubilizzazione e lisciviazione dei carbonati, l'accumulo di ossidi liberi di Fe e Mn in masse più o meno concrezionate.

Nella pedogenesi, il **fattore tempo** viene evidenziato nei suoli **policiclici** che consistono in una sequenza polifasica in cui una medesima fase compare più di una volta: si immagini per esempio un suolo argilloso che, troncato dall'erosione, subisca una pedogenesi criogenica, con apporti loessici in ambiente freddo, e che a questa fase segua una nuova pedogenesi tipica di ambiente caldo umido. Dal succedersi di sequenze pedogenetiche di questo tipo è possibile risalire a un intero ciclo climatico. Nell'ambito della cronologia del Quaternario i paleosuoli policiclici hanno caratteristiche chimiche che possono essere viste come indici di durata e/o intensità di pedogenesi, per esempio la cristallinità degli ossidi di ferro.

Lo sviluppo di un suolo, come si è visto, dipende dalla natura e dalla composizione chimica della roccia madre, dal clima, dall'organizzazione biologica locale, dal rapporto erosione-deposito; inoltre esso richiede un periodo di tempo assai lungo durante il quale è necessaria una sostanziale stabilità geomorfologica. Di conseguenza, paleosuoli potenti, all'interno di una sequenza loessica o su sabbie di duna o su alluvioni, indicano indubbiamente una fase di arresto di sedimentazione e di almeno relativa stabilità, che ha favorito uno sviluppo consistente della vegetazione.

Le divisioni classiche del Pleistocene si basano sull'analisi delle associazioni biologiche, dei depositi marini costieri, degli accumuli morenici, dei paleosuoli. Questi ultimi infatti possono essere talora utilizzati come indicatori paleoclimatici, proprio sulla base del riconoscimento di specifiche figure pedologiche. Nei climi freddi si formano nel suolo cunei di ghiaccio che determinano i cosiddetti **suoli poligonali** (permafrost), che potrebbe permanere come relitto del passato in territori attualmente a clima temperato (Inghilterra meridionale, Germania settentrionale, Pianura Padana). Ciò indicherebbe non solo una fase fredda, ma anche, con una certa approssimazione, l'estensione della tundra subartica o di zone periglaciali nel passato.

Le fasi fredde periglaciali sono evidenziate anche dall'accumulo di limi eolici, che in Europa coprono rilievi preesistenti per una superficie di quasi due milioni di chilometri quadrati, e in Cina raggiungono localmente spessori di 180 metri. Suoli poligonali e depositi loessici indicano fasi periglaciali di clima freddo e relativamente secco. Sui sedimenti loessici o sulle morene o sui suoli precedenti possono evidenziarsi fenomeni di alterazione con formazione più o meno evidente di noduli e concrezioni e con comparsa del colore rosso, fattori legati forse ai periodi caldi interglaciali.

Su queste basi la sequenza cronologica del Quaternario europeo si compone di una serie di fasi fredde (glaciali), denominate Donau, Günz, Mindel, Riss, Würm, e una serie di fasi caldo-umide (interglaciali) definite Donau-Günz, Günz-Mindel, Mindel-Riss, Riss-Würm. Le prime sono generalmente caratterizzate da sedimenti, quali accumuli morenici o loessici di varia potenza. Solo nelle seconde su questi depositi s'insedia la pedogenesi con diversa intensità in rapporto alla natura mineralogica del substrato e al clima caldo: i processi di rubefazione sono i fenomeni più evidenti.

PARTE SECONDA

COMPRESIONE E CONSAPEVOLEZZA DEL SUOLO PER UN AMBIENTE SOSTENIBILE

Nella visione comune, spesso, il suolo è visto come “...semplice terra, ogni terra uguale all'altra...”, qualcosa di amorfo, di indifferente e, per questo motivo, risultava necessario il dovuto approfondimento esplicitato nella prima parte. Solo studiare ed approfondire il sistema “ambiente” dal punto di vista del suolo come sistema complesso può fornire spazi di riflessione sul fronte della tecnica, della scienza, della politica, dell'etica, dell'economia e della società. Problematizzare l'intero processo conoscitivo del sistema suolo è quindi il punto di partenza per aprire nuovi sguardi anche verso nuove forme di razionalità e di intervento, verso la maturazione di un senso di appartenenza alla realtà ambientale che prenda seriamente in considerazione l'essere-nel-mondo del genere umano.

La conoscenza del sistema suolo porta maggiore consapevolezza nell'utilizzo degli strumenti di analisi e nell'interpretazione dei dati, nella valutazione delle specie più consone ad un determinato ambiente e nella scelta dei fattori di produzione che possano armonizzarsi al meglio con il contesto naturale.

Partendo dal suolo, la cura dell'ambiente deve mirare a proteggere e mantenere le risorse naturali che, oggi, sono usate dall'uomo in modo intenso, sistematico e continuativo.

Il suolo, come visto, gioca un ruolo essenziale ponendosi come crocevia tra l'atmosfera, l'idrosfera, la geosfera e la biosfera e, pertanto, la vera domanda da porsi è: **“in che modo quest'uso può essere considerato sostenibile, con l'obiettivo di mantenere, se non implementare, le condizioni economiche, sociali e culturali per le generazioni future?”**.

LE PIU' IMPORTANTI FUNZIONI DEL SUOLO

Dobbiamo cominciare a guardare al suolo in modo più vasto: al suolo come a un'entità complessa e dinamica, in continua evoluzione, che esplica una serie di funzioni che lo pongono di diritto al centro degli equilibri ambientali ed economici, dove i fenomeni assumono le forme più diverse a seconda delle condizioni dell'insieme.

Il suolo palesa molte funzioni fondamentali per lo sviluppo sociale ed economico dell'umanità. Le prime hanno una manifesta funzione naturale e culturale, mentre le altre sono più direttamente legate all'attività umane: tecniche, industriali e socio-economiche.

- Il suolo è la base della vita e spazio vitale per gli esseri umani, animali, piante e microrganismi.
- Il suolo è un elemento fondamentale della natura e del paesaggio.
- Il suolo è parte dell'equilibrio ecologico, in particolare con il ciclo delle acque e dei nutrienti.
- I suoli sono un sistema di filtraggio, tampone e attività di trasformazione, tra l'atmosfera, l'acqua di falda, e la copertura vegetale, proteggendo l'ambiente e in particolare l'uomo attraverso la protezione della catena alimentare e le riserve di acqua potabile.
- I suoli sono utilizzati per produrre biomassa agricola e forestale che, in buona sostanza, assicura nutrimento agli esseri viventi e un ricambio energetico fondamentale nel binomio ossigeno/anidride carbonica.
- I suoli sono habitat biologici e riserve genetiche, molto più grande, in quantità e in qualità, di tutta la biomassa esistente sulla terra.

In estrema sintesi, ci troviamo di fronte ad un laboratorio biologico straordinariamente diversificato composto da una immensa quantità di organismi (**edaphon**) dalla cui attività dipendono la produzione di biomassa, la catena alimentare e la biodiversità terrestre.

Tramite le proprie capacità fisiche di filtrazione, chimico-fisiche di tamponamento e microbiologiche/biochimiche di trasformazione, agisce come barriera alla propagazione delle sostanze inquinanti nelle risorse idriche mentre, assorbendo grandi quantitativi delle precipitazioni meteoriche, funge da regolatore dei flussi idrici superficiali e di controllo degli eventi alluvionali. Il suolo è, dopo gli oceani il più grande serbatoio di carbonio, ed è direttamente influenzabile (negativamente o positivamente) dall'attività antropica, giocando così un ruolo importante nella mitigazione dei cambiamenti climatici. Il suolo è una parte integrante e insostituibile del capitale naturale del pianeta Terra e svolge un ruolo strategico per il mantenimento dell'equilibrio dell'intero ecosistema.

In aggiunta a queste funzioni ecologiche, i suoli hanno altre tre funzioni più collegate a usi tecnici, industriali e socio-economici:

- Sono la base fisica per strutture tecniche, industriali e socio-economiche, e per la loro evoluzione: sport, ricreazione, gestione dei rifiuti, trasporti, alloggiamenti, locali industriali etc. Uno dei principali problemi in questo contesto è l'esponenziale aumento delle aree urbane e periferiche, includendole le infrastrutture, come le strutture di trasporto che le collegano. Questo non è più soltanto vero nei paesi più

industrializzati, ma anche per i paesi in via di sviluppo, in Africa, in America Latina e in Asia.

- Sono una sorgente di materie prime, come le argille, le sabbie, le ghiaie e i minerali in genere, senza dimenticare le fonti energetiche e l'acqua. Le materie prime sono la base per lo sviluppo tecnico, industriale e socio economico.
- Il suolo, da ultimo, è uno dei contenitori della nostra evoluzione culturale, è la base delle bellezze dei nostri paesaggi ed è il supporto che ha permesso la crescita delle civiltà umane.

Considerato che i suoli sono una risorsa limitata che non può essere ampliata o facilmente ripristinata, l'utilizzo di queste funzioni principali del suolo e della terra diventa una chiave essenziale per la sostenibilità di tutto l'ecosistema come lo conosciamo. In una visione olistica, l'utilizzo del suolo può essere definito come l'impiego temporaneo e spaziale di tutte queste funzioni, in modo simultaneo, anche se non sono sempre complementari in una data area.

SOSTENIBILITA, INTERAZIONE E COMPETIZIONE TRA LE FUNZIONI DEL SUOLO

Il suolo è una risorsa che deve essere utilizzata nel modo più consono, in relazione alle sue proprietà intrinseche, affinché possa continuare a svolgere la sua insostituibile funzione.

Per capire il ruolo del suolo in un ambiente sostenibile è necessario definire le interazioni e gli antagonismi che esistono tra le funzioni del suolo e i loro utilizzi.

In questo duplice contesto si possono distinguere due diversi aspetti:

- Competizione tra l'uso del suolo per lo sviluppo di infrastrutture, da una parte, e, dall'altra, il suo utilizzo come produzione di biomassa, come sistema filtrante per l'ambiente, come stock di riserva di elementi e come riserva genetica. Questo aspetto risulta immediatamente evidente quando si prende in considerazione la crescita quasi esponenziale dei processi di urbanizzazione, di industrializzazione e del proliferare di altri elementi avvenuta nelle ultime decadi che escludono, per sempre, o per periodi di tempo estremamente lunghi, gli altri usi del suolo. Nella sola Lombardia, dal 2012 al 2015 sono infatti scomparsi quasi 1000 ettari di suolo all'anno, coperti da urbanizzazioni e strade. Una perdita che danneggia in primo luogo l'agricoltura, che ha visto perdere ogni anno 2500 ettari per l'effetto combinato di urbanizzazione e abbandono. Ora, se l'abbandono riguarda quasi esclusivamente suoli marginali e poco fertili, a volte le urbanizzazioni cancellano spesso suoli di alto valore produttivo,

colpendo al cuore il patrimonio agricolo. In termini più generali, in Italia, si stima che il consumo di suolo sia quasi triplicato negli ultimi 70 anni, e abbia intaccato ormai circa 21.100 km² del territorio nazionale. Da un punto di vista ancora più ampio, nella sola Europa si perdono ogni ora 11 ettari di suolo, e l'Italia contribuisce per circa 1/5 a tale consumo.

- Competizione non solo quantitativa, in un mero rapporto di perdita/incremento d'aree, ma, anche e soprattutto, qualitativa, causata dall'interferenza continua tra dinamiche infrastrutturali e naturali. Nelle aree più densamente popolate il suolo viene sempre più contaminato da un uso scorretto di prodotti di sintesi nel campo agricolo, da deposizioni atmosferiche inquinanti, da contaminazioni delle acque.

Da ultimo, ma non per importanza, dobbiamo sempre aver presente che questa competizione, inevitabile in un processo naturale di crescita demografica e socio-economica, deve sempre essere coniugata con il concetto di "**sostenibilità**" e, conseguentemente, con la necessità di integrare gli obiettivi sociali, economici ed ecologici.

USO E CURA DEL SUOLO IN UN AMBIENTE SOSTENIBILE

Il suolo, quindi, come punto di partenza, come approccio consapevole all'ecosistema, dove, ad esempio, l'attività agricola non si pone come un possibile fattore di sconvolgimento e disturbo dei processi naturali ma, piuttosto, come un utilizzo responsabile delle risorse, senza mai depauperarle.

Il concetto di fertilità del suolo sembra essere antico e acquisito almeno quanto il concetto di agricoltura, eppure negli ultimi decenni è stato forse fin troppo trascurato dall'agricoltura moderna e intensiva. Per molti anni si è diffusamente creduto, anche solo tacitamente, che i progressi della meccanica, della chimica e della tecnica potessero rappresentare la soluzione a ogni difficoltà produttiva dell'agricoltura. Un approccio, questo, che ha spesso ridimensionato il suolo al rango di semplice substrato su cui poter realizzare l'attività agricola.

Eppure, lo stato di salute di un suolo rappresenta l'alleato migliore di cui l'agricoltore può avvalersi per produrre in modo sostenibile e conveniente: fare agricoltura su terreni fertili e in buona salute significa produrre di più e in modo più semplice, con minori input e a costi ambientali contenuti. Gli equilibri che possono instaurarsi in un suolo agrario, infatti, sono in grado di svolgere funzioni essenziali come la fornitura di elementi minerali, la distribuzione delle risorse idriche o anche il controllo di organismi ed elementi patogeni, una funzione

fondamentale per lo sviluppo delle colture, senza ricorrere in modo drastico a svariati elementi di sintesi.

Il crescente impiego di input colturali e l'elevata efficienza delle tecnologie, di cui la moderna agricoltura si avvale, possono anche riuscire a mascherare le perdite di produttività associate alla perdita di fertilità del suolo, ma il crescente ricorso a questi input espone l'agricoltore all'aumento dei costi di produzione e al rischio di impattare in modo sempre più negativo e sempre più diffuso sulla qualità ecologica dei terreni. Non è un caso, dunque, che il declino della produttività dei suoli agrari sia oggi un fenomeno molto esteso (e ancora non del tutto quantificato) che rischia di annullare, anche nel breve periodo, tutti i progressi sinora ottenuti nel campo delle tecnologie agrarie.

Senza timore nel ripetere un concetto fondamentale, non bisogna mai dimenticare che il suolo è un corpo estremamente fragile; si rinnova in tempi generalmente molto lunghi ma può essere distrutto fisicamente in tempi molto brevi, o alterato chimicamente e biologicamente, nonostante la sua resilienza, sino alla perdita delle proprie funzioni.

L'incremento demografico, la disordinata espansione dei centri urbani, lo sviluppo industriale, il proliferare delle infrastrutture, l'estrazione indiscriminata delle materie prime, lo sviluppo di pratiche agricole intensive e gli effetti locali dei cambiamenti climatici globali, determinano le principali pressioni sul suolo. Queste pressioni originano o amplificano una serie di processi degradativi alcuni dei quali possono anche incidere sulla salute dei cittadini e mettere in pericolo la sicurezza dei prodotti destinati all'alimentazione umana e animale. Tali minacce alla corretta funzionalità dei suoli sono rappresentate da:

- l'**erosione**, ovvero la rimozione di parte del suolo ad opera degli agenti esogeni (vento, acqua), spesso indotta o amplificata da fattori antropici;
- la **diminuzione di materia organica**, legata a pratiche agricole non sostenibili e alle deforestazioni;
- l'**erosione della parte superficiale del suolo** in cui la materia organica è concentrata;
- la **contaminazione locale** (siti contaminati), causata da fonti inquinanti puntuali e la
- contaminazione diffusa dovuta a molteplici punti di emissione;
- l'**impermeabilizzazione**, ovvero la copertura permanente di parte del terreno e del relativo suolo con materiale artificiale non permeabile (fabbricati, infrastrutture, strade, ecc.);
- la **compattazione**, causata da eccessive pressioni meccaniche, conseguenti all'utilizzo di macchinari pesanti o al sovrapascolamento;

- la **salinizzazione**, ovvero l'accumulo naturale (salinizzazione primaria) o antropicamente indotto (salinizzazione secondaria) nel suolo di sali solubili;
- le **frane** e le **alluvioni**;
- la perdita della biodiversità edafica, indotta dalle altre minacce, che determina lo scadimento di tutte le proprietà del suolo;
- la **desertificazione**, intesa come ultima fase del degrado del suolo.

L'impermeabilizzazione (o cementificazione, in senso lato) rappresenta la principale causa di degrado del suolo in Europa, in quanto comporta un rischio accresciuto di inondazioni, contribuisce ai cambiamenti climatici, minaccia la biodiversità, suscita particolare preoccupazione allorché vengono ad essere ricoperti terreni agricoli fertili e aree naturali e seminaturali, contribuisce insieme alla diffusione urbana alla progressiva e sistematica distruzione del paesaggio, soprattutto rurale.

È probabilmente l'uso più impattante che si può fare della risorsa suolo poiché ne determina la perdita totale o una compromissione della sua funzionalità tale da limitare/inibire il suo insostituibile ruolo nel ciclo degli elementi nutritivi. Le funzioni produttive dei suoli sono, pertanto, inevitabilmente perse, così come la loro possibilità di assorbire CO₂, di fornire supporto e sostentamento per la componente biotica dell'ecosistema, di garantire la biodiversità e, spesso, la fruizione sociale.

L'impermeabilizzazione deve essere, per tali ragioni, intesa come un costo ambientale insostenibile, risultato di una diffusione indiscriminata delle tipologie artificiali di uso del suolo che porta al degrado delle funzioni ecosistemiche e all'alterazione dell'equilibrio ecologico.

Ora, pur tralasciando i processi che portano alla perdita irreversibile della risorsa suolo, all'interno di tutte le altre problematiche, sempre interconnesse, è il contenuto di carbonio organico, vera e propria chiave di fertilità e multifunzionalità dei suoli, ad essersi fortemente ridotto nei terreni agrari. Nell'area del Mediterraneo ed in Italia, ad esempio, il contenuto medio di sostanza organica si aggira intorno all'1,5% e si stima che l'86,4% della superficie di suolo totale in Italia sia caratterizzato da valori di carbonio organico inferiori al 2%.

Un aumento del contenuto in sostanza organica si traduce in minor consumo di concimi di sintesi, in minor costi, in meno ore di lavoro, in minori rischi di carenze idriche per le colture, in una maggiore areazione dei suoli e in una minore compattazione dei substrati colturali.

Secondo una definizione classica, *"... la fertilità di un suolo si misura secondo l'abbondanza di un raccolto che porta, in base alla situazione climatica e alle migliori tecniche colturali..."*

Ma quali sono le migliori tecniche colturali per ogni singolo suolo?

La fertilizzazione non è un semplice apporto di sostanze fertilizzanti, naturali o sintetiche che siano, quanto un connubio imprescindibile di qualità e di persistenza a lungo termine di questa attitudine a produrre.

Che senso avrebbe sottoporre una terra a una monocoltura altamente produttiva se, senza apporti di sostanza organica, o per l'abuso di certi prodotti, fosse condannata a un futuro di impoverimento, di erosione o di intossicazione?

Alla nozione di "**fertilità**" si dovrebbe aggiungere quella di "**fecondità del suolo**": l'attitudine a produrre tutta la catena alimentare, dai microorganismi all'uomo, passando per le piante e gli animali, lungo lo scorrere di intere generazioni, a tempo indefinito.

Migliorare la fecondità di un suolo, pertanto, è un compito esigente e più complesso rispetto al migliorare la sua fertilità. L'impiego di una tecnica, di un fertilizzante o di un pesticida non deve essere visto in modo esclusivo secondo la resa immediata di un raccolto, di una fertilità a breve termine, bensì tenendo sempre conto degli effetti a lungo termine sulla produzione, sulla salute dell'uomo e sulla vitalità dell'intero ecosistema.

Quello della degradazione dei suoli, o la loro perdita irreversibile, è dunque un problema che va oltre il mondo strettamente agricolo e forestale per coinvolgere tutta la società, nei suoi diversi aspetti, esigenze e priorità. Ecco perché oggi a livello di Unione europea si torna a parlare con ritrovato interesse di potenzialità e di qualità dei suoli agrari e di strumenti normativi che possano garantirne la tutela.

Il problema della conservazione della risorsa suolo, per tutti questi motivi, si trova già oggi ad essere uno degli elementi chiave del dibattito sulla sostenibilità ambientale e climatica dell'agricoltura avviato con la programmazione della Politica agricola comunitaria 2014-2020. Questa, infatti, chiederà agli agricoltori, che sono i custodi di una gran parte dei suoli del vecchio continente, di gestire in modo più razionale, efficiente e sostenibile i propri terreni fornendo opportuni strumenti di incentivazione e sostegno a pratiche colturali amiche del suolo.

Conoscere, quindi, per armonizzare la risorsa con corrette pratiche agronomiche, evitando di utilizzare in modo eccessivo ed inutile energie esterne che, in ultima analisi, porterebbero a contaminazione locale e diffusa per utilizzo improprio di concimi e prodotti di sintesi, impermeabilizzazione e compattazione per pratiche agronomiche scorrette, perdita di sostanza organica e diminuzione della biodiversità.

UN NUOVO MODO DI INTENDERE IL SUOLO, GUARDANDO AL FUTURO

Carbon sink e carbonio nei suoli

L'UNFCCC (United Nation Framework Convention on Climate Change - Convenzione Quadro delle Nazioni Unite sui Cambiamenti Climatici) definisce **carbon sink** come "*qualsiasi processo, attività o meccanismo per rimuovere gas ad effetto serra, aerosol o un precursore di gas serra dall'atmosfera. Sink di carbonio (carbon sink) sono quindi le attività, i processi, o i meccanismi di **rimozione** (e **sequestro**) di biossido di carbonio (CO₂) dall'atmosfera*".

Quindi, carbon sink - letteralmente "pozzi di assorbimento di carbonio"- quale strumenti che sottraggono CO₂ dall'atmosfera.

Ma la CO₂ è anche il più importante gas ad effetto serra, la cui emissione è enormemente cresciuta nell'era industriale primariamente a causa della combustione dei combustibili fossili: ma grazie all'azione dei carbon sink la CO₂ può essere rimossa dall'atmosfera e "**compartimentata**", non esplicando più nel comparto atmosferico la sua "capacità serra".

Un carbon sink è quindi un sistema che trattiene CO₂ in quantità maggiore rispetto a quella che, eventualmente, rilascia: le foreste sono un tipico esempio di ciò, dato che nella maggioranza delle fasi del loro ciclo vitale assorbono carbonio (comportandosi appunto come "carbon sink") mentre in altre fasi (ad es. gli incendi boschivi) rilasciano CO₂, diventando "carbon source".

In estrema sintesi, ogni volta che una pianta, nel corso del tempo, accresce la propria biomassa sta assorbendo e stoccando carbonio nelle proprie molecole organiche, con un saldo positivo nell'ambito del sequestro del carbonio atmosferico. I **carbon sink forestali** (forestry carbon sink - pozzi di assorbimento forestali) sono quindi luoghi dove si verifica il processo di assorbimento di CO₂ dall'atmosfera e suo sequestro mediante fissazione nelle molecole organiche vegetali.

In realtà, nonostante il concetto che le foreste debbano essere mantenute integre perché rappresentano la più importante fonte di sequestro e immobilizzazione del carbonio sia stato sviluppato in innumerevoli forme, e conosciuto da un vastissimo pubblico, l'informazione corrente si ferma a questo primo gradino, tralasciando la parte più cospicua del processo di immobilizzazione, che non si esaurisce affatto nell'ambito del solo mondo vegetale.

Infatti, il mondo vegetale è solo un momento transitorio, anche se lungo, del sequestro del carbonio organico.

Transitorio perché il **processo si conclude nel suolo!**

Il sequestro di carbonio prevede tre fasi:

- la rimozione di CO₂ dall'atmosfera attraverso la fotosintesi delle piante;
- il trasferimento di carbonio dalla CO₂ atmosferica all'organizzazione del carbonio nella struttura, nella biomassa del vegetale;
- il trasferimento di carbonio dalla biomassa vegetale al suolo sotto forma di sostanza organica (foglie, sostanza legnosa morta, apparati radicali, esudati, ecc.) che può essere stabilizzata nel suolo con una serie di meccanismi che possono essere fisici (isolamento del carbonio all'interno di micro e macroaggregati del suolo dove è inaccessibile agli organismi del suolo), chimici (il carbonio può essere fortemente assorbito dalle argille con legami che impediscono il consumo di carbonio da parte degli organismi) e biochimici (il carbonio può essere incorporato in strutture molecolari complesse che possono ostacolarne la decomposizione e il susseguente rilascio).

I tre meccanismi dipendono da una serie di fattori biotici, abiotici e di gestione che modellano la loro efficacia di stabilizzazione del carbonio nel suolo.

In valori, la sostanza organica del suolo rappresenta la più grande riserva terrestre di carbonio (C), con 1.500 miliardi di tonnellate di C, circa il doppio di quella contenuta nell'atmosfera terrestre (740 miliardi di tonnellate di C, sotto forma di anidride carbonica CO₂) e solo 560 si trovano nella biomassa vegetale. Tali forme sono rimaste in un equilibrio stabile fino all'avvento delle attività umane e dell'era industriale, quando l'uso di combustibili fossili e la deforestazione hanno determinato una forte diminuzione della biomassa vegetale e della sostanza organica del terreno, con conseguente aumento dell'anidride carbonica in atmosfera.

La sostanza organica nel suolo, una chiave di (s)volta per il futuro

Da quanto emerso, si può facilmente capire come, assieme, il punto focale per non depauperare la risorsa delle terre (a livello planetario) e per dare una risposta concreta al cambiamento climatico sia proprio la sostanza organica presente nei suoli.

La sostanza organica ha un effetto diretto sulla crescita delle piante grazie alla sua influenza sulle proprietà fisiche, chimiche e biologiche del terreno. Essa, infatti, favorendo la struttura, facilita le operazioni colturali e consente la circolazione di aria e soluzioni nutritive all'interno del terreno stesso.

Ha un'elevata superficie specifica, interagisce con i microelementi e con i minerali, agisce come scambiatore cationico (elevata C.S.C.) e costituisce un'importante riserva di azoto.

La sostanza organica contiene inoltre un'elevata percentuale del fosforo presente nel suolo, e oltre il 90% dello zolfo totale. E' la fonte energetica per i batteri azoto-fissatori, favorisce lo sviluppo delle radici (quindi le possibilità nutritive della pianta), e la germinazione dei semi. Stimola processi fisiologici e biochimici del metabolismo cellulare e svolge una funzione di filtro, permettendo di diminuire gli effetti tossici di metalli pesanti e fitofarmaci.

La sostanza organica può dar luogo allo sviluppo di aggregati, di dimensioni variabili a seconda delle caratteristiche di tessitura del terreno, ovvero della prevalenza tra le componenti minerali di sabbia, limo ed argilla. Queste particelle possono disporsi e organizzarsi spazialmente grazie all'azione di cementi organici e inorganici e costituire quella che viene chiamata la struttura del suolo, determinando la forma e le dimensioni degli aggregati e, di conseguenza, degli spazi vuoti (macropori e micropori); garantisce quindi una buona porosità, che aumenta l'aerazione, la circolazione dell'acqua nel suolo e lo sviluppo degli apparati radicali. Favorisce l'attività della biomassa ed è di stimolo per l'attività dei cicli degli elementi nutritivi.

La conservazione di una buona struttura del terreno ha poi delle implicazioni ambientali connesse con l'erosione. Infatti, lo sfaldamento degli aggregati e il conseguente ruscellamento in seguito a violente piogge portano alla perdita degli strati superficiali dei suoli.

Inoltre, influenza la capacità di ritenzione idrica non solo perché aumenta la porosità e migliora la struttura del suolo ma anche perché è in grado di trattenere grandi quantitativi di acqua. L'acqua trattenuta dalla sostanza organica influenza notevolmente il regime di temperatura del suolo a causa della sua capacità termica. Il terreno infatti si raffredda e si riscalda molto più lentamente quando il contenuto di acqua è elevato.

Come ultimo fattore, ma non per importanza, la sostanza organica dona al suolo colori più scuri, influenzandone la temperatura in modo sostanziale.

Spunti di riflessione a km 0

Vediamo come potrebbero cambiare le cose, citando alcuni numeri, a km 0.

Parliamo di un suolo reale, analizzato, dell'area agricola canavesana, e supponendo che, con opportuni apporti organici il contenuto medio di sostanza organica passi dal suo attuale 2% ad un ipotetico 5% (un dato assolutamente usuale nei suoli agricoli prima della rivoluzione

tecnico-colturale susseguente alla seconda guerra mondiale). Supponiamo inoltre che il suolo sia coltivato a mais, altro esempio tipico a km 0.

Per svolgere il suo ciclo colturale, un ettaro seminato a mais per granella (produzione media di 120 q/ha) abbisogna di circa 190 kg/ha di azoto e di importantissime quantità d'acqua.

Ora, calcolando, su una superficie di un ettaro, per la profondità di 30 cm (il suolo agrario normalmente esplorato dagli apparati radicali delle piante più comunemente coltivate, passando dal 2 al 5% di sostanza organica, il suolo, con un tasso di mineralizzazione annuale della sostanza organica di circa il 2%, ci **“regalerebbe”**

- 90 kg/ha di azoto e una disponibilità idrica (la sostanza organica funziona come una spugna, limitando la percolazione dell'acqua verso la falda e mantenendola più a lungo utilizzabile nella parte di suolo esplorato dagli apparati radicali) praticamente raddoppiata (centinaia di migliaia di litri);
- altri 30 kg/ha di azoto sarebbero “regalati” dalle precipitazioni atmosferiche, un dato cui quasi nessuno tiene conto;
- un apporto continuo e di sostanza organica bilancerebbe le perdite legate all'asporto colturale degli elementi nutritivi e fornirebbe un pool completo degli stessi (non solo N, P e K, ma anche tutti gli altri elementi necessari alla crescita e alla salute delle colture);
- avremmo necessità di minori interventi colturali (la concimazione del mais con prodotti di sintesi non avviene in un'unica soluzione) che farebbero risparmiare tempo, usura dei mezzi e combustibili;
- il processo di rilascio degli elementi nutritivi sarebbe dilazionato nel tempo, evitando che, ad ogni concimazione, parte dei prodotti vada semplicemente perso per lisciviazione, causando inquinamenti alla falda sottostante e inutili perturbamenti negativi all'intero sistema, oltre alle perdite economiche;
- ... e molto altro, facilmente deducibile da quanto sposto finora.

Cultura e coltura

Tutto sembrerebbe semplice, stando queste premesse, peccato che, nella pratica, il mondo “colturale” rimanga tenacemente ancorato ad abitudini consolidate nel tempo, sia nelle scelte produttive che nei mezzi di produzione.

Che elementi, e in quale quantità, servono a quel suolo per produrre un buon raccolto?

Anche qui la risposta sembrerebbe banalmente semplice: un'analisi di laboratorio del suolo stesso.

Analisi del suolo agrario: il primo step, indubitabile, nell'esame delle scelte colturali/costi/benefici. Talmente evidente come punto di partenza da risultare lapalissiano, palese, scontato, verrebbe da pensare, ma non così evidente nella realtà dei fatti.

Infatti, purtroppo, gli operatori che si affidano alla "cultura" per promuovere una "coltura ideale (cosa, dove, quando, quanto e perché)" rappresentano ancora una sparuta minoranza e, ad esclusione di questa sparuta minoranza, la pratica di eseguire un'analisi del suolo, prima di procedere alla scelta colturale, sostenuti da un corretto piano di concimazione, rimane ancora, quasi ovunque, una chimera.

Eppure, sempre rimanendo in un esempio a km 0, dopo tante azioni nell'area del Canavese, corsi, lezioni divulgative, interventi di pubbliche amministrazioni, quella sparuta minoranza comincia a toccare con mano che si possono ottenere gli stessi risultati degli anni precedenti intaccando meno, e in modo sensibile, il portafoglio dell'azienda.

In realtà, perdonate questa chiosa, la felicità di chi scrive non riposa esclusivamente su un "... caspita, non avrei mai immaginato che tu potessi aver ragione fino a questo punto", quanto sul fatto che questo primo passo darà veramente una mano alla resilienza ecosistemica, contrastando con forza crescente il lento degrado ambientale cui assistiamo, quasi impotenti, anno dopo anno.

CONCLUSIONI

Da tutto questo, concludendo, il suolo non appare più come un mero supporto inerte alla produzione agricola ma un corpo vivente, con diversità e unicità caratterizzanti che, se correttamente pesate ed approfondite in modo scientifico, aiutano a meglio comprendere il significato di "risorsa".

Nella pratica agricola devono convergere tutte le scienze naturali, scienze del suolo in particolare, e le scienze sociali. Quindi studiare ed approfondire il sistema agroambientale dal punto di vista del suolo come sistema complesso può fornire spazi di riflessione sul fronte della tecnica, della scienza, della politica, dell'etica, dell'economia e della società.

La comprensione del suolo e delle caratteristiche ambientali di ogni singolo territorio armonizzano l'agricoltura e la indirizzano verso una produzione di unicità, di qualità e di sostenibilità, sia sociale che economica.

Una gestione attiva e responsabile, mai casuale o dettata da abitudini inveterate, acritiche e inconsapevoli, messa in atto dai singoli individui, come gli agricoltori, e dall'intera collettività, operante nel bene comune e nella giustificazione della politica pubblica.

Il giusto approccio aspira, pertanto, ad essere ricerca, incontro e dialogo trasparente sulla gestione del comparto agricolo ed ambientale, quale mezzo o strumento per raggiungere obiettivi fondamentali, come la cura della terra e, soprattutto, sicurezza per le generazioni future.

Fortunatamente, nel nostro paese, il concetto che il suolo costituisca una risorsa finita, non facilmente riproducibile, si è fatto lentamente strada, dapprima nella cultura urbanistica ed ora, sempre di più, nei processi che regolano le decisioni in merito alla destinazione d'uso del territorio. Sta crescendo la consapevolezza, anche se a piccoli passi, della necessità di adeguati strumenti di conoscenza onde indirizzare al meglio le scelte di destinazione e di gestione, in modo che gli usi consentano di ottenere la produttività ottimale a livello di ecosistema.

La produttività che si vuole ottenere, in ultima istanza, non è quella che mira al raggiungimento delle massime produzioni, ma quella che guida gli usi del territorio secondo le naturali attitudini e le naturali disponibilità che lo caratterizzano, tutelandone le peculiarità e contenendo i costi ambientali che risultano, o che potrebbero risultare, dalle scelte dei diversi processi produttivi.