



DIPARTIMENTO DI SCIENZE AGRARIE ALIMENTARI E AMBIENTALI

CORSO DI LAUREA IN: SCIENZE E TECNOLOGIE AGRARIE

I REGIMI TERMICI E IDRICI DEL SUOLO,  
RELAZIONI CON LE CONDIZIONI CLIMATICHE

SOIL THERMIC AND MOISTURE REGIMES,  
RELATIONS WITH CLIMATE CONDITIONS

TIPO TESI: compilativa

Studente:  
FRANCESCO PIERI

Relatore:  
PROF.SSA STEFANIA COCCO

Correlatore:  
DOTT.SSA VALERIA CARDELLI

ANNO ACCADEMICO 2020-2021

# SOMMARIO

CAPITOLO 1 LA DEFINIZIONE DI SUOLO.....	3-4
CAPITOLO 3 I FATTORI DELLA PEDOGENESI.....	5
2.1 Il tempo.....	5-6
2.2 Il substrato pedogenetico.....	6-7
2.3 Rilievo e morfologia della superficie.....	8
2.4 Caratteristiche fisiche e morfologiche del suolo.....	9-11
2.5 Gli organismi.....	11
CAPITOLO 3 LA CLASSIFICAZIONE DEI SUOLI.....	12-18
CAPITOLO 4 REGIMI TERMICI E IDRICI DEL SUOLO .....	19-24
4.1 Misurazione dei regimi termici e idrici .....	24-26
CAPITOLO 5 EFFETTI DELLA TEMPERATURA E DELL'UMIDITÀ SUL SUOLO .....	27-29
CAPITOLO 6 VERTISOLIZZAZIONE E VERTISOLS: RISCHI PER I SUOLI ITALIANI ..	30-34
BIBLIOGRAFIA.....	35

## 1. Definizione di suolo

Definire precisamente il suolo non è affatto semplice dato l'elevato numero di componenti e processi che avvengono all'interno dell'ecosistema, tanto che esistono vari sistemi di classificazione e differenti metodi di misurazione per gli stessi parametri.

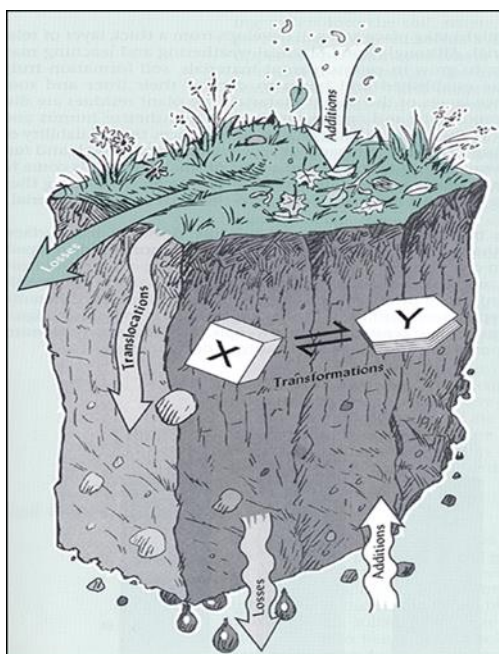
La definizione più classica, adottata anche a livello legislativo dall'Unione Europea è: il suolo è il prodotto delle trasformazioni di sostanza organica e minerali delle rocce che avvengono alla superficie delle terre emerse [5].

Il suolo non è un'entità a sé stante, ma un complesso sistema di componenti solidi, liquidi e gassosi che interagiscono dando vita all'ambiente di crescita dei vegetali, l'habitat per microrganismi, microfauna e mesofauna; inoltre svolge numerose funzioni ecosistemiche che vanno dalla filtrazione delle acque, all'immagazzinamento del carbonio, al mantenimento della fertilità e della biodiversità [1].

Il suolo non è un corpo statico in quanto nasce, evolve e muore ed il suo sviluppo è frutto dell'interazione tra atmosfera, biosfera, idrosfera e litosfera, la loro interfaccia prende il nome di pedosfera [1-2].

Secondo il Soil Survey Division Staff, (2010), il suolo è un corpo naturale tridimensionale, formato da una componente solida (minerali e sostanza organica), liquida (acqua e sali disciolti) e gassosa, localizzato sulla superficie delle terre emerse ed avente una od entrambe delle seguenti caratteristiche:

- la presenza di orizzonti o strati chiaramente distinguibili dal materiale parentale, originatisi per effetto di processi di addizione, rimozione, traslocazione e trasformazione di energia e materia;
- la capacità di sostenere la vita delle piante superiori negli ambienti naturali.



Schematizzazione dei principali processi pedogenetici in una sezione di suolo.

Vengono di seguito descritti i principali orizzonti dei suoli secondo la Soil Taxonomy (2015).

- Orizzonti O

Sviluppati generalmente in superficie e composti prevalentemente da materiali organici del suolo (ma non di materiali limnici). Hanno una densità di massa relativamente bassa rispetto al suolo minerale.

- Orizzonti A

Orizzonte di suolo minerale di superficie, generalmente scurito dall'accumulo di humus. Può essere sepolto da nuovi depositi o essere situato al di sotto di un orizzonte organico.

- Orizzonti E

Orizzonte di un suolo minerale caratterizzato da una perdita di ferro, alluminio, argilla o materia organica. Generalmente ha un colore più leggero e una struttura più grossolana rispetto all'orizzonte sopra.

- Orizzonti B

Orizzonte minerale del sottosuolo, generalmente caratterizzato dall'accumulo, dalla rimozione o dalla ridistribuzione di componenti quali ferro, alluminio, silice, argilla, humus, carbonato di calcio, solfato di calcio.

- Orizzonti C

Lo strato di suolo minerale relativamente inalterato sottostante il profilo pedogenetico del suolo sviluppato. Poco influenzati dai processi pedogenetici e contenenti materiale detritico proveniente dalla roccia madre.

- Orizzonti R

Orizzonti consolidati, duri e costituenti roccia madre inalterata.

La genesi di un suolo impone tempi di sviluppo che superano di gran lunga la vita umana, proprio per questo è importante studiare la sua dinamica evolutiva, in quanto la sua scorretta gestione provoca danni irreparabili per le generazioni future che nell'immediato sono impercettibili o minimamente riscontrabili. Lo studio della genesi di un suolo permette di capire le conseguenze delle azioni umane sull'uso del suolo e di spiegare la presenza di suoli diversi sulla superficie terrestre, all'interno di una stessa nazione ed anche di una stessa regione. In aggiunta a questa variabilità di tipo "orizzontale", l'evoluzione di un solo determina anche una forte variabilità "verticale" in quanto le caratteristiche che ritroviamo in prossimità della superficie sono molto differenti rispetto a quelle che troviamo andando in profondità; nessun suolo è omogeneo e, in funzione dell'uso alla quale verrà destinato, è importante considerare le caratteristiche di un profilo che arrivi abbastanza in profondità e non fermarsi ai primi 20-30 cm, altrimenti incombe il rischio di riscontrare orizzonti di profondità avversi alla destinazione d'uso [1-5].

## 2. I fattori della pedogenesi.

La pedogenesi è un processo molto lungo all'interno del quale il clima, inteso come insieme dei regimi termici e idrici, pur giocando il ruolo più importante in assoluto, non è l'unico fattore in ballo per determinare il risultato finale. In ordine di importanza gli altri fattori che influenzano la pedogenesi sono:

- ✓ tempo;
- ✓ substrato pedogenetico;
- ✓ rilievo e morfologia della superficie;
- ✓ caratteristiche fisiche e morfologiche del suolo;
- ✓ organismi.[1]

### 2.1) Il tempo

Il tempo è uno dei fattori della pedogenesi tra i più problematici da esplicitare, il motivo è che questo può essere più o meno importante considerando il processo di genesi, ma risulta essere un fattore moltiplicativo nei confronti dell'azione degli altri fattori. Definire il tempo zero di un suolo, quello cioè che ha rappresentato l'inizio della sua evoluzione a partire dal substrato pedogenetico, è un'operazione impossibile in quanto, servendosi di metodi di datazione isotopica (che sfruttano cioè la quantificazione del numero di atomi presente di un certo isotopo per fornire la datazione del substrato analizzato) osserviamo che, mentre l'età dei minerali è solitamente riscontrabile nell'ordine dei milioni di anni, la componente organica ha un'età circoscritta alle migliaia di anni (massimo decine di migliaia). Il motivo di questa mancata corrispondenza è che il suolo mentre invecchia, si trasforma e quindi rinnova le sue componenti. Il suolo è soggetto a fenomeni di erosione continui, più o meno accentuati a seconda della sua posizione fisiografica, ma mantiene un certo spessore in quanto la pedogenesi contribuisce a produrre nuovo suolo a partire dal substrato pedogenetico dalla quale questo si origina.

Da questo equilibrio di tipo dinamico prende spunto il principio più contraddittorio della pedologia, cioè che il suolo è cronologicamente vecchio e nuovo allo stesso tempo: vecchio perché lì, in quel punto, il suolo c'è sempre stato (almeno da quando quel punto fa parte delle terre emerse), e giovane perché gran parte dei suoi componenti è di più recente introduzione (sostanza organica) o formazione (minerali secondari). Solo nel caso di materiali vulcanici per i quali sia nota la loro esatta messa in posto, grazie a dati storici, avvenimenti particolari o datazioni dei minerali primari, è possibile indicare l'età del suolo che su di essi si è sviluppato (ad esempio, sull'Etna, i conetti vulcanici denominati Monti Rossi si sono originati in pochi giorni durante una delle più disastrose fasi eruttivo/esplosive del vulcano, quella del 1669), questi sono di notevole interesse scientifico proprio perché, grazie alla conoscenza del momento in cui è iniziata la pedogenesi, permettono di capire la velocità di evoluzione di questo tipo di suoli nelle varie situazioni climatiche alle quali si trovano. Causa il livello di incertezza relativo al tempo, alcune definizioni quali suolo giovane, suolo maturo e suolo senile (o paleosuolo), sono oggi da intendersi più come riferite al loro grado di evoluzione che alla loro età. In effetti, per quanto riguarda il raggiungimento di un certo grado di evoluzione del suolo, molto spesso vale l'assioma: intensità x

tempo. Ciò significa che è possibile che il suolo raggiunga in breve tempo un elevato grado di sviluppo se i processi pedogenetici avvengono con elevata intensità o, al contrario, che impieghi molto tempo se l'intensità pedogenetica è minima.

In generale, per la formazione di orizzonti in condizioni medie (quelle presenti nella gran parte delle zone temperate) sono necessari diversi tempi di evoluzione: un orizzonte A si forma in meno di 500 anni, per la piena espressione di orizzonti Bw servono da 1000 a 3000 anni, per Bt e Bo sono necessari, rispettivamente, anche 100.000 e 1.000.000 di anni. [1]

## 2.2) Il substrato pedogenetico

Le rocce sono insiemi eterogenei di minerali, cioè costituite da più di un singolo minerale, queste vengono distinte, in base alla loro origine, in rocce ignee (o magmatiche), metamorfiche e sedimentarie.

Le rocce ignee si originano in seguito alla solidificazione di magmi; la solidificazione può avvenire in profondità, cioè all'interno della crosta terrestre, o in superficie, quando colate laviche siano esposte all'azione atmosferica (quindi all'aria). Nel primo caso avremo rocce di tipo intrusivo, con minerali che cristallizzano lentamente e sono quindi caratterizzate da cristalli ben visibili; nel secondo caso il rapido raffreddamento non permette la crescita dei cristalli, quindi otteniamo rocce di tipo effusivo, caratterizzate da una pasta di fondo microcristallina in cui sono immersi cristalli di dimensioni maggiori (fenocristalli).

Le rocce metamorfiche si originano quando una roccia di qualunque tipo (igneo, sedimentario o anche metamorfico) è sottoposta a cambiamenti di pressione o temperatura che determinano la ricristallizzazione della maggior parte dei minerali originariamente presenti. In questo caso, la composizione chimica della roccia varia poco rispetto a quella della roccia originaria.

Le rocce sedimentarie si originano per consolidamento e cementazione di vari depositi e vengono distinte in base all'origine del deposito in rocce sedimentarie chimiche (ad esempio formate per evaporazione di soluzioni saline come le rocce gessose); organogene, derivanti dalla sedimentazione dei costituenti più resistenti di organismi viventi (ad esempio molte rocce calcaree derivano dall'esoscheletro di organismi marini); e clastiche se derivano da accumulo di detriti erosi da suoli, rocce e depositi preesistenti (sono un esempio le arenarie, depositi sabbiosi consolidati e cementati).

La crosta terrestre è composta da rocce in rapporto 94:5:1 (rispettivamente ignee, metamorfiche e sedimentarie), mentre viene stravolta la composizione di queste se consideriamo la superficie delle terre emerse che presenta il 75% circa di rocce di tipo sedimentario.

Dal substrato pedogenetico la prima tappa fondamentale che porta alla formazione del suolo è la disgregazione fisica del materiale di partenza, in questa fase il cambiamento principale è l'aumento della superficie specifica (quella disponibile per le reazioni di trasformazione), che si traduce in un incremento imponente nel rapporto tra superficie e volume, mentre la composizione chimica dei minerali resta pressoché inalterata. L'azione della temperatura si accentua in materiali

fratturati: l'acqua meteorica, congelando nelle fratture della roccia, provoca un aumento di pressione grazie al maggior volume del ghiaccio rispetto all'acqua liquida (circa il 9% in più) che, agendo su linee di debolezza preesistenti, favorisce la disgregazione. Si ha lo stesso effetto quando nelle fratture della roccia si incuneano radici di vegetali. Un caso più particolare è legato all'aumento di volume dovuto alla cristallizzazione di sali: ad esempio, nel passaggio da anidrite ( $\text{CaSO}_4$ ) a gesso ( $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ) si ha un aumento di volume pari a circa 1,6 volte, con effetti quindi molto marcati. La disgregazione fisica inizia non appena la roccia è esposta all'azione degli agenti atmosferici ma continua anche successivamente, in parallelo con l'alterazione chimica dei minerali costituenti il substrato pedogenetico.

L'alterazione chimica del substrato porta alla formazione, a partire dai minerali originari del substrato pedogenetico, di minerali secondari; questa procede contemporaneamente all'alterazione fisica, ma viene catalizzata proprio dall'efficienza della disgregazione, che porta ad avere una superficie specifica disponibile per le reazioni maggiore in un lasso di tempo più breve.

I substrati pedogenetici possono essere di due tipi: autoctoni e alloctoni. I primi indicano substrati che derivano dalla roccia madre presente nel sito del suolo preso in analisi. Con il termine substrati alloctoni si indicano tutti i materiali che abbiano subito un processo di trasporto dal loro luogo di origine. Si tratta di materiali della più diversa origine che generalmente si presentano scarsamente compatti e i cui componenti minerali possono già aver subito una certa alterazione. In base ai principali fenomeni di trasporto e rideposizione che li hanno generati si riconoscono diversi substrati.

Il colluvium è un sedimento non consolidato, con particelle non selezionate (dalle dimensioni dell'argilla ai massi) che si origina per azione combinata di ruscellamento superficiale dell'acqua e fenomeni gravitativi. Si forma alla base dei versanti collinari o montani (piede del versante) in corrispondenza di una sensibile diminuzione di pendenza.

L'alluvium è un sedimento generalmente non consolidato, costituito da strati dalla tessitura anche molto diversa ma ognuno ben classato (argilla/limo, ghiaia, sabbia, ciottoli, ecc.), che si origina per azione dei corsi d'acqua. Questi depositi, a volte spessi alcuni metri, si formano per accumulo di materiale che è stato eroso, rimaneggiato dall'acqua durante il percorso e depositato in una zona non marina.

Anche i depositi lacustri si presentano stratificati e si originano per deposizione di materiali erosi nelle quiete acque di un lago.

I depositi morenici sono un accumulo di materiali eterogenei che sono stati presi in carico da un ghiacciaio, mescolati, frantumati, trasportati e depositati in vari modi essenzialmente durante le fasi di ritiro del ghiacciaio stesso.

Il löss o loess è un accumulo di materiali trasportati dal vento dalla tipica tessitura limosa. I materiali presi in carico dal vento derivano spesso da aree glaciali e, dopo la deposizione, possono rimanere non consolidati e quindi soggetti a erosione per lungo tempo oppure possono tendere a consolidare. Altri depositi eolici possono avere tessitura più sabbiosa.[1]

### 2.3) Rilievo e morfologia della superficie

La topografia si manifesta come uno dei fattori della formazione e distribuzione geografica del suolo in quanto gioca un ruolo a livello di scala continentale, regionale (da poche unità a centinaia di km<sup>2</sup>) o di dettaglio (da porzioni di ettaro a qualche km<sup>2</sup>). I principali indici che determinano questo fattore sono: latitudine, altitudine, esposizione, pendenza e distanza dal mare.

La latitudine influenza l'angolo d'incidenza dei raggi solari (diminuisce dall'equatore ai poli) il quale è direttamente proporzionale alla temperatura media. Anche l'altitudine ha un effetto sulla temperatura in quanto l'aria non è riscaldata dai raggi solari a corta lunghezza d'onda, che penetrano nell'atmosfera raggiungendo in buona parte la superficie terrestre, ma dall'energia emessa dalla Terra sotto forma di irraggiamento infrarosso (onde lunghe). Alcuni componenti dell'aria quali il vapore acqueo e il biossido di carbonio (CO<sub>2</sub>) sono tra i principali gas serra responsabili dell'assorbimento e riflessione della radiazione infrarossa terrestre (effetto serra), con accumulo di energia termica in atmosfera e conseguente innalzamento della temperatura alla superficie, tanto maggiore quanto più elevata è la concentrazione di gas nell'aria stessa. Dal momento che all'aumentare dell'altitudine si ha una sempre maggiore rarefazione soprattutto del vapore acqueo, anche la temperatura diminuisce, secondo un gradiente di 0,5-1°C per ogni 100 metri di quota; nelle zone temperate, lontano dalla costa, tale gradiente è di circa 0,6°C per 100 metri di quota.

L'esposizione è un indice che non vale per le posizioni pianeggianti, cioè con pendenze <1°, ma solo per quelle di versante. L'orientamento del versante condiziona il tipo di suolo che si origina in quanto a seconda dell'esposizione varia la radiazione solare ricevuta (calorie/cm<sup>2</sup>) e quindi la temperatura del suolo. In pratica, nell'emisfero boreale, i versanti esposti a Sud ricevono la radiazione solare con una inclinazione maggiore rispetto a quelli con esposizione Nord, il che comporta, a parità di altre condizioni fisiografiche, un loro maggior riscaldamento e una minor dotazione di acqua. Com'è ovvio, alle esposizioni intermedie (Nord-Est, Sud-Est, Sud-Ovest, Nord-Ovest) si hanno condizioni intermedie di temperatura e disponibilità idrica.

La pendenza influisce sulla genesi del suolo in quanto può far variare altri parametri quali: la disponibilità di acqua, che si riduce in quantità imponente se la pendenza è >6° in quanto la velocità d'infiltrazione viene superata da quella di ruscellamento del liquido; l'erosione superficiale, dovuta proprio alla velocità di ruscellamento, che in alcuni casi può superare come fenomeno la formazione di nuovo suolo dal substrato pedogenetico, dando come risultato una progressiva diminuzione della profondità del profilo; infine l'inclinazione dei raggi solari che, come spiegato nella sezione sull'esposizione ha effetti sulla temperatura del suolo.

La distanza dal mare gioca un ruolo nella pedogenesi grazie alla diversa capacità termica dell'acqua rispetto alla terraferma. In estate, la temperatura dell'acqua aumenta meno rapidamente di quella della terraferma e rende le temperature più fresche nelle zone limitrofe la costa; al contrario, in inverno, l'acqua si raffredda più lentamente e mantiene una temperatura nelle zone costiere più mite rispetto alla terraferma.[1]



## 2.4) Caratteristiche fisiche e morfologiche del suolo

Le proprietà fisiche del suolo influenzano profondamente l'utilizzazione e gestione agronomica. Esse, infatti, condizionano la crescita delle piante sia direttamente, attraverso l'influenza che esercitano sulla crescita degli apparati radicali e sul movimento dell'acqua e dei nutrienti (e contaminanti) in essa disciolti, sia indirettamente, per l'influenza che esercitano sulle proprietà chimiche e biologiche del suolo, in parte derivanti da quelle fisiche. Le proprietà fisiche, dotate di un certo dinamismo e soggette a modifiche spesso ad opera dell'intervento dell'uomo, sono inoltre utilizzate nella classificazione dei suoli e nel definirne l'attitudine a usi differenti.

Il colore è la caratteristica più evidente nell'osservazione del suolo e in un tempo minimo fornisce informazioni circa la natura dei costituenti solidi del suolo, i processi di pedogenesi e, conseguentemente, la classificazione. Il colore del suolo viene valutato per comparazione con un campionario di colorazioni ordinate sistematicamente nelle Munsell Soil Color Charts, dove questo viene definito da tonalità, luminosità e saturazione. I principali fattori che influenzano il colore del suolo sono:

- 1) il contenuto di sostanza organica,
- 2) il contenuto di acqua
- 3) il contenuto e tipo di ossidi e idrossidi di ferro e manganese.

Il colore del suolo è una caratteristica di interesse agronomico. I suoli di colore scuro tendono ad assorbire più radiazioni solari e, quindi, a riscaldarsi più di quelli chiari. Un colore scuro è indice di fertilità, utile riserva di nutrienti e buono stato di aggregazione. I suoli biancastri per presenza di carbonato di calcio possono presentare difficoltà alla penetrazione radicale, bassa disponibilità di fosforo e micronutrienti, inoltre se il colore bianco è impartito dall'accumulo di sali solubili è probabile che i suoli siano caratterizzati da effetto osmotico negativo e degradazione della struttura. Sreziature di colore scuro indicano alternanza di condizioni ossidanti e riducenti. Il colore, date le numerose caratteristiche che indica in maniera implicita, è un elemento diagnostico nella classificazione del suolo.

La granulometria e tessitura del suolo esprimono la distribuzione delle particelle del suolo in classi di grandezza definita secondo diversi sistemi di classificazione, i più importanti dei quali sono l' USDA e lo IUSS (International Union of Soil Sciences Society). Nel suolo classi granulometriche diverse tendono a comportarsi in modo diverso sia chimicamente sia fisicamente; pertanto, conoscere la granulometria e la tessitura è fondamentale per la comprensione del comportamento e per la gestione del suolo. In base alle dimensioni delle particelle il suolo può essere arbitrariamente suddiviso in terra fine, che comprende tutte le particelle che passano attraverso un setaccio con fori di 2 mm di diametro, e scheletro che invece viene trattenuto dal setaccio. La granulometria è quella che prende in considerazione tutto il materiale di cui è costituito il campione, quindi terra fine e scheletro, mentre la tessitura è quella che considera la sola terra fine. Per i suoli derivati da substrati pedogenetici fini, le due determinazioni corrispondono, mentre nei casi in cui sia presente dello scheletro esse sono nettamente distinte. Le particelle con

diametro equivalente compreso tra 2,0 e 0,05 mm (USDA) o 0,02 mm (IUSS) costituiscono la sabbia, esse sviluppano un'area superficiale specifica molto bassa e risultano prevalentemente costituite da quarzo e silicati primari; per tali ragioni i suoli sabbiosi sono, in genere, carenti di elementi nutritivi e dotati di uno scarso potere tampone, inoltre, mentre si lasciano facilmente infiltrare dall'acqua, hanno scarsa capacità di trattenerla, per cui grazie a drenaggio e intensa evaporazione si essiccano rapidamente. Le particelle con diametro equivalente compreso tra 0,05 mm (USDA) o 0,02 mm (IUSS) e 0,002 mm costituiscono il limo: sia per composizione minerale sia per forma delle particelle, il limo non è molto dissimile dalla sabbia, tuttavia, per le più piccole dimensioni, può contribuire al rilascio di nutrienti e alla ritenzione dell'acqua; i suoli che contengono elevati contenuti di limo risultano facilmente soggetti a erosione da parte sia dell'acqua sia del vento. Le particelle con diametro equivalente inferiore a 0,002 mm costituiscono l'argilla, in virtù delle piccole dimensioni, queste particelle sviluppano un'area superficiale specifica molto elevata, che conferisce loro una straordinaria capacità di adsorbire acqua e nutrienti sulle loro superfici. Le particelle più fini dell'argilla (diametro equivalente  $<0,001$  mm) si comportano come colloidali in quanto, se disperse in acqua, formano una soluzione colloidale. Nell'argilla tendono a prevalere i minerali secondari quali minerali argillosi e ossidi. I suoli fortemente argillosi sono ben dotati di elementi nutritivi ed hanno un elevato potere tampone, la porosità è elevata, ma con pori di dimensioni molto piccole, per cui sono generalmente scarsamente drenati. Per tali motivi, essi trattengono l'acqua, che però può risultare poco disponibile per le piante, e nei periodi piovosi sono suscettibili di sommersione e erosione; nei periodi siccitosi tendono a fessurarsi. Proprietà del suolo quali la tendenza al rigonfiamento, la plasticità, la capacità di trattenerne l'acqua, la consistenza, l'adsorbimento sono fortemente influenzate da tipo e quantità dei diversi minerali argillosi che compongono l'argilla; questa tipologia di suoli è molto comune in Italia.

Oltre al diametro delle particelle minerali presenti, è importante definire la struttura che essi assumono all'interno dell'orizzonte e di conseguenza anche la porosità e la densità del suolo preso in analisi. Le strutture che possiamo riscontrare si suddividono in base alle loro dimensioni in microaggregati e macroaggregati (che possono essere il risultato dell'insieme di più microaggregati), in rari casi il suolo può essere definito come astrutturato, ma solitamente, a seconda dei processi avvenuti durante la pedogenesi, la struttura di un suolo è riconducibile a quattro tipologie: granulare, lamellare, poliedrica e prismatica. La densità (o massa volumica o massa specifica) di una sostanza è la sua massa per unità di volume ed è spesso indicata dal simbolo  $\rho$ . Nel suolo si distinguono la densità reale ( $\rho_r$ ), definita dal rapporto tra la massa dei materiali solidi ( $m_s$ ) e il loro volume ( $V_s$ ), e la densità apparente ( $\rho_a$ ) che prende in considerazione il volume totale del suolo ( $V_t$ ), che tiene conto anche del volume dei pori e ci fornisce un indicatore della qualità del suolo, in quanto possiamo risalire con facilità alla porosità e quindi al grado di compattazione. I pori nel suolo possono avere forma e dimensioni diverse che ne influenzano la funzionalità. In generale si distingue una macroporosità, formata da pori (e interconnessioni tra i pori) di diametro superiore a  $60 \mu\text{m}$ , non in grado di trattenerne l'acqua contro la forza di gravità, e una microporosità o porosità capillare, formata da pori di diametro inferiore a  $10 \mu\text{m}$ , in grado di esercitare sull'acqua forze di tipo capillare che la trattengono contro la forza di gravità. I pori di dimensioni intermedie possono contenere aria o acqua in relazione al

contenuto di umidità del suolo. Il rapporto tra macro e microporosità indica il rapporto tra aria ed acqua capillare ed è tanto importante quanto la porosità totale di un suolo.[1]

## 2.5) **Gli organismi**

Gli organismi apportano al suolo residui organici, contribuendo allo sviluppo di importanti proprietà chimiche e fisiche del suolo stesso. Normalmente si assume che gli animali abbiano un effetto limitato sulla formazione del suolo, ma la mesofauna (soprattutto lombrichi e artropodi) svolge un ruolo fondamentale nelle prime fasi di decomposizione dei residui organici. Questi organismi, inoltre, agiscono rimescolando il suolo, e i lombrichi anecici, caratterizzati dal compiere importanti movimenti verticali, agiscono anche in orizzonti profondi, analogamente a quanto avviene ad opera di termiti e formiche in ambiente tropicale. I microrganismi (funghi, batteri, alghe e lieviti) sono probabilmente gli organismi più attivi: è grazie a loro che avvengono reazioni specifiche di fondamentale importanza per il ciclo biogeochimico di elementi quali C, N, S, Fe.[1]

### 3. La classificazione dei suoli.

La classificazione delle tipologie di suolo nasce come strumento per rendere comprensibili in maniera più immediata le caratteristiche di un determinato suolo (anche se nessun suolo ha caratteristiche identiche ad un altro).

Un sistema di classificazione molto utilizzato al mondo è l' "USDA's soil classification system" più comunemente chiamato Soil Taxonomy. Questo sistema prevede la suddivisione in Ordini, Subordini e Gruppi, considerati in ordine crescente di specificità dei parametri presi in considerazione.

Prima di vedere come si effettua la classificazione secondo la Soil Taxonomy andiamo a definire alcuni termini chiave sulla quale questa si basa:

- **profilo di suolo:** sezione longitudinale del suolo preso in esame che parte dalla superficie fino al suo contatto con la roccia madre o con un orizzonte che non è possibile penetrare con la strumentazione di cui si è dotati;
- **orizzonte:** porzione di profilo più o meno profonda (solitamente di almeno 15 cm) che presenta caratteristiche uniformi definibili da parametri misurabili (ad es. contenuto in Ca, SO, S, argilla...), questi si suddividono in orizzonti di superficie (epipedon, entro i 30 cm solitamente) e di profondità (endopedon);
- **orizzonte diagnostico:** orizzonte preso in considerazione per definire l'appartenenza di un suolo ad un determinato ordine, subordini o gruppo; questa spesso non è definibile da un solo orizzonte diagnostico, ma ne necessita più di uno combinato con altri parametri, sono rarissimi i suoli definibili da un solo orizzonte diagnostico come ad esempio i Mollisols, caratterizzati da un orizzonte diagnostico di superficie di tipo mollic;
- **regimi termici e idrici:** con il termine regime andiamo ad indicare l'andamento giornaliero di un determinato parametro, con misurazioni ad ogni ora e calcolo delle escursioni durante una stessa giornata o un lasso di tempo maggiore come ad esempio mesi/stagioni.

Le operazioni per classificare un profilo di suolo secondo l'USDA sono 5 e vanno effettuate nel seguente ordine:

- 1) Considerazione dell'ambiente all'interno del quale è collocato il profilo di suolo;
- 2) Descrizione del profilo;
- 3) Determinare quali orizzonti diagnostici e quali caratteristiche sono presenti;
- 4) Identificazione dei regimi termici e idrici del suolo;
- 5) Determinazione della classificazione.

1) Considerando che i processi di formazione del suolo si sono verificati molto probabilmente all'interno del sito è possibile, prendendo in considerazione la regione fisiografica e la posizione sul paesaggio locale, restringere l'attenzione sulle caratteristiche del suolo che saranno più probabilmente riscontrabili. Dalla valutazione preliminare di

questi dati visivi è semplificata anche la ricerca dei processi pedogenetici e degli orizzonti diagnostici presenti.

2) Un'accurata descrizione del profilo del suolo è essenziale per la classificazione; alcuni orizzonti infatti sono riconoscibili anche ad occhio nudo come ad esempio quelli organici di superficie o quelli calcarei. Per consultare alcune combinazioni di orizzonti comuni a determinate tipologie di suolo si può anche consultare il "Field book for describing and sampling soils".

3) La determinazione degli orizzonti diagnostici presenti e delle caratteristiche intrinseche del suolo risulta particolarmente complessa poiché questi non sono mai presenti in ordine sequenziale e standardizzato; inoltre gli orizzonti diagnostici sono spesso presenti in numero maggiore di uno e ad occhio nudo sono facilmente confondibili, per questo a supporto della visione del perito vanno affiancate analisi chimico-fisiche di campioni di suolo per determinare in maniera univoca di che profilo si tratta.

4) Per la determinazione del subordine e del gruppo è spesso richiesta la conoscenza dei regimi di temperatura e umidità; questi, come vedremo successivamente, influenzano fortemente la vita dei vegetali, dei microrganismi e di tutta la pedofauna presente, nonché nel caso della temperatura i movimenti delle masse d'acqua, mentre la sinergia tra temperatura e acqua presenti risulta fortemente determinante per la struttura del suolo stesso.

5) La classificazione vera e propria procede solo dopo aver raccolto tutti i dati precedentemente richiesti, e si svolge riscontrando tutti i requisiti richiesti, per primo quello dell'ordine corrispondente, poi del subordine ed infine del gruppo corrispondente alla tipologia di suolo che stiamo classificando. È importante ricordare che non troveremo mai una sequenza di orizzonti e una serie di caratteristiche sempre corrispondenti, ma è fondamentale soddisfare alcuni requisiti e presentare alcuni orizzonti diagnostici per poter classificare un suolo come appartenente a un ordine, poi a un subordine e determinarne il gruppo di appartenenza.[3]

La classificazione americana Soil Survey Staff (1975 e 1994) è analitica, perché parte dalla base prendendo in considerazione i caratteri morfologici del suolo per arrivare a processi pedogenetici generali.

Il suolo, secondo la Soil Survey Staff viene definito come un corpo naturale costituito da solidi (minerali e sostanza organica), liquido e gas che si trova alla superficie della terra, che occupa spazio e che è caratterizzato da una o entrambe le seguenti caratteristiche: orizzonti o strati, che sono distinguibili dal materiale iniziale come risultato di aggiunte, perdite, trasferimenti e trasformazioni di energia e di materia, o l'abilità di mantenere la vita di piante radicate in un ambiente naturale.

L'elemento qualificante della classificazione americana Soil Taxonomy è la constatazione che in ogni suolo esistono segni indelebili dell'avvenuta azione dei diversi fattori della pedogenesi e che è su di essi che si deve basare la classificazione dei suoli. La Soil Taxonomy è un sistema gerarchico, un sistema aperto, sofisticato e in continuo aggiornamento che prevede sei distinte unità tassonomiche partendo dagli ordini, per scendere ai sottordini, grandi gruppi, sottogruppi, famiglie e alle serie di suoli.

Generalmente la profondità inferiore della considerazione è arbitrariamente limitata ad un massimo di 200 cm. Questa è semplicemente una considerazione pratica per facilitare le operazioni sul campo nell'indagine del suolo. Questo non significa che le descrizioni del suolo al di sotto di 200 cm non siano preziose, ma le proprietà osservate sotto questa profondità non sono considerate nella classificazione (Soil Taxonomy, 2015).

Ovviamente, scendendo nel livello gerarchico aumenta il dettaglio: un "ordine" può dare indicazioni di massima sulle caratteristiche dei suoli o sui fattori pedogenetici che hanno portato alla sua formazione. I "sottordini" rappresentano un'ulteriore divisione degli ordini principali. I "grandi gruppi" dividono i sottordini in base al tipo, alla disposizione e al grado di espressione degli orizzonti. Nei "sottogruppi" invece, partendo dal concetto centrale del grande gruppo, vengono notati i caratteri o le qualità che allontanano il suolo verso altri grandi gruppi, ordini e sottordini, oppure verso il non suolo. Le "famiglie" fanno invece riferimento a quei suoli raggruppati per classi granulometriche, mineralogiche, di temperatura del suolo, di profondità, di consistenza. Le "serie" infine rappresentano l'unità base di classificazione basata sulla descrizione morfologica poiché è definita in base al tipo e alla disposizione degli orizzonti dei quali vengono descritti struttura, tessitura, colore, consistenza ecc. La serie dei suoli è quindi un modo di rappresentare le unità delle terre dando particolare importanza ai suoli (Hole, 1978).

Il suolo in generale è da considerare una risorsa limitata che si distrugge facilmente ed è importante farne una corretta utilizzazione.

Il clima, come detto è uno dei principali fattori che determina le caratteristiche di un suolo; in particolare, la temperatura, l'umidità atmosferica e le precipitazioni incidono sulla maggiore o minore velocità di degradazione delle rocce. La temperatura agisce sulle rocce disgregandole fisicamente, mentre è soprattutto l'umidità, associata a temperature elevate, a determinare l'alterazione chimica delle rocce. I vari ordini del suolo sono anch'essi influenzati e rispondono a determinate condizioni climatiche. Nel livello più alto del sistema di classificazione vengono riconosciuti dodici ordini dei suoli. Gli ordini, insieme ad una breve descrizione che cattura il concetto generale di ciascuno, sono presentati (in ordine alfabetico) nell'elenco sottostante (Soil Taxonomy, 2015):

Alfisols: costituiscono suoli generalmente fertili con elevata saturazione di base e un orizzonte di sottosuolo arricchito da argilla; occupano il 10% della superficie terrestre senza ghiaccio. Gli "Alfisuol" sono, più generalmente, il risultato di processi pedogenetici che hanno portato alla traslocazione verso il basso (lisciviazione) di argille.

Andisols: sono relativamente giovani suoli, per lo più di origine vulcanica, caratterizzati da minerali unici con struttura cristallina.

Possono avere qualsiasi regime di umidità e di temperatura del suolo e occupano solo l'1% della superficie terrestre priva da ghiaccio.

Aridisols: suoli asciutti o aridi tipici del deserto; hanno un'umidità del terreno molto limitata per la crescita delle piante. Questi suoli possono occupare qualsiasi posizione sul paesaggio e in tutto il mondo costituiscono un ordine di suolo che occupa il 12% della superficie di libera dal ghiaccio.

Entisols: suoli giovani senza un profilo sviluppato; sono il secondo ordine di terreno più abbondante (dopo gli Inceptisols), occupando circa il 16% della superficie globale senza ghiaccio.

Gelisols: suoli molto freddi con permafrost nel sottosuolo; tipici delle regioni circumpolari settentrionali e meridionali. Globalmente, i "Gelisols" occupano circa il 9% della superficie senza ghiaccio, ma a causa degli ambienti estremi in cui si trovano, interessano soltanto lo 0,4% della popolazione mondiale.

Histosols: suoli che si formano dalla decomposizione del materiale organico. Gli Histosols occupano circa l'1% della superficie del suolo senza ghiaccio e sono estesi nelle aree boreali settentrionali del Nord America, del Nord Europa e della Russia. Negli Stati Uniti, invece sono abbastanza presenti in Alaska, lungo la costa sudorientale. Possono essere trovati in molte località dove le condizioni fredde e bagnate promuovono l'accumulo di depositi di terreno biologico.

Inceptisols: suoli abbastanza giovani con uno scarso ma evidente sviluppo del profilo. I suoli appartenenti a questo ordine sono presenti generalmente in tutte le parti del mondo, dall'Equatore alle regioni artiche e sono il frutto delle più diverse condizioni ambientali, climatiche e di substrato. Nell'ordine degli "Inceptisol" ricadono suoli caratterizzati da drenaggio eccessivo, così come suoli mal drenati e caratterizzati da ristagni d'acqua; anche alcuni suoli di ambiente urbano ricadono in tale ordine.

Mollisols:

Suoli molto scuri e fertili con superficie spessa e friabile, occupano circa il 7% della superficie terrestre libera dai ghiacci. I "Mollisol" sono caratteristici delle regioni di prateria, nelle medie latitudini, anche se, se ne rilevano anche ad alte latitudini o quote; i climi tipici sono pertanto tra subumidi e subaridi. Per tale ragione, i Mollisol confinano generalmente con gli Alfisol, gli Spodosol o gli Aridisols.

Oxisols: sono suoli tropicali altamente alterati e con bassa fertilità naturale; globalmente gli "Oxisols" occupano circa l'8% della superficie terrestre senza ghiaccio. Si trovano principalmente a latitudini comprese tra il Tropico del Cancro e il Tropico del Capricorno e le aree più estese con questi tipi di suoli si trovano sugli altopiani interni del Sud America,

la parte inferiore del bacino dell'Amazzonia, porzioni del bacino dell'Africa Centrale e parti dell'Asia, Australia e diverse isole tropicali e subtropicali. Alcuni di questi suoli sono presenti anche negli Stati Uniti anche se per ora non risultano particolarmente estesi. I processi pedogenetici proseguono pressoché indisturbati da migliaia di anni, data la stabilità complessiva degli ambienti tropicali ed equatoriali; il risultato è che molti Oxisols raggiungono spessori rilevantissimi, anche di parecchi metri. Questi suoli che al giorno d'oggi si rinvengono in climi troppo aridi, sono da ritenersi dei suoli relitti, sviluppatisi in epoche di clima più umido e sottoposti oggi ad altri sviluppi legati al modificarsi del clima stesso.

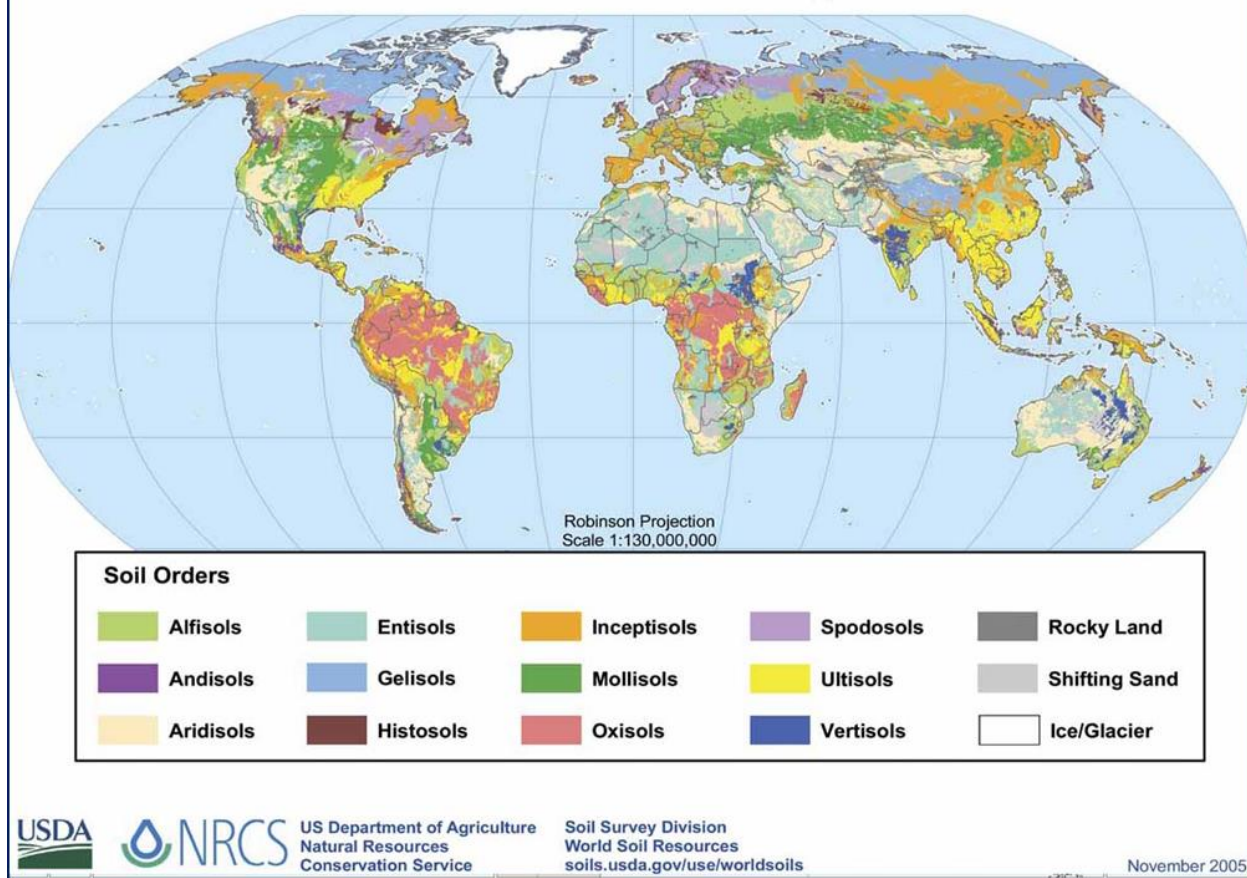
Spodosols: sono suoli acidi con bassa fertilità e povero accumulo di materia organica e ossidi di ferro e di alluminio nel sottosuolo. Suoli che occupano il 3% della superficie totale libera dai ghiacci e risultano distribuiti generalmente nel Nord Europa e nel Nord dell'America.

Ultisols: presentano un sottosuolo arricchito di argilla. Questi suoli si possono considerare come un'evoluzione degli Alfisol. Se quest'ultimi manifestano infatti traslocazione di argilla e saturazione in basi relativamente alta, gli Ultisols sono contraddistinti sempre da traslocazione di minerali argillosi in un orizzonte di illuviazione, ma risultano piuttosto impoveriti in basi di scambio. Dal momento che si trovano in regioni piuttosto piovose e tendenzialmente calde, sono spesso sfruttati per l'agricoltura, ma è necessario un continuo ammendamento, per far fronte alla perdita di basi per lisciviazione; in alternativa, possono essere utilizzati per qualche anno, per essere poi abbandonati in attesa che si ricostituisca la fertilità naturale.

Vertisols: suoli molto argillosi che si restringono o si rompono quando si asciugano e tendono ad espandersi invece quando si bagnano. I requisiti comuni per classificare un suolo come tale sono una terra fina con il 30% di argilla, la presenza di faglie e crepe o fessure che si aprono e si chiudono periodicamente. I "Vertisols" si trovano principalmente in Australia, India, Africa centrale e meridionale, Cina orientale, Stati Uniti meridionali e Brasile, ma considerevoli quantità di questo tipo di suolo sono presenti anche nel bacino del Mediterraneo dall'Europa meridionale al Vicino Oriente (Corti, 2012).



## Global Soil Regions



Distribuzione globale dei diversi ordini di suoli.

Ogni ordine di suolo presenta uno stretto legame con il clima e nel corso del tempo, variazioni climatiche hanno portato e probabilmente porteranno ancora a un'evoluzione o una maggiore emergenza di alcuni suoli piuttosto che di altri, anche in zone diverse dall'areale di origine.

Ad esempio, gli "Aridisols" si trovano generalmente in ambienti desertici dove l'evaporazione supera notevolmente le precipitazioni e quindi l'acqua non è disponibile per le piante per lunghi periodi di tempo. In alcuni Aridisol molto salini i sali portati dall'acqua di evaporazione tendono a muoversi verso l'alto, verso la superficie, dove si vanno ad accumulare. Questi suoli sono caratteristici di alcune zone costiere degli Stati Uniti occidentali così come alcune zone del Nord Africa e del Medio Oriente e potrebbero essere dei suoli emergenti.

Un'altra correlazione tra cambiamenti degli ordini dei suoli e modificazione del clima possono essere i "Vertisols", suoli generalmente argillosi, caratterizzati da aspetti negativi e positivi. Nel primo caso questi suoli sono riconosciuti spesso come responsabili di danni a strade ed edifici, in quanto l'energia sviluppata sia durante il gonfiore che il restringimento risulta notevole.

Nel secondo caso invece questi suoli sottraggono in piccola parte l'anidride carbonica dall'atmosfera, contribuendo probabilmente nel lungo periodo, ad una lieve riduzione del riscaldamento globale.

Inoltre, considerando il cambiamento climatico, soprattutto da un punto di vista termico ma anche in parte pluviometrico, alcuni tipi di suoli precedentemente umidi con caratteristiche simili ai Vertisol, ma non considerati tali, potrebbero trasformarsi a lungo andare in veri e propri Vertisol, anche nella nostra penisola, sulla base di temperature sempre più alte e maggiore alternanza di periodi secchi con altri piovosi (Corti, 2012).

#### 4. Regimi termici e idrici del suolo

Il clima, nei suoi due elementi che influenzano maggiormente la formazione del suolo, vale a dire temperatura e precipitazioni, agisce non solo direttamente sulla formazione del profilo, ma indirettamente agisce sul suolo attraverso l'effetto che esercita sulla vegetazione naturale e su qualsiasi tipo di organismo vivente presente. Per questi motivi il clima è considerato il fattore più rilevante della pedogenesi assieme al substrato pedogenetico, è infatti possibile, sovrapponendo una carta delle zone climatiche del mondo ad una carta dei suoli, notare la corrispondenza tra determinate zone climatiche e alcune tipologie di suoli ( come ad esempio la foresta boreale nei climi continentali).

In linea generale, facendo riferimento all'emisfero boreale, la piovosità media annua aumenta dal polo fino alla zona situata attorno a 50° di latitudine per poi diminuire e raggiungere il minimo nelle zone desertiche tropicali (circa 20°); successivamente aumenta di nuovo e raggiunge il massimo assoluto in corrispondenza dell'equatore.

La temperatura media annua mostra invece un andamento crescente, anche se non omogeneo, dal polo verso l'equatore.

L'evapotraspirazione potenziale media annua (ETP), indica l'acqua che fuoriesce dal sistema del suolo attraverso i fenomeni di evaporazione e traspirazione, e che, per questo motivo, non è più disponibile per la pedogenesi. L'ETP è il risultato della combinazione tra i due regimi termico e idrico: aumenta passando dal polo ( dove le T bassissime impediscono quasi il movimento dell'acqua) fino alle zone desertiche dove raggiunge il suo picco ( dovuto a T alte e precipitazioni molto basse), per poi diminuire nelle zone intertropicali ( dove l'andamento crescente delle T viene controbilanciato da un aumento molto imponente delle piogge).[1]

La maggior parte dei processi pedogenetici avviene in presenza di acqua, per questo lo sviluppo dei suoli ( inteso come rapidità e livello stesso dei processi di mineralizzazione del materiale pedogenetico in minerali secondari) è maggiormente riscontrabile dove l'acqua risulta presente (nei deserti ETP troppo elevata, ai poli l'acqua congelata non entra a far parte della pedogenesi) e non stagnante ( in quanto un suolo saturo di acqua a lungo va incontro a processi di riduzione). Si passa dalle gelide zone polari dove il suolo presenta uno strato permanentemente gelato (permafrost) e prevalgono processi pedogenetici promossi da fenomeni fisici, a zone fredde dove la scarsa ETP determina la frequente saturazione idrica del suolo e non permette la piena mineralizzazione dei residui vegetali, per arrivare alle zone temperate caratterizzate da suoli fertili a medio grado di sviluppo, infine i suoli più evoluti dal punto di vista pedogenetico si trovano in corrispondenza delle zone equatoriali dove la massiccia disponibilità d'acqua viene bilanciata dalle alte temperature che, oltre ad impedire la saturazione, favoriscono le reazioni chimiche di alterazione.[1]

La determinazione dei regimi termici e idrici risulta perciò fondamentale nella classificazione di un suoli, date le forti influenze che hanno sulla maggior parte dei processi pedogenetici. Questi

sono misurabili secondo processi standardizzati, ma possono subire variazioni notevoli in base a tessitura e morfologia del suolo preso in considerazione.[3]

Secondo l'USDA la temperatura media di un suolo risulta di 1°C maggiore rispetto alla temperatura dell'aria (la quale viene misurata in apposite capannine, poste ad un'altezza di 1,5 o 2 m per evitare l'influenza della radiazione solare riemessa da parte del suolo), anche se sperimentalmente la temperatura del suolo può variare in funzione di tessitura, morfologia, copertura (vegetale o nevosa) e minerali presenti, inoltre, man mano che si scende in profondità l'escursione termica diminuisce sempre di più fino ad azzerarsi a circa un metro. Nella misurazione empirica la temperatura di riferimento, effettuata in sezione di controllo, si registra ad una profondità di 50 cm (o, se il suolo è meno profondo, a contatto con la roccia madre) grazie a dei termografi di tipo elettronico, dotati di una sonda posta nel suolo e di un data logger in grado di immagazzinare e rielaborare i dati ottenuti. A seconda delle temperature medie annuali e delle loro variazioni durante le stagioni distinguiamo vari regimi termici:[3-2]

Tab. 3 Principali regimi di temperatura del suolo secondo la Key to Soil Taxonomy (2010).

	T media annua	Differenza fra temperatura media invernale ed estiva
Gelico	< 0°C	-
Cryico	0°C < t < 8°C, assenza di permafrost*	-
Frigido	0°C < t < 8°C, ma T estiva > rispetto a quella che caratterizza il regime Cryico	>6°C
Mesico	8°C < t < 15°C	>6°C
Termico	15°C < t < 22°C	>6°C
Ipertermico	t > 22°C	>6°C

\*permafrost: substrato la cui temperatura permane al di sotto degli 0°C per almeno due anni consecutivi

La temperatura all'interno di un suolo è molto importante per la sua genesi e per l'eventuale pedofauna presente, infatti:

- con  $T \leq 0$  °C la soluzione circolante è congelata ( impedendo la traslocazione di elementi nel profilo) e ogni attività biologica è inibita, per questo il suolo è detto "in animazione sospesa";
- con  $0 \leq T \leq 5$  °C la soluzione circolante è allo stato liquido ma a questa temperatura la germinazione della maggior parte dei semi è molto scarsa, mentre lo sviluppo radicale risulta pressoché nullo.[2]

Molti dei sottordini e dei gruppi di suoli è caratterizzato dal regime di umidità, quest'ultimo viene definito tramite l'analisi dei rapporti tra suolo e acqua, consentendo così di prendere in considerazione il fattore climatico nella valutazione di un suolo; l'utilizzo dei regimi di umidità quindi ha un forte valore diagnostico, arrivando persino a definire un ordine, quello degli Aridisol (12% della superficie terrestre libera dai ghiacci), contraddistinto dalla mancanza di risorse idriche sufficienti alla crescita delle piante mesofite.[3]

Quando si parla di regime idrico è importante mettere in chiaro il significato del termine "suolo secco", infatti un suolo può essere definito tale se le particelle d'acqua contenute al suo interno vengono trattenute con una tensione  $>15$  bar e per questo motivo non sono per l'assorbimento dalla maggior parte degli apparati radicali conosciuti.[3]

Il calcolo del regime di umidità di un suolo viene effettuato riferendosi ad una apposita sezione di controllo, una porzione di profilo ben definite, dove, durante tutto l'anno si va a misurare il contenuto idrico. Questa sezione è delimitata a due livelli di altezza, i quali variano a seconda della tessitura del suolo preso in esame:

- il limite superiore è definito dalla profondità alla quale un suolo secco viene inumidito da 2,5cm di acqua in 24 ore di tempo;
- il limite inferiore coincide invece con la profondità alla quale il suolo secco viene inumidito da 7,5 cm di acqua in 48 ore, se l'acqua arriva fino alla roccia o ad un orizzonte indurito (quindi impermeabile) allora sarà la profondità di questo contatto il limite inferiore.[3-2]

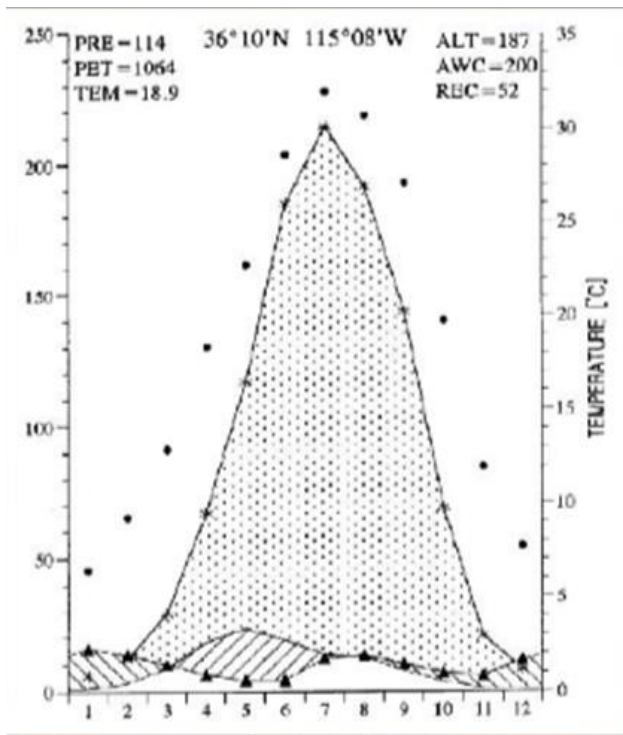
A grandi linee perciò la sezione di controllo per l'umidità risulta:

- ✓ dai 10 ai 30 cm di profondità per classi granulometriche franche, limose e argillose;
- ✓ dai 20 ai 60 cm per classi franco-grossolane;
- ✓ dai 30 ai 90 cm per classi sabbiose.

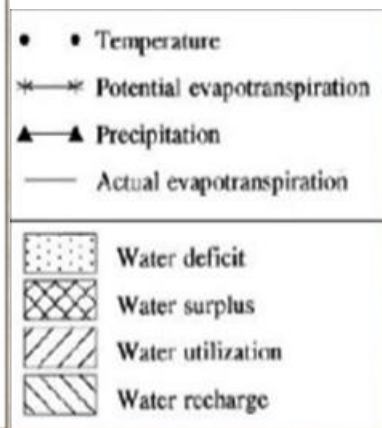
Nella Soil Taxonomy i regimi di umidità che si distinguono sono 7:

- Acquico: il suolo è saturo d'acqua di falda anche vicino alla superficie per un significativo periodo dell'anno; ciò comporta la scomparsa di ossigeno libero e il passaggio ad uno stato chimico riducente, nel caso in cui l'acqua contenga ossigeno il regime non è considerato acquico.
- Peracquico: simile al regime acquico, ma con la falda molto vicina alla superficie per tutto l'anno.

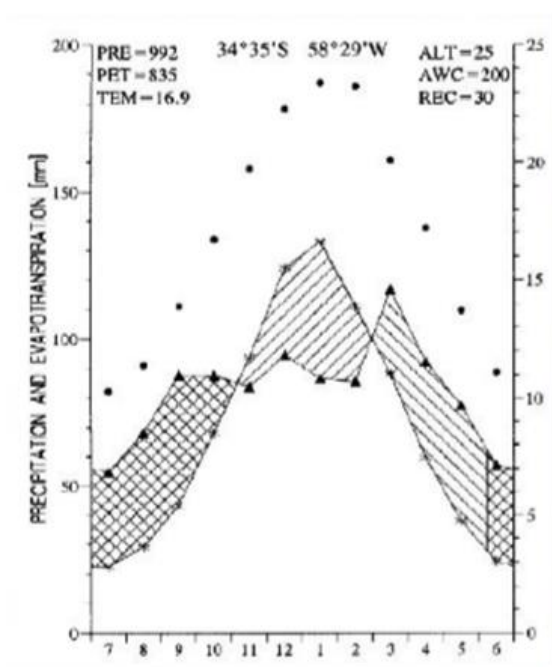
- Aridico o torrico: tipico dei climi aridi, riscontrabile anche in quelli semiaridi nel caso in cui l'acqua non riesca ad infiltrarsi nel terreno per via di croste superficiali o pendenza elevata; facile rinvenire risalita di Sali. La sezione di controllo è umida per un numero di giorni consecutivi < 90 quando la temperatura del suolo è > 8°C.



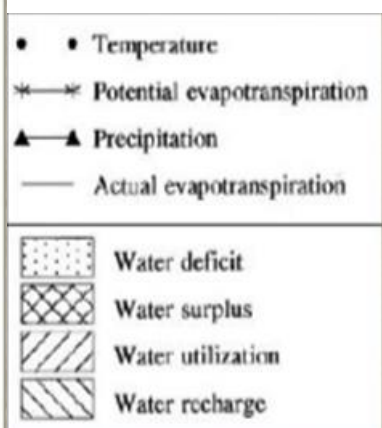
Esempio di andamento termopluviometrico registrato a Las Vegas in Nevada (USA), regime idrico di tipo aridico.



- Udico: comune in presenza di climi umidi, con piogge ben distribuite durante l'anno; la sezione di controllo è umida per almeno 90 giorni cumulativi durante l'anno, se la temperatura media annua è < 22°C, la sezione di controllo è asciutta per meno di 45 giorni consecutivi nei 4 mesi successivi al solstizio estivo.

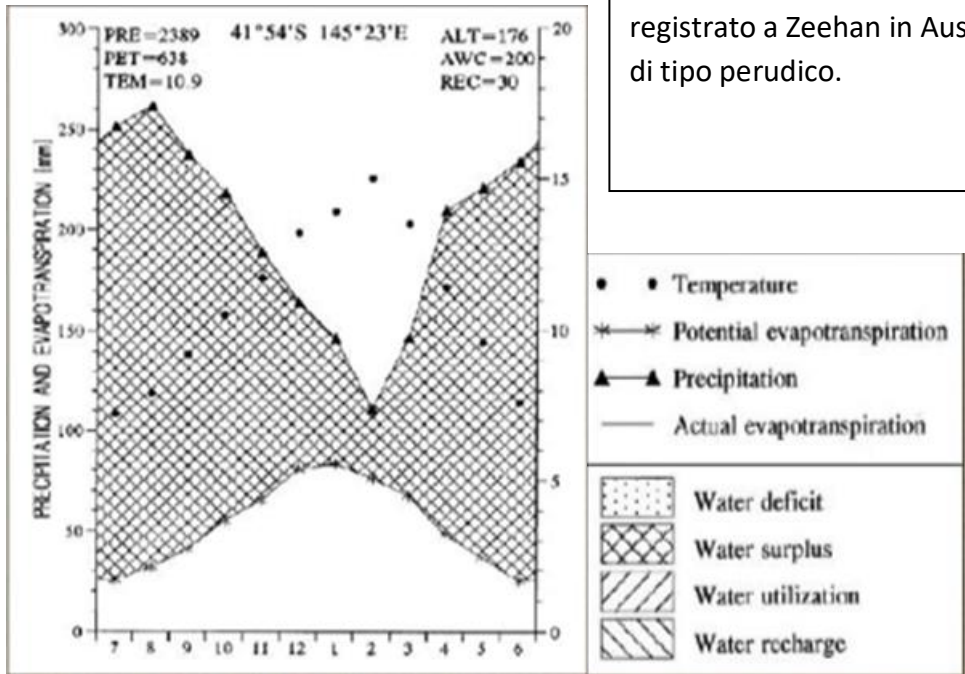


Esempio di andamento termopluviometrico registrato a Buenos Aires in Argentina, regime idrico di tipo udico.

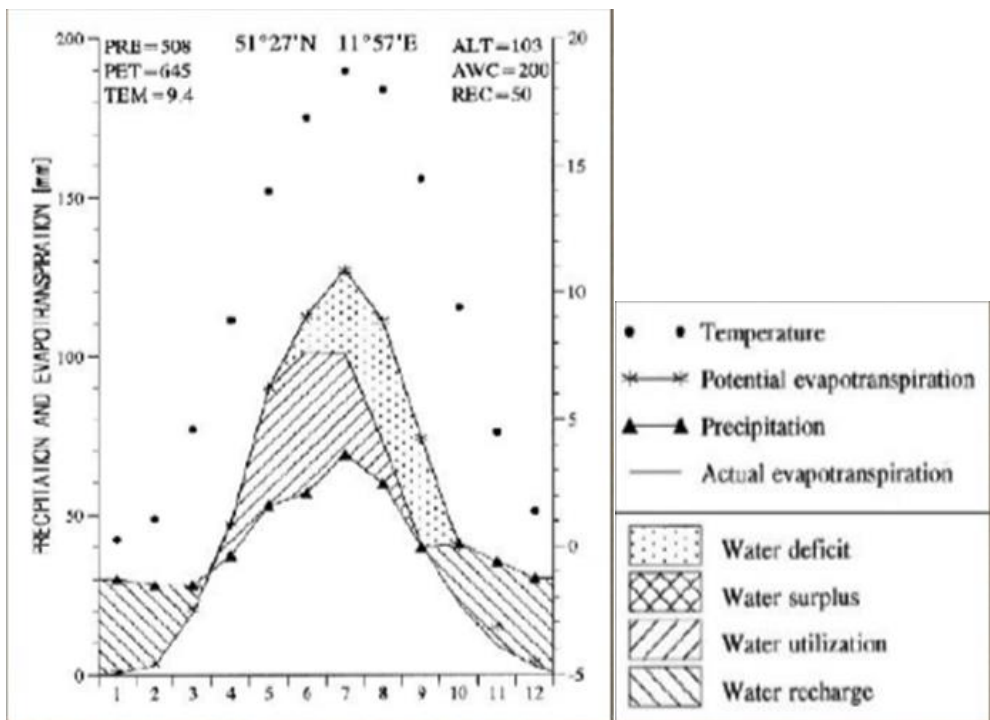


- Perudico: caratterizzato da precipitazioni che superano l'ETP in ogni mese dell'anno, per questo la lisciviazione (cioè il trasferimento di elementi da un orizzonte posizionato in altezza maggiore nel profilo ad uno più in profondità) è un fenomeno che assume molta importanza.

Esempio di andamento termopluviometrico registrato a Zeehan in Australia, regime idrico di tipo perudico.

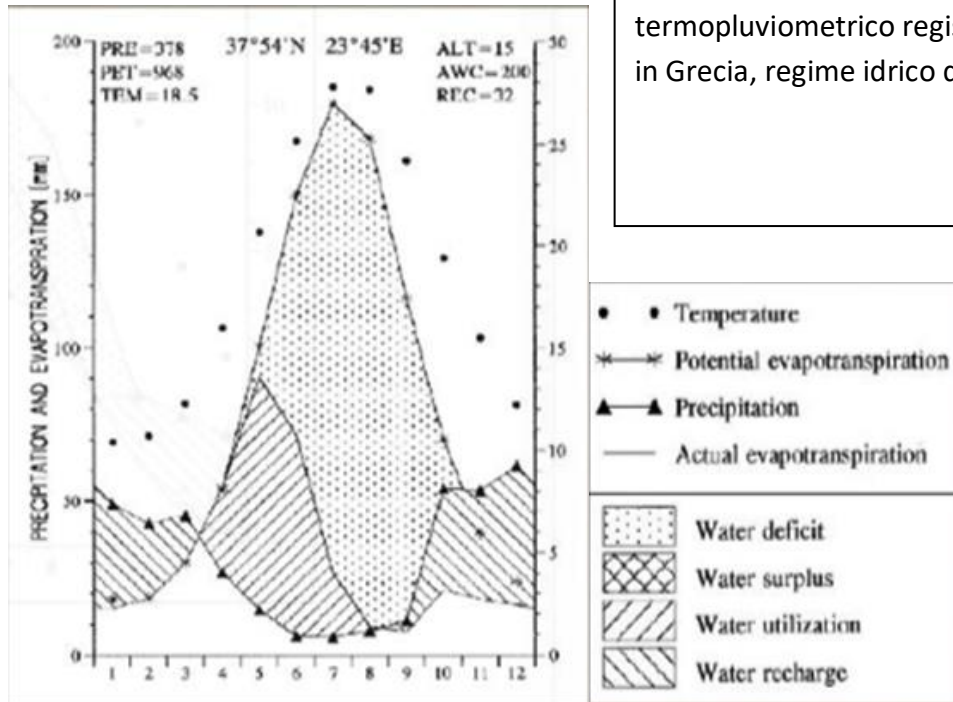


- Ustico: presenta condizioni intermedie tra aridico e udico, l'acqua è limitata durante l'anno, ma presente durante la stagione di crescita della vegetazione (rappresentata spesso da piante con dormienza in periodi secchi). La sezione di controllo è asciutta per 90 o più giorni durante l'anno, ma è umida per più di 180 giorni cumulativi o 90 giorni consecutivi.





- Xerico: tipico dell'ambiente mediterraneo, con inverni umidi ed estati secche; le precipitazioni invernali, non contrastate dell'ET comportano una sensibile lisciviazione. La sezione di controllo è asciutta per più di 45 giorni consecutivi nei 4 mesi successivi al solstizio estivo e umida per lo stesso ammontare di giorni consecutivi nei 4 mesi successivi al solstizio invernale.



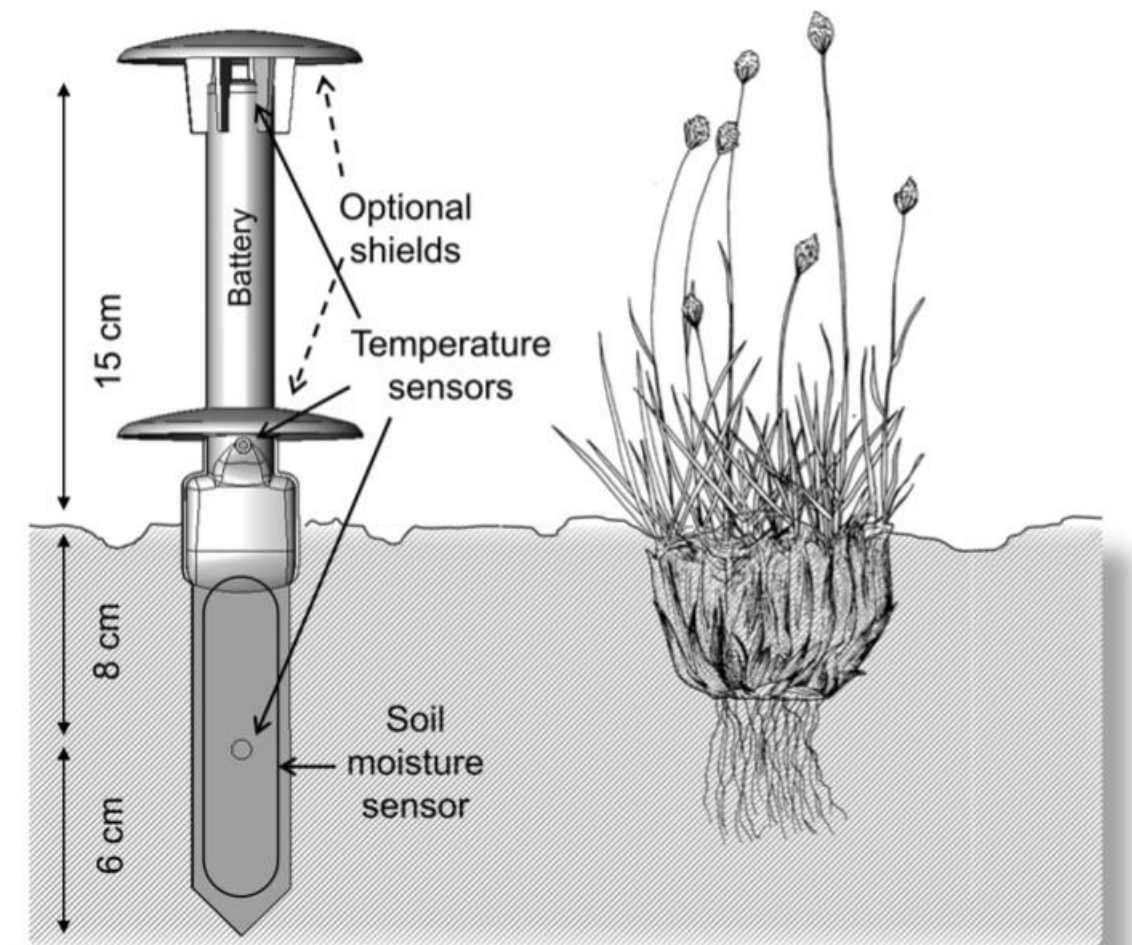
Esempio di andamento termopluviometrico registrato ad Atene in Grecia, regime idrico di tipo xerico.

#### 4.1) Misurazione dei regimi termici e idrici [4]

Le misurazioni climatiche sono necessarie dal momento che definiscono in larga parte le condizioni vitali degli organismi viventi (vegetali, pedofauna e microrganismi). I sensori attualmente disponibili non sono adatti a misurazioni in campo a lungo termine, mentre è proprio il lungo periodo quello che ci permette di determinare le caratteristiche del clima e i suoi cambiamenti (ai quali dovremo adattare le pratiche agronomiche). Recentemente perciò è stato sviluppato una nuova tipologia di logger, denominato TMS (temperature-moisture sensor), un dispositivo che imita per dimensioni una piccola pianta erbacea e che ha la peculiarità di registrare la temperatura a 3 differenti livelli di altezza: in aria a circa 15 cm, a livello del suolo quindi 0 cm e sottoterra simulando la prima parte del fusto e delle radici ad una profondità di 6 cm (quindi -6 se consideriamo la scala adoperata per indicare le altre due altezze). Combinate con questa elevata specificità nelle misurazioni (va ricordato che T di aria, superficie e suolo possono differire di alcuni °C di media e di molti per quanto riguarda l'escursione giornaliera) il dispositivo è dotato di una batteria e di una memoria tali da permettere il suo funzionamento per circa 15 anni, con frequenza di rilevazione dei parametri ogni 15 minuti; per questo il TMS è in grado di fornire dati chiave sul microclima per diversi



anni, inoltre, date le sue dimensioni e la sua elevata funzionalità può ricoprire una vasta area. Questa semplicità di applicazione, assieme alla varietà dei dati forniti lo rendono indispensabile per considerare al meglio gli effetti dei cambiamenti climatici sui processi biologici che avvengono in campo. In passato, e spesso anche al giorno d'oggi, dispositivi dotati di queste possibilità non erano disponibili per la ricerca: i vecchi sensori infatti presentavano una richiesta di manutenzione elevata, che non permetteva la corretta acquisizione dei dati, oppure una durata di batteria e memoria molto ridotte, che non davano la possibilità di registrare per un tempo scientificamente utile, inoltre alcuni non erano dotati di un sensore per la misurazione del regime idrico (dato fondamentale per alcuni processi biologici e pedogenetici).



Esempio schematico del logger TMS: progettato per captare le temperature come una pianta erbacea, simula anche l'azione di suzione dell'acqua delle radici andando a misurare il regime idrico più in profondità.

I termometri installati a 3 differenti altezze ci forniscono un panorama completo di tutte le temperature alle quali piante e pedofauna possono essere esposte (ad esempio le radici nel terreno in media sono sottoposte ad una T lievemente maggiore ed escursione minore rispetto alle parti aeree).

L'umidità contenuta nel suolo viene misurata attraverso il metodo TDM (time domain transmission), che si basa sull'invio di impulsi ad alta frequenza ( 2,5 GHz) attraverso un circuito stampato di 30 cm, ogni volta che un impulso raggiunge l'unità di conteggio ne parte un altro; il numero di impulsi contati è inversamente proporzionale al contenuto di umidità del suolo, con una maggiore umidità del suolo che riduce il conteggio degli impulsi ricevuti. I conteggi vengono quindi invertiti e scalati in intervallo numerico da 1 a 4095 (dati TDT grezzi), per darci un'idea 100 è il valore approssimativo dell'aria nell'ambiente e 3500 quello dell'acqua distillata. La calibrazione dei dati varia a seconda della tipologia di suolo (contenuto in ioni può modificare la velocità dell'impulso) ed è perciò necessaria una calibrazione sito-specifica per ottenere dati il più validi possibile. Questo metodo è però inutilizzabile in suoli ghiacciati.

Vi sono anche ulteriori difficoltà nell'uso dei TMS in queste misurazioni a lungo termine:

- il danneggiamento da parte di animali selvatici, che in alcuni casi sono arrivati ad estrarre fino al 66% dei dispositivi installati in un sito prova nelle foreste dell'Europa Centrale;
- l'inserimento del dispositivo nel sito di rilevazione, infatti, per risultare più attendibile nella misurazione del regime idrico, questo va inserito a diretto contatto con il terreno; il metodo ad oggi adoperato è quello della semplice pressione, ma la presenza di sassi potrebbe scheggiare lo strumento, mentre la presenza di un orizzonte indurito costringe l'operatore che andrà a posizionarlo a scavare prima un foro.[4]

## 5. Gli effetti della temperatura e dell'umidità nel suolo.

Come detto in precedenza il clima nelle sue due componenti influenza fortemente l'ecosistema del suolo, con il termine ecosistema indichiamo un insieme di componenti e processi molto ampio che va suddiviso per essere compreso al meglio.

La temperatura intesa come energia immagazzinata all'interno del suolo influisce fortemente su:

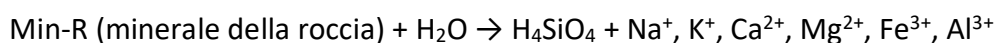
- **proprietà biologiche:** l'attività biologica trova il suo range ottimale con temperature comprese tra i 10 e i 28 °C andando ad influenzare positivamente:
  - ✓ il metabolismo dei microrganismi, che vivono solitamente tra i 10 e i 35,6 °C, questo solitamente si riduce drasticamente con temperature che inducono il congelamento dell'acqua;
  - ✓ il metabolismo dei macrorganismi (incluse le piante), accelerano il proprio metabolismo tra i 10 e i 30 °C, ma muoiono al di sotto degli 0 °C e al di sopra dei 58 °C;
  - ✓ la decomposizione della materia organica, che trova il suo optimum di mineralizzazione (grazie alle attività microbiche) tra i 20 e i 38 °C, con temperature al di sotto dei 10°C riscontreremo invece un accumulo di materia organica non decomposta;[6]
- **proprietà chimiche:** a parità di composizione molte proprietà chimiche possono variare col cambiamento della temperatura:
  - ✓ la capacità di scambio cationico (CEC) è influenzata negativamente dall'aumentare della temperatura, in quanto questa aumenta la mineralizzazione della SO e quindi diminuisce la frazione argillosa nel suolo;
  - ✓ il fosforo disponibile aumenta con la temperatura, in quanto questa influisce positivamente sulla sua solubilità;
  - ✓ il pH del suolo aumenta in un intervallo di temperatura da 25 a 39 °C a causa della denaturazione degli acidi organici;[6]
- **proprietà fisiche:** queste sono influenzate soprattutto a livello delle micelle colloidali sia livello di struttura che di stato di aggregazione:
  - ✓ la struttura del suolo del suolo si modifica in quanto con l'aumentare della temperatura vi è un incremento del contenuto in particelle limose a discapito di quelle sabbiose;
  - ✓ la stabilità degli aggregati aumenta, poiché con l'aumentare della temperatura, gli ossidi di ferro e alluminio agiscono da cementi
  - ✓ **il regime idrico** varia all'aumentare della temperatura sia a causa dell'aumento dell'ETP che a causa della diminuzione di viscosità dell'acqua stessa, questo permette una percolazione maggiore;
  - ✓ infine l'aerazione del terreno aumenta, di pari passo con l'attività biologica, a causa della maggiore produzione di CO<sub>2</sub> da parte dei microrganismi;[6]
- **abitabilità per le piante:** la temperatura del suolo è fondamentale per la crescita dei vegetali a partire dal loro insediamento fino allo sviluppo:

- ✓ l'assorbimento d'acqua diminuisce all'abbassarsi della temperatura, questo avviene poiché il tasso di viscosità aumenta, diretta conseguenza sarà la diminuzione del processo di fotosintesi;
- ✓ l'assorbimento dei nutrienti è riconducibile sia alla viscosità dell'acqua (che diminuisce all'aumentare della temperatura, quindi sarà più semplice assorbirla) sia al metabolismo dei microrganismi che giocano un ruolo fondamentale nel ciclo della maggior parte dei nutrienti stessi (anche i microrganismi giovano dell'aumento della temperatura fino ad una soglia critica)
- ✓ la crescita delle radici è anch'essa favorita dall'aumento della temperatura, con particolare attenzione a non superare anche qui la soglia limite della specie di interesse;
- ✓ la germinazione dei semi infine è soggetta ad una temperatura minima di germinazione, al di sotto della quale il seme della specie d'interesse resta dormiente all'interno del suolo.[6]

Umidità e temperatura come abbiamo visto sono sempre correlate, ma per semplificare la spiegazione dei processi che influenzano le trattiamo separatamente.

L'umidità intesa come regime idrico di un suolo è un parametro fondamentale per comprendere la maggior parte dei processi pedogenetici, in particolar modo questa ricopre un fondamentale per quelli che seguono:

- **weathering:** processo di alterazione dei minerali del substrato pedogenetico e del suolo, consiste non soltanto in reazioni chimiche che portano alla decomposizione minerali, ma anche in quelle che danno origine ai minerali secondari. Considerando i principali elementi che compongono i minerali della roccia, la prima tappa del weathering può essere schematicamente rappresentata come:



Tale reazione procede in funzione dell'alterabilità dei minerali, dell'acqua disponibile, della presenza di protoni e della rimozione dei prodotti di reazione; se però consideriamo che gli elementi sono immessi nella soluzione circolante, è evidente che, oltre ad andare a costituire nuovi composti, essi possono anche seguire il flusso della soluzione ed essere allontanati dal suolo o, quanto meno, portati a maggiori profondità, in questi casi ci troviamo di fronte ad altri processi[1]:

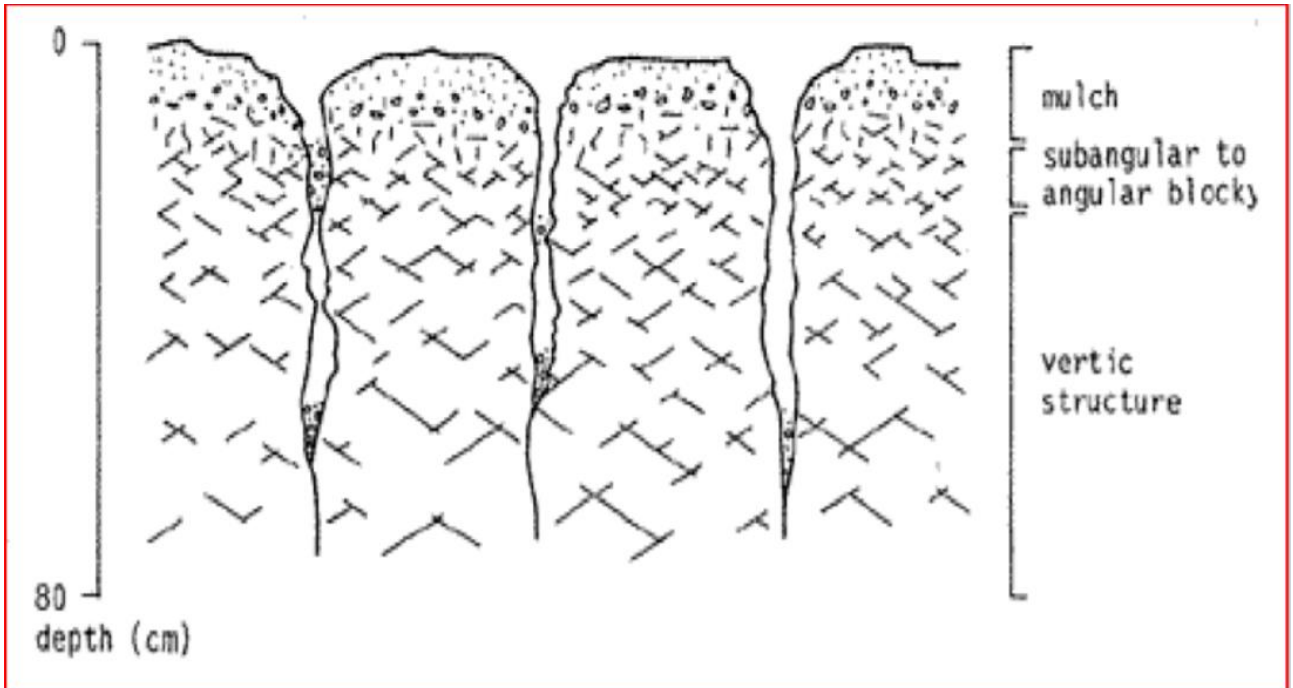
- **lisciviazione:** è un altro importante processo pedogenetico che avviene fin dall'inizio della pedogenesi e contribuisce a determinare la variabilità verticale di molte proprietà chimiche del suolo come, ad esempio, il pH o la saturazione basica; questo consiste nella traslocazione di ioni attraverso la soluzione circolante dai vari orizzonti del profilo di suolo fino alla falda[1];

- **precipitazione:** fenomeno molto simile al precedente, che si distingue dalla lisciviazione per l'insufficienza di acqua disponibile al completamento; infatti, è proprio la mancanza di umidità necessaria all'allontanamento degli elementi dal profilo alla falda, che determina, ad una certa profondità nel profilo, l'aumento della concentrazione ionica e la formazione, per precipitazione, di una zona di accumulo di sali (anche nel caso di sali molto solubili)[1];
- **eluviazione e illuviazione:** con il termine generico di eluviazione si intende la rimozione di composti colloidali (minerali e organici) o di complessi organo-metallici da un orizzonte che ne risulta quindi impoverito, quando questo processo assume intensità considerevole, si ha la formazione di un orizzonte eluviale E. Si tratta di un fenomeno analogo alla lisciviazione, ma poiché vengono rimossi componenti colloidali e non ionici o molecolari, è solitamente possibile riconoscere gli orizzonti E dalla semplice osservazione della morfologia del profilo. L'orizzonte E si trova al di sopra di un orizzonte illuviale di tipo B che risulta quindi arricchito in argilla (Bt), in colloidali organici (Bh), in complessi organo-metallici (Bs) o in una combinazione di questi componenti (Bhs) che siano stati eluviati dall'orizzonte E stesso.[1]

## 6. Vertisols e vertisolizzazione: rischi per i suoli italiani.

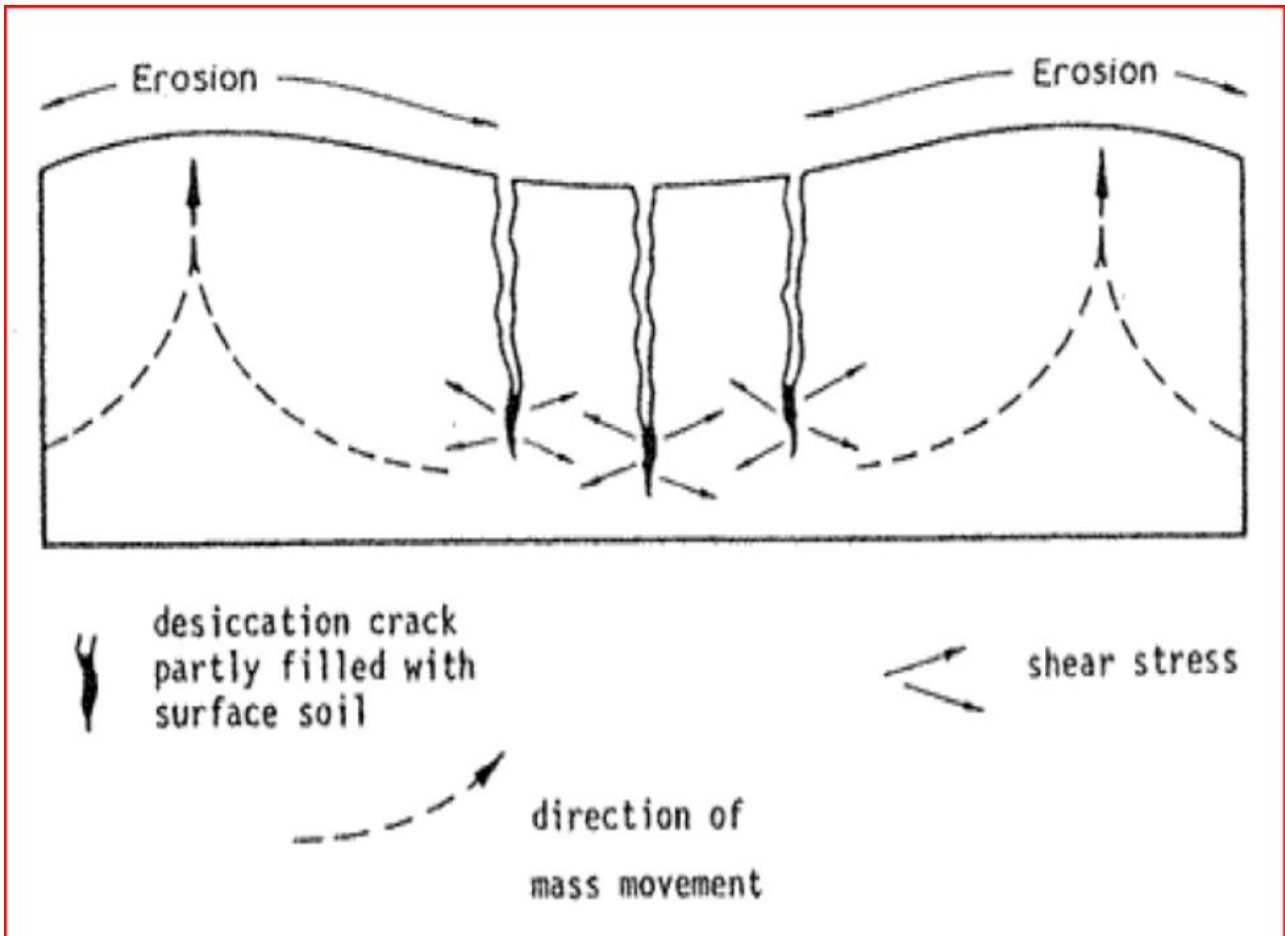
Secondo l'USDA un suolo è classificabile come Vertisol se soddisfa i seguenti requisiti:

- uno strato di almeno 25 cm di spessore contenente slickensides o aggregati cuneiformi i cui assi maggiori siano inclinati dai 10 ai 60° rispetto all'orizzontale;
- tessitura con contenuto medio minimo del 30% di argilla nei primi 50 cm di suolo;
- fratture aperte e chiuse periodicamente in corrispondenza rispettivamente della stagione secca e della stagione umida.[3]



Esempio della struttura di un vertisol durante il periodo secco: le argille espandibili (smectiti e vermiculiti) si contraggono formando le tipiche fessure, queste vengono parzialmente riempite dal suolo superficiale eroso.[2]

Con il termine slickensides si indicano delle particolari strutture somiglianti a lamine, anche per il loro colore grigio brillante, che si formano lungo i margini delle fratture. La loro formazione è causata dalla pressione esercitata sui margini dai residui dell'erosione superficiale, i quali, durante il periodo umido, a causa del rigonfiamento delle argille premono sui margini delle fratture. A seguito di questo fenomeno vi è anche un rialzamento cuneiforme di alcune zone superficiali a formare strutture dette gilgai, questo andamento superficiale del suolo favorisce a sua volta il processo di erosione poiché porta ad avere una lieve pendenza.



Schematizzazione delle forze che interessano i vertisols e la formazione delle loro strutture caratteristiche.



Esempio di slickensides formatasi sui margini di una frattura.



Esempio di gilgai superficiali, dovuti alle pressioni esercitate in profondità dall'espansione delle smectiti/vermiculiti.

Date le loro caratteristiche alquanto inusuali i vertisols sono suoli particolarmente difficoltosi per quanto riguarda le pratiche agricole in quanto:

- nel periodo secco, che di solito corrisponde all'estate, la formazione delle fratture causa:
  - ✓ eccessivo drenaggio;
  - ✓ rottura delle radici;
  - ✓ disidratazione del suolo anche in profondità;
- nel periodo umido, spesso corrispondente a quello invernale, la chiusura delle fratture porta ad una scarsa porosità e quindi:
  - ✓ scarso drenaggio durante la stagione delle piogge;
  - ✓ scarso ricambio dei gas;
  - ✓ scarsa strutturazione;
  - ✓ difficoltà nell'approfondimento radicale.

Per questi motivi i vertisols impediscono la vita delle specie perenni e permettono la sopravvivenza soltanto di quelle annuali a ciclo breve, con la restrizione aggiuntiva che il ciclo deve ricadere nella stagione delle piogge.[2]

Con il termine vertisolizzazione si intende lo sviluppo in un suolo di proprietà vertiche, che consentano di classificare il suolo come un Vertisol. I suoli con proprietà vertiche sono quelli nei quali si formano profonde fessurazioni dovute a particolari condizioni pedologiche e climatiche:

- 1) nel suolo deve essere presente una certa quantità di argilla e/o di minerali argillosi a reticolo espandibile quali la smectite;
- 2) il clima deve prevedere una netta alternanza di periodi piovosi e periodi caldo-aridi.



In tali condizioni, durante il periodo piovoso l'argilla si rigonfia perché i cationi presenti nell'interstrato possono coordinare un elevato numero di molecole di acqua schermando le cariche che mantengono uniti i foglietti, mentre durante il periodo secco si contrae per effetto dell'evapotraspirazione. E' in questa fase di ritiro che nel suolo si formano fratture profonde anche più di 1 metro, le quali contribuiscono a essiccare il suolo anche in profondità. Le energie sviluppate durante la ritrazione sono ingenti, tant'è vero che in questa fase possono essere spezzate radici anche del diametro di qualche centimetro, mentre opere strutturali quali le fondamenta di case o infrastrutture vengono lesionate. Per tali motivi, in questi suoli sono possibili solo ridotte attività agricole e infrastrutturali. La formazione di Vertisols è un processo che interessa soprattutto le aree del Pianeta con clima monsonico, ma questi suoli sono presenti anche in condizioni climatiche diverse purché vi sia una marcata alternanza tra periodi piovosi e periodi secchi e il suolo contenga sufficienti quantità di argilla. In Italia, Vertisols sono presenti dalla pianura padana verso sud, con una particolare concentrazione in Puglia e, soprattutto, Molise e Sicilia. Un problema relativo a questo tipo di suoli è che, soprattutto nelle zone centro-meridionali, estese superfici sono interessate da suoli ricchi di argilla o minerali argillosi, ma si hanno solo minimi fenomeni di fratturazione in quanto il clima non è del tutto favorevole allo sviluppo di Vertisols. L'atteso cambio climatico, con il quale si prevede un aumento delle temperature e una diminuzione delle precipitazioni, potrebbero far aumentare le fratturazioni a tal punto da indurre la formazione di veri e propri Vertisols, con conseguenze negative sul comparto agricolo.[1]

Amesso che le linee di tendenza delle variazioni climatiche rimangano invariate, secondo uno studio mineralogico correlato da una valutazione dell'andamento di temperatura e precipitazioni svolto dai ricercatori dell'Università Politecnica delle Marche, il punto di non ritorno per i siti climaticamente più vulnerabili in questa regione è stimato tra il 2030 ed il 2035. Di fronte alla minaccia della vertisolizzazione, è auspicabile che nei prossimi 2 decenni la programmazione agricola e territoriale del centro e sul Italia prenda in considerazione nozioni e dati fino ad ora trascurati al fine di definire i terroirs, vale a dire porzioni di territorio particolarmente adatte ad una determinata produzione.



Esempio di vertisolizzazione di un suolo a Sant'Urbano (Airo, MC)

Questo tipo di operazione dovrà essere sostenuta con l'ausilio di carte dei suoli anche a scala molto dettagliata e l'analisi dei regimi termici e idrici al fine di:

- ✓ risparmiare acqua;
- ✓ migliorare la gestione del suolo per mitigare il dissesto idro-pedologico.[2]

Comunque, dalle tendenze termo-pluviometriche evidenziate da un lavoro in corso, è emerso che non esistono ancora certezze, ma tendenze di lento aumento di temperature e riduzione delle precipitazioni, legati al cambio climatico. Alla luce di tutto questo però, sarebbe opportuno studiare il comportamento delle variabili agroclimatiche e pedologiche in modo più sistematico evidenziando le conseguenze della variabilità del clima sul suolo. Ciò consentirebbe di conoscere meglio il clima stesso e un'utilizzazione più razionale della risorsa suolo.

### **Bibliografia:**

- 1) Eleonora Bonifacio, Giuseppe Corti e Paola Adamo (2017) Genesi ed evoluzione del suolo, fattori e processi di formazione del suolo, proprietà fisiche: 1-24 in: Fondamenti di chimica del suolo, di Paolo Sequi : 1-24
- 2) Corti G.(2012) Vertisolization in an Overpopulated World. Soil Horizons: 53,1-2
- 3) United States Department of Agriculture (2015) Illustrated Guide to Soil Taxonomy 2.0: part 1 4-22, part 4 457-460.
- 4) Jan Wilda, Martin Kopeckýa, Martin Maceka, Martin Šandac, Jakub Jankovecc, Tomáš Haase (2019) Climate at ecologically relevant scales: a new temperature and soil moisture logger for long-term microclimate measurement: 40-47
- 5) Fabienne Curtaz, Gianluca Filippa, Michele Freppaz, Silvia Stanchi, Ermanno Zanini, Edoardo A.C.Costantini (2013) .Guida pratica di pedologia: 12-22
- 6) Brown Mang Onwuka (2018) Effects of Soil Temperature on Some Soil Properties and Plant Growth: 2-4