

# Il suolo

- È la pellicola più superficiale della geosfera (qualche metro)
- Nomenclatura: i geologi considerano il materiale non consolidato al di sopra del substrato roccioso; per gli agronomi è il materiale che supporta la crescita delle piante, distinto dal regolite.
- E' una RISORSA (vegetazione, agricoltura) da gestire, ma non da sfruttare.
- Se ne occupa la Pedologia...(Scienze Agrarie, Scienze Forestali, Geologia, Ingegneria).



Differenza fra SUOLO e SEDIMENTO ?

# Sistema suolo

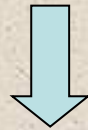
**Atmosfera**      **Biosfera**      **Litosfera**



**interazione processi fisico-chimici**



**scambio energia e materia.**



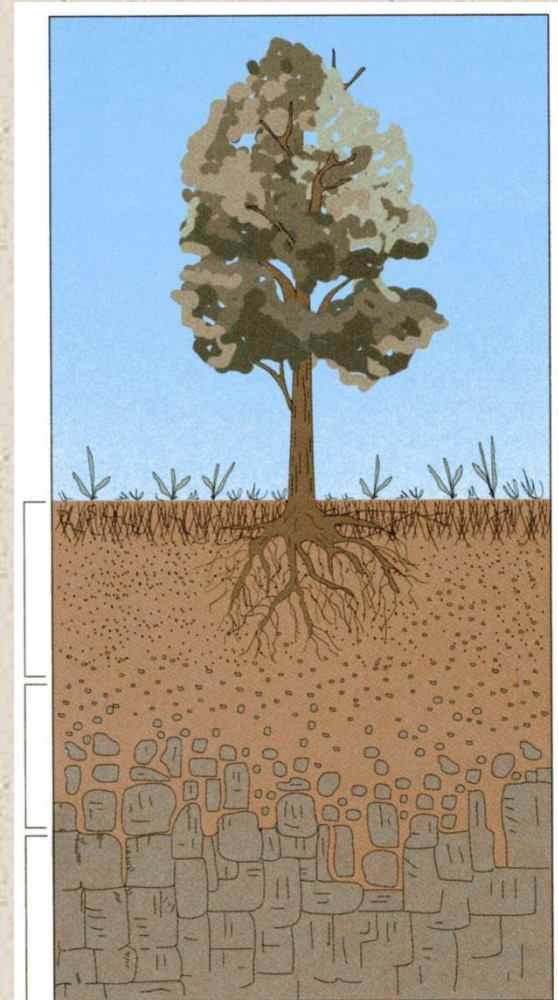
**SUOLO**

**sistema dinamico ed aperto  
in continua evoluzione**

**suolo**

**regolite**

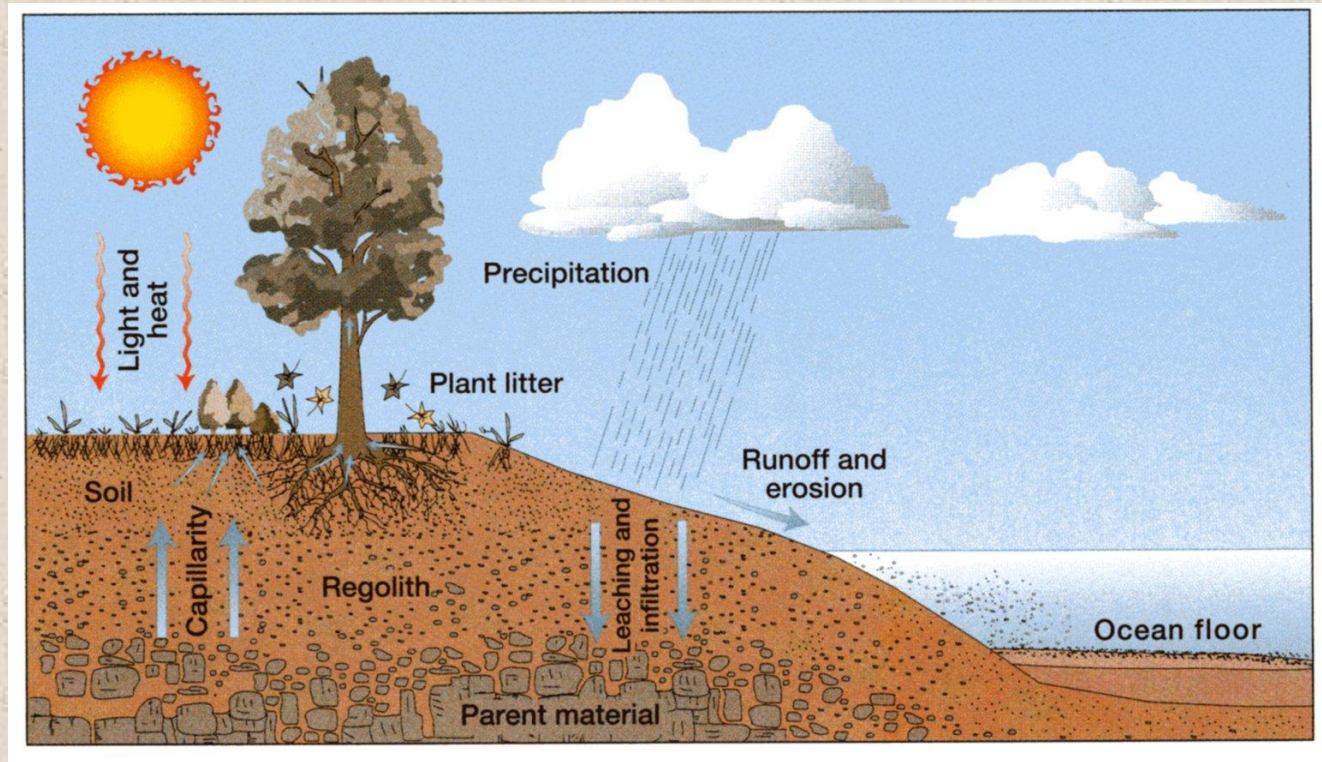
**roccia  
madre**



# Sistema suolo

Il punto di partenza?

la roccia madre



**Acqua:** favorisce i processi di alterazione (idrolisi, idratazione, ossidazione, riduzione)

**Sostanza organica:** la decomposizione produce humus, nutrienti ed acidi organici

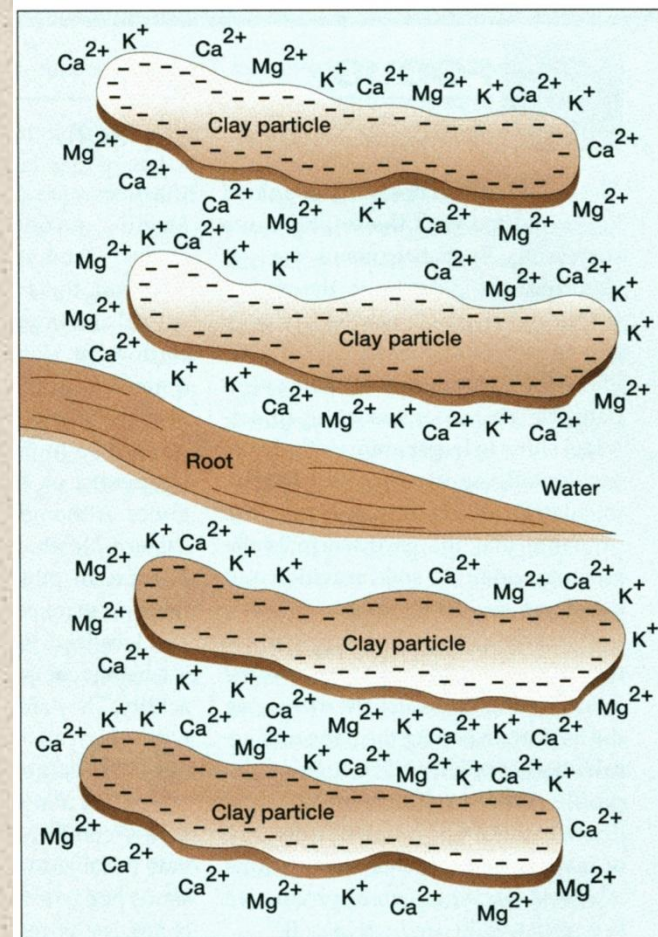
**Energia solare:** fornisce l'energia per i processi fisici, chimici e biologici

**Gravità:** contribuisce alla distribuzione dei materiali

# Le componenti del suolo – 1(a)

## Sostanza inorganica o minerale

- **Struttura cristallina (es.  $\text{Al}(\text{OH})_3$ , *gibbsite*) o amorfa.**
- **Grande varietà di minerali (sabbia > quarzo; silt > feldspati, miche)**
- **Minerali argillosi: cariche negative sulla superficie influenzano la capacità di contrarsi e gonfiarsi, quindi di attrarre e trattenere cationi e nutrienti**



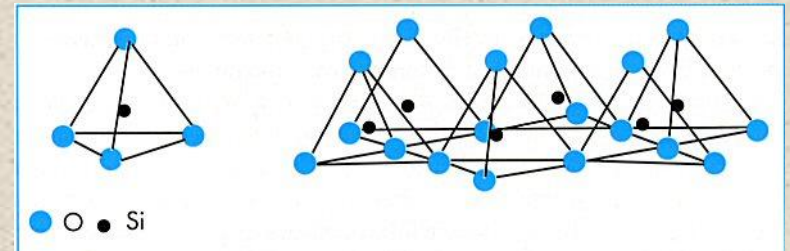
# Le componenti di un suolo – 1(b)

## Le argille (definizioni)

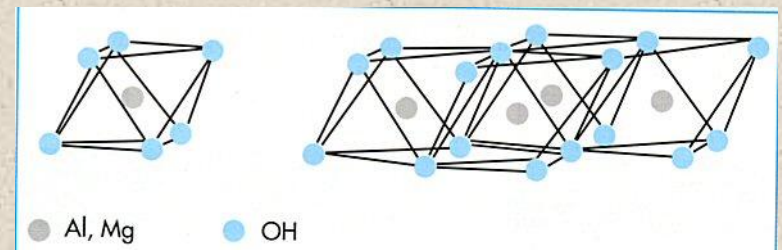
- *mineralogica: gruppo di silicati idrati a struttura foliare (fillosilicati)*
- *sedimentologica: frazione < 4 (o 2)  $\mu\text{m}$*
- *petrografica: rocce costituite da minerali argillosi (ma anche ossidi-idrossidi, quarzo)*
- *uso comune: materiale naturalmente plastico*

## Struttura foliare

tetraedrica: Si o Al cationi centrali e O coordinati



ottaedrica: Al, Mg, Fe, Mn cationi centrali e O o OH coordinati

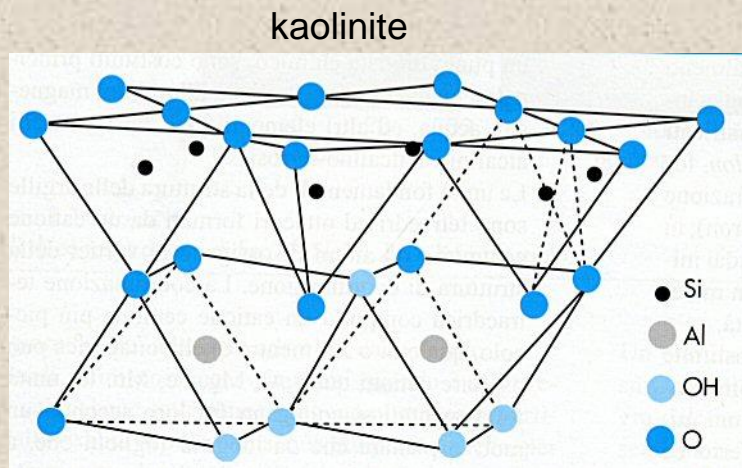


Struttura planare con sviluppo “normale” al piano tramite condivisione di atomi di O o altri elementi

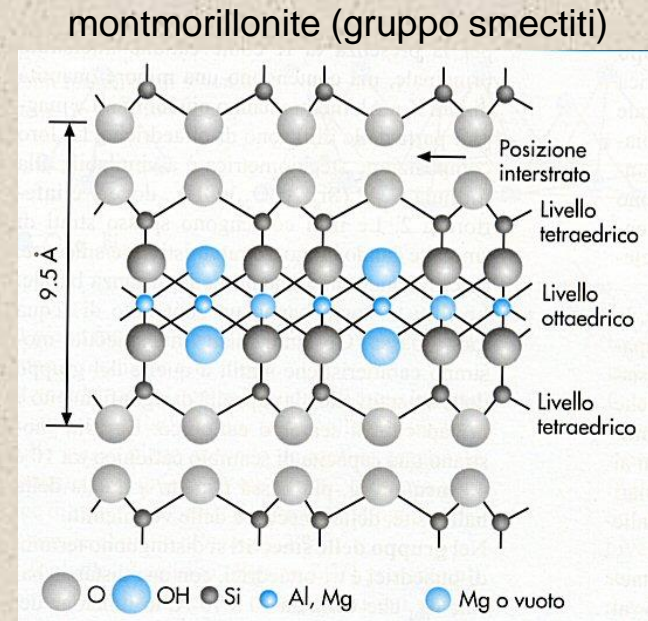
# Le componenti di un suolo – 1(c)

I minerali della argille si diversificano sulla base delle diverse combinazioni dei foglietti tetraedrici ed ottaedrici e sulla distanza basale

- Combinazione T-O: gruppo delle **kaolinite**
- Combinazione T-O-T: gruppo delle **Illiti, smectiti e vermiculiti**



*Non presenta eccesso o difetto di carica  
Sostituzioni limitate  
Bassa capacità di scambio ionico o  
adsorbimento*

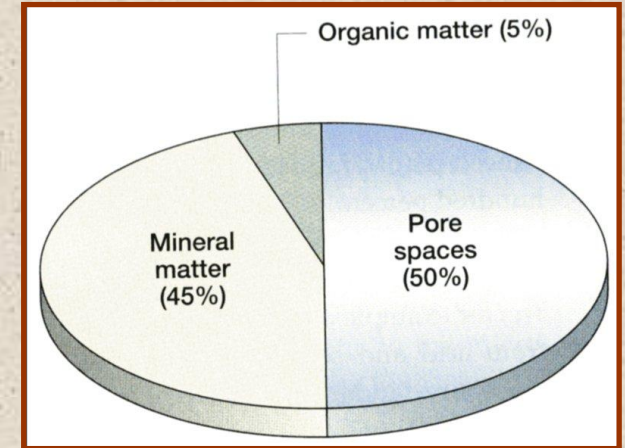


*Si “espandono” per entrata di molecole H<sub>2</sub>O  
negli spazi interstrato  
Più elevata capacità di scambio ionico in  
funzione delle particelle e delle dimensioni del  
catione*

# Le componenti del suolo - 2

## Sostanza organica

- **Generalmente più abbondante in superficie (colore scuro)**
- **Accumulo di spoglie animali e vegetali**



## Decomposizione

**lenta**

**composto colloidale amorfo di colore bruno (humus): acidi umici e fulvici ed umina.  
sviluppo di CO<sub>2</sub> > soluzioni acide negli orizzonti superficiali dei suoli.**

**veloce**

**completa mineralizzazione**

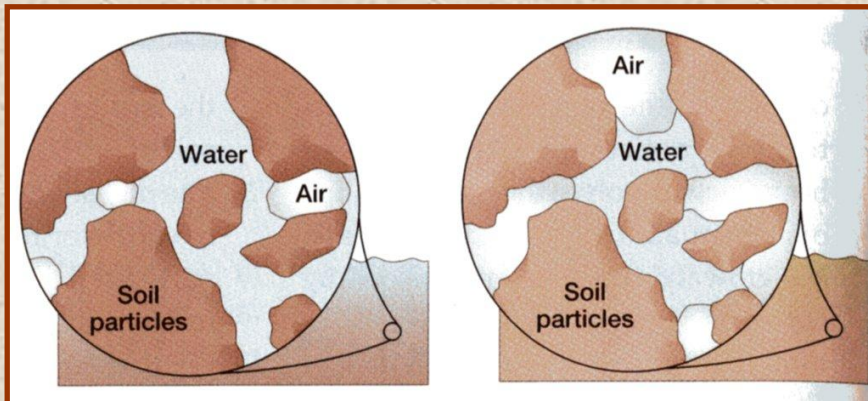


**composti solubili e gassosi, NH<sub>3</sub>, CO<sub>2</sub>, nitrati, solfati**

# Le componenti del suolo - 3

## Aria

- 50% del suolo mediamente è caratterizzato da vuoti (pori) intercomunicanti tra le particelle
- Il rapporto tra acqua ed aria nei vuoti è variabile
- E' sorgente di  $O_2$  per le radici e la respirazione microbica



rimozione  $O_2$



arricchimento  $CO_2$   
(100x atmosfera)

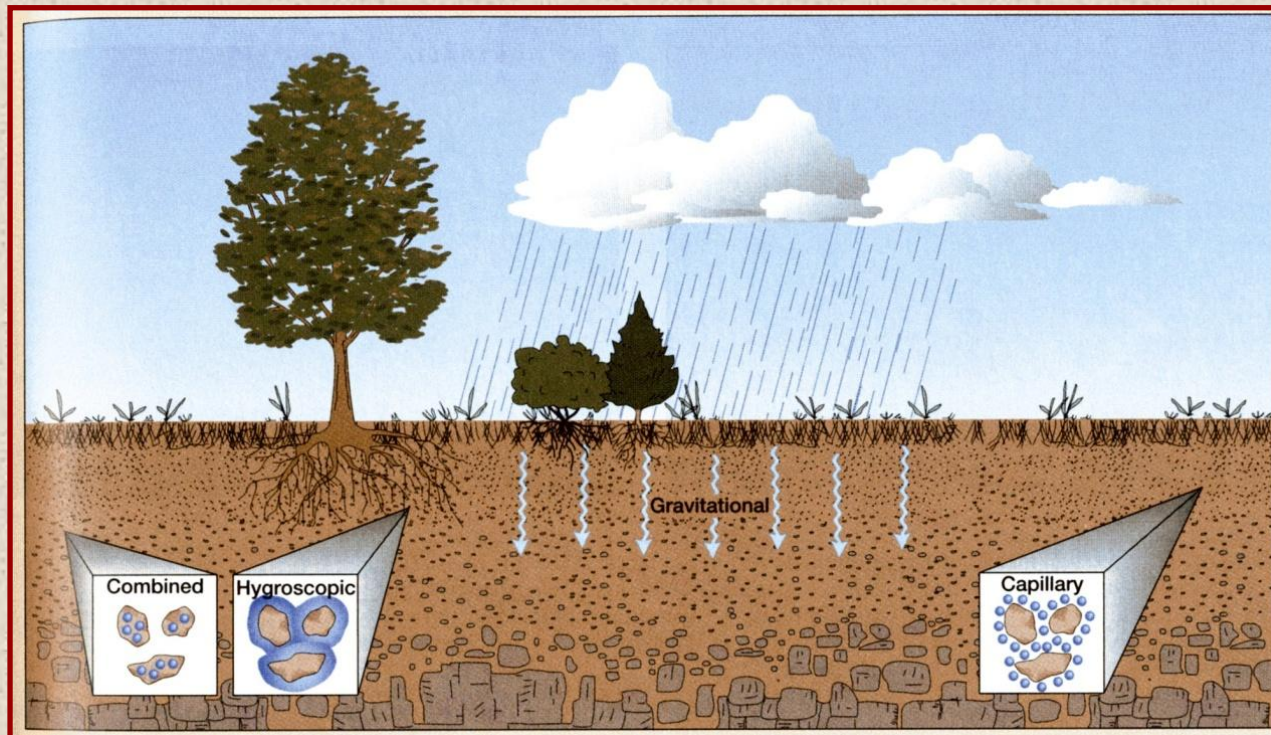


variazione  
stato di ossidazione  
(colore)

# Le componenti del suolo - 4

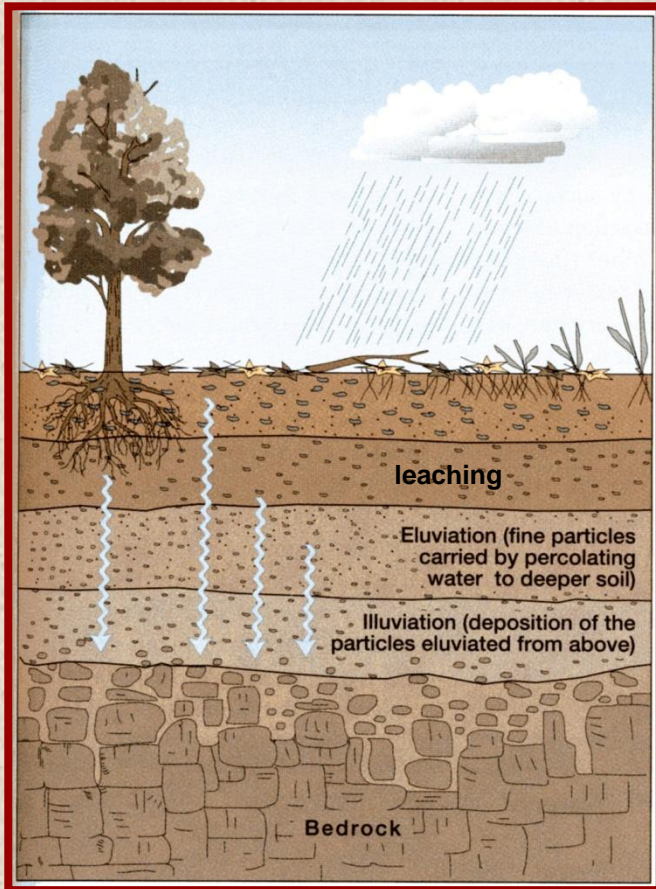
## Acqua

- 4 tipi: di percolazione, reticolare, igroscopica, capillare
- Apporti: precipitazioni (infiltrazione e percolazione) e falda acquifera (capillarità)
- Perdite: scorrimento superficiale, evaporazione, evapotraspirazione, infiltrazione profonda, assorbimento radicale



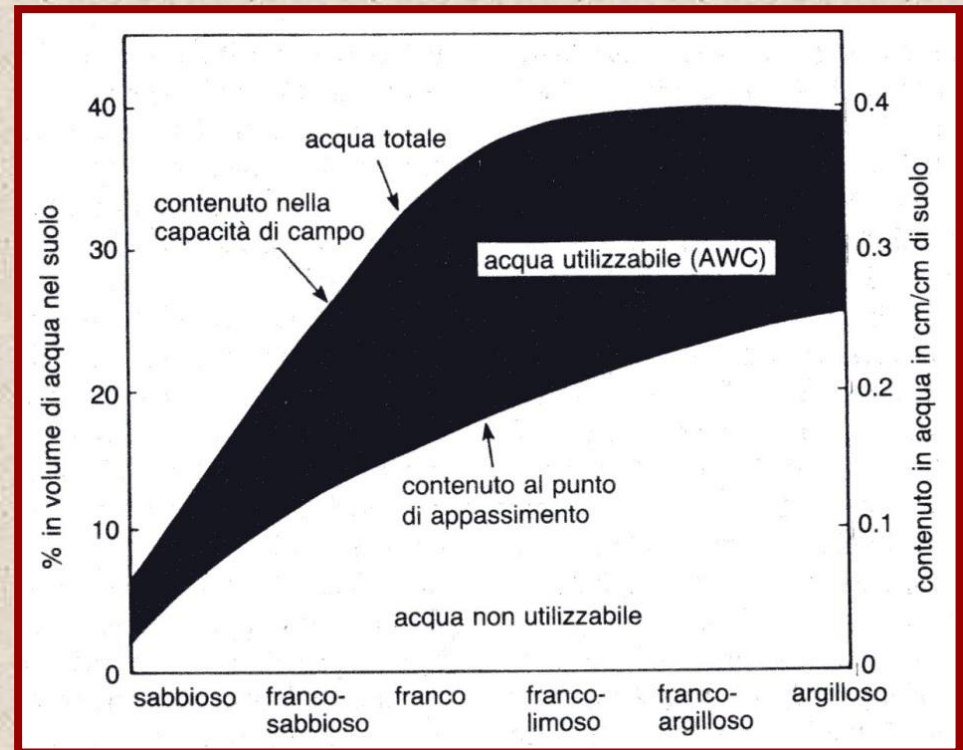
# Effetti dell'acqua nel suolo

Lisciviazione  
Eluviazione  
Illuviazione



# Utilizzo dell'acqua del suolo

Capacità di campo  
Acqua utilizzabile  
Punto di avvizzimento



L'acqua disponibile per le piante varia dal 10 al 28 % del volume a seconda del tipo di tessitura del suolo.

# Fattori che influenzano la formazione dei suoli

## 1) Geologia (roccia madre):

- tipologia della roccia madre (**sedimentaria**, magmatica, **metamorfica**)



tessitura, struttura e composizione del suolo;

- composizione mineralogica



velocità di degradazione e formazione del suolo e nutrienti.

# Le rocce costituite da minerali più facilmente alterabili producono suoli più profondi e in un tempo minore

in 1000 anni....  
**Feldspati**  
**Piroseni ed olivine**  
**Anfiboli**  
**Carbonati**  
**Fosfati**  
**Solfati**



Gabbro, Isle of Skye, UK

in 100.000 – 1.000.000 anni....  
**Quarzo**  
**Tormalina**  
**Granato**  
**Muscovite**  
**Rutilo**  
**Zircone**



Pegmatite, Penisola di Kola, Russia

# Tipologia della roccia madre - 1

## Rocce sedimentarie

### Incoerenti

permeabilità **elevata**  
cementazione **scarsa**  
profilo **sviluppato e profondo**



Arenaria della Val Gardena

*loess* → minerali alterabili → elevata disponibilità di nutrienti

*argille* → bassa permeabilità → suoli poco profondi, scarsamente lisciviati

### Coerenti

*arenarie* → quarzo e feldspati con cementi di varia natura

→ suoli a tessitura grossolana e discreta permeabilità, profili profondi, lisciviati, sensibile differenziazione degli orizzonti

*rocce carbonatiche* → residuo prevalentemente silicatico («terra rossa»)

# Tipologia della roccia madre - 2

## Rocce magmatiche e rocce metamorfiche

Chiare → *Graniti, gneiss*

sono generalmente più attaccabili perché a grana grossolana suoli profondi, più permeabili, lisciviati, tessitura grossolana, «arrossati» per il Fe liberato.

*Micascisti e filladi* → danno origine a suoli a tessitura fine, tendenzialmente acidi, ricchi in K, Al e Mg.

Scure → *Gabbri, dioriti, andesiti, basalti, rocce metamorfiche ricche in Fe e Mg*

sono caratterizzate da minerali facilmente alterabili (pirosseni, plagioclasti) e danno origine a suoli profondi, rosso scuro e tessitura fine.

### Ceneri e cineriti vulcaniche:

Danno origine a suoli profondi, caratterizzati da *allofane*, allumosilicato amorfo ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{H}_2\text{O}$ ) che ha la proprietà di formare composti con la sostanza organica.

I suoli hanno buona sofficità, buona umificazione. Alta capacità di ritenzione idrica e di scambio, untuoso al tatto.



Gneiss



Serpentine

# Fattori che influenzano la formazione dei suoli

- 1) Geologia (roccia madre): tipologia della roccia madre (sedimentaria, magmatica, metamorfica) → tessitura, struttura e composizione del suolo; composizione mineralogica → velocità di degradazione e formazione del suolo e nutrienti.
- 2) Morfologia: pendenza → spessore del suolo ( $f$  grado di erosione / accumulo). Determina il prevalere dell'infiltrazione sul ruscellamento superficiale delle acque piovane. Esposizione del versante.

# - L'erosione del suolo -

Agenti erosivi = inducono il processo erosivo

- **acqua** (piovana e di ruscellamento)
- **vento**
- **ghiaccio** (localmente e saltuariamente)

Fattori influenzanti i processi erosivi:

- **tipo di suolo** (permeabilità, grado d'infiltrazione)
- **topografia** (inclinazione del pendio > gravità)
- **copertura vegetale**
- **interventi antropici**



## L'acqua come agente erosivo

Il ruolo dell'acqua è fondamentale laddove non riesce ad infiltrarsi nel terreno .

Importanza dell'**intensità**, della **stagionalità** oltre che della **quantità** delle **precipitazioni** (erosione maggiore in ambienti aridi e semiaridi).

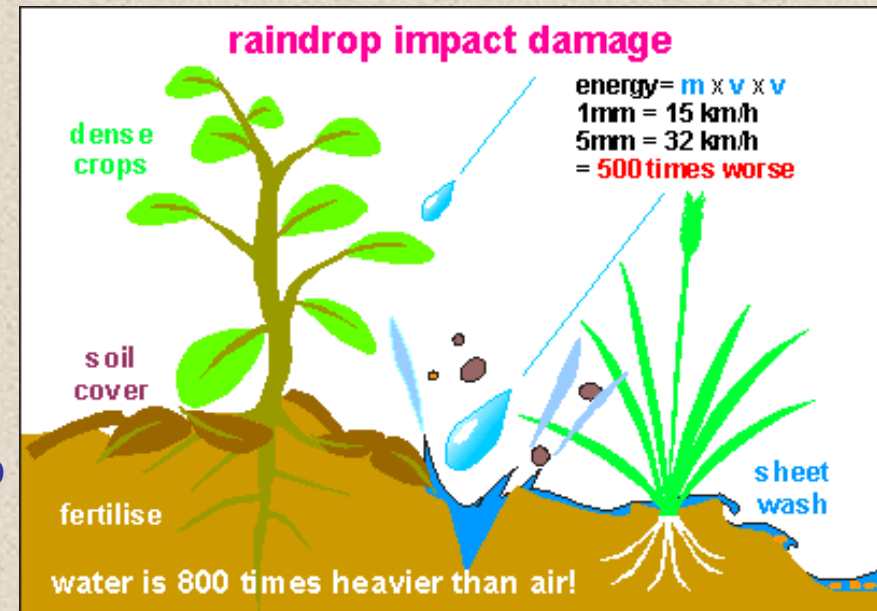
### Come agisce l'acqua?

#### 1) Impatto della pioggia sul terreno

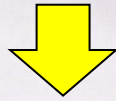


**asportazione delle particelle più fini**  
gocce più grandi > maggior potere distruttivo

maggior efficacia sui terreni acclivi,  
limoso-sabbiosi (argille + coesione)



## 2) Formazione di una lama d'acqua (flussi non confinati)



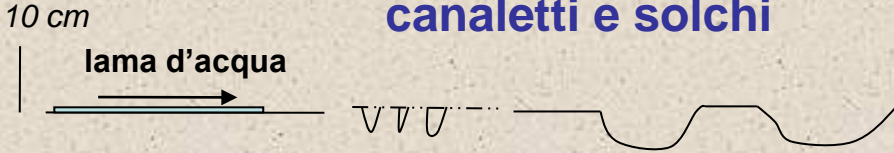
flusso turbolento ( $v = 1.5 - 30 \text{ cm/s}$ ) > erosione



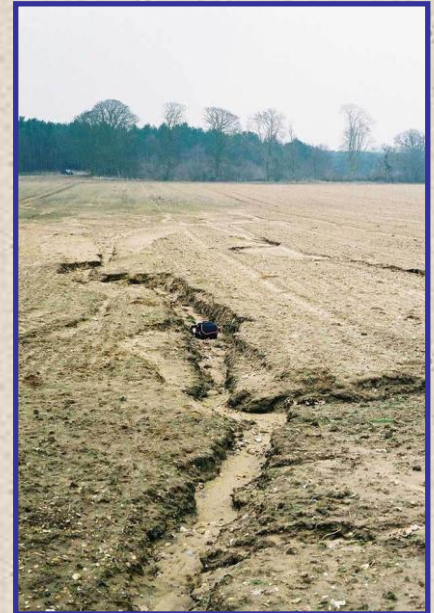
3) L'erosione diventa ruscellamento  
 $v > 30 \text{ cm/s}$  e flusso turbolento



canaletti e solchi



movimenti di massa  
(frane e colate)



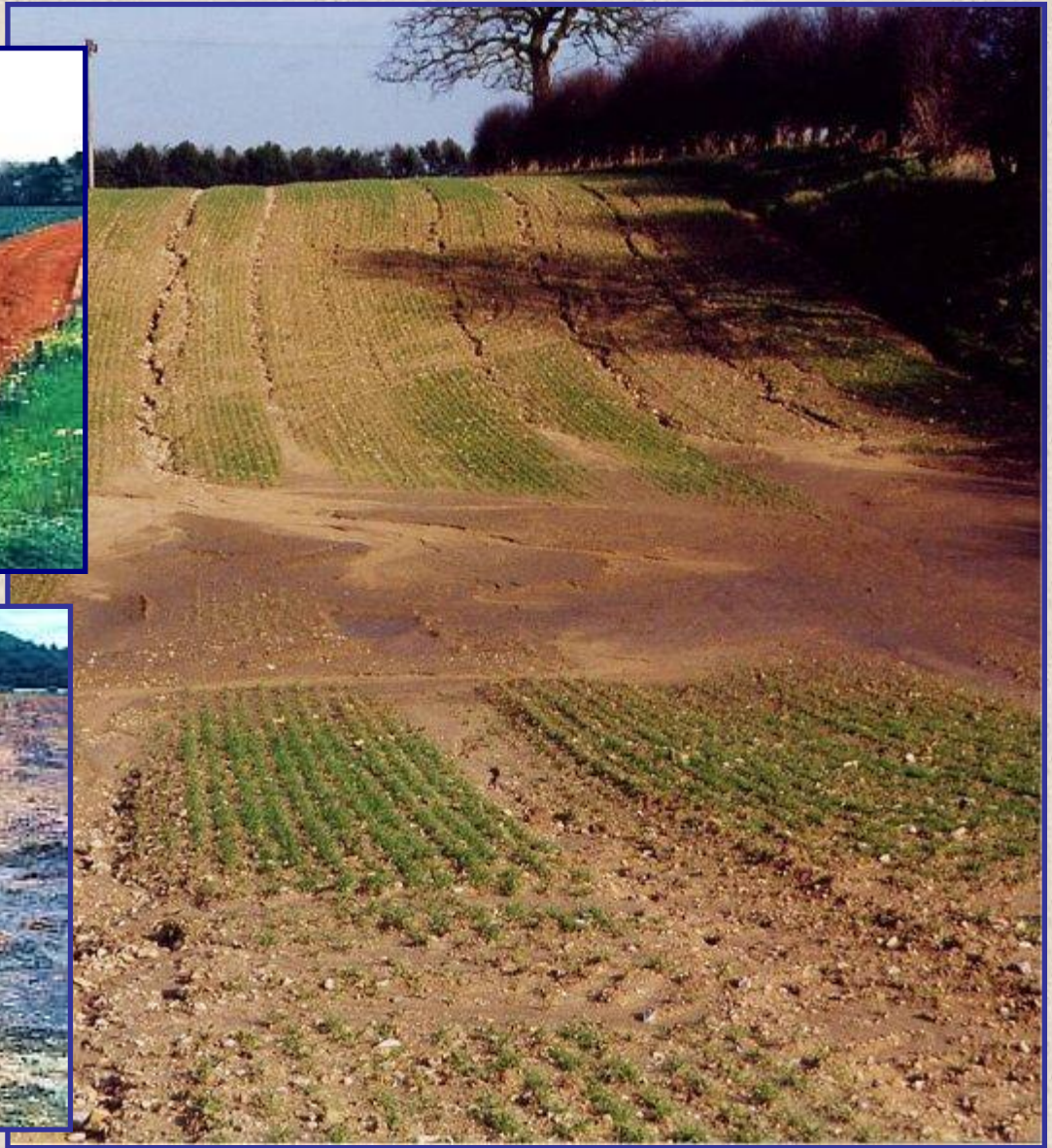


## Da cosa dipende l'erosibilità del suolo?

- tessitura
- capacità d'infiltrazione
- contenuto di sostanza organica > collante
- composizione chimica e contenuto d'acqua
- vegetazione (naturale e coltivazioni)



## *L'erosione del suolo*



***Effetti del ruscellamento su campi coltivati a "ritocchino"***

**Misure di conservazione contro l'erosione idrica**

**- a) Contour farming or ploughing (sistemazione a girapoggio) -**

Disposizione delle piantagioni e conseguente aratura lungo le curve di livello.

Pendii non troppo inclinati e suoli profondi e ben drenati.

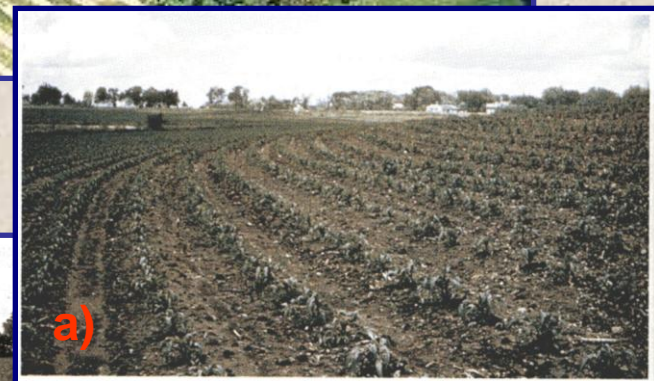


**- b) Strip farming or cropping -**

Alternanza di strisce coltivate a strisce di erba

Pendii troppo ripidi per il terrazzamento (fino a 10°)

La larghezza delle strisce si riduce all'aumentare delle pendenze



# Fattori che influenzano la formazione dei suoli

- 1) **Geologia (roccia madre)**: tipologia della roccia madre (sedimentaria, magmatica, metamorfica) → tessitura, struttura e composizione del suolo; composizione mineralogica → velocità di degradazione e formazione del suolo e nutrienti.
- 2) **Morfologia**: pendenza → spessore del suolo ( $f$  grado di erosione / accumulo). Determina il prevalere dell'infiltrazione sul ruscellamento superficiale delle acque piovane. Esposizione del versante.
- 3) **Clima**: temperatura e umidità hanno la maggior influenza sulla formazione dei suoli: se elevate, accelerano i processi di alterazione; (sost. organica, minerali presenti, pH, colore, distribuzione elementi)
- 4) **Attività biologica**: apparati radicali delle piante > infiltrazione di acqua ed aerazione; gallerie; vermi; attività microbiologica (batteri, funghi, ecc.)
- 5) **Fattore Tempo**: legato alla velocità di trasformazione dei componenti

# Come si forma un suolo?

Degradazione meteorica della roccia



**MECCANICA**



**CHIMICA**



processi  
iniziali

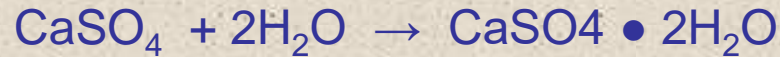
**Termoclastismo**  
**Crioclastismo**  
**(Aloclastismo)**

**Idratazione**  
**Dissoluzione**  
**Idrolisi**

**Ossidazione**  
**Riduzione**  
**Chelazione**

## Degradazione meteorica della roccia

### Idratazione/deidratazione



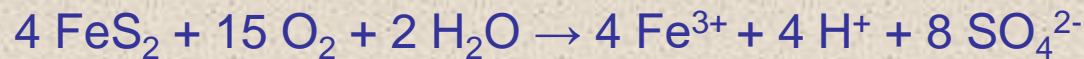
### Dissoluzione



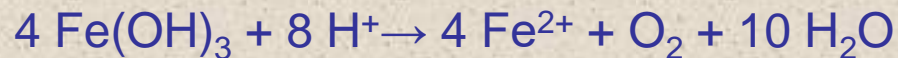
### Idrolisi



### Ossidazione



### Riduzione



**Chelazione**      Fe, Al, Ca, Si + acidi organici (es. citrico, ossalico)

# Come si forma un suolo?

Degradazione meteorica della roccia



**MECCANICA**



**CHIMICA**

processi  
iniziali

**Termoclastismo  
Crioclastismo  
(Aloclastismo)**

**Idratazione  
Dissoluzione  
Idrolisi**

**Ossidazione  
Riduzione  
Chelazione**



prodotti  
di alterazione

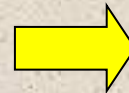
**minerali resistenti  
prodotti di alterazione**

**ioni in soluzione  
humus, composti azotati  
acidi organici**



processi  
pedogenetici

**mobilizzazione  
trasformazione  
trasferimento  
rideposizione**



**lisciviazione  
pedoturbamento  
podzolizzazione  
gleizzazione  
laterizzazione  
salinizzazione  
carbonatazione**



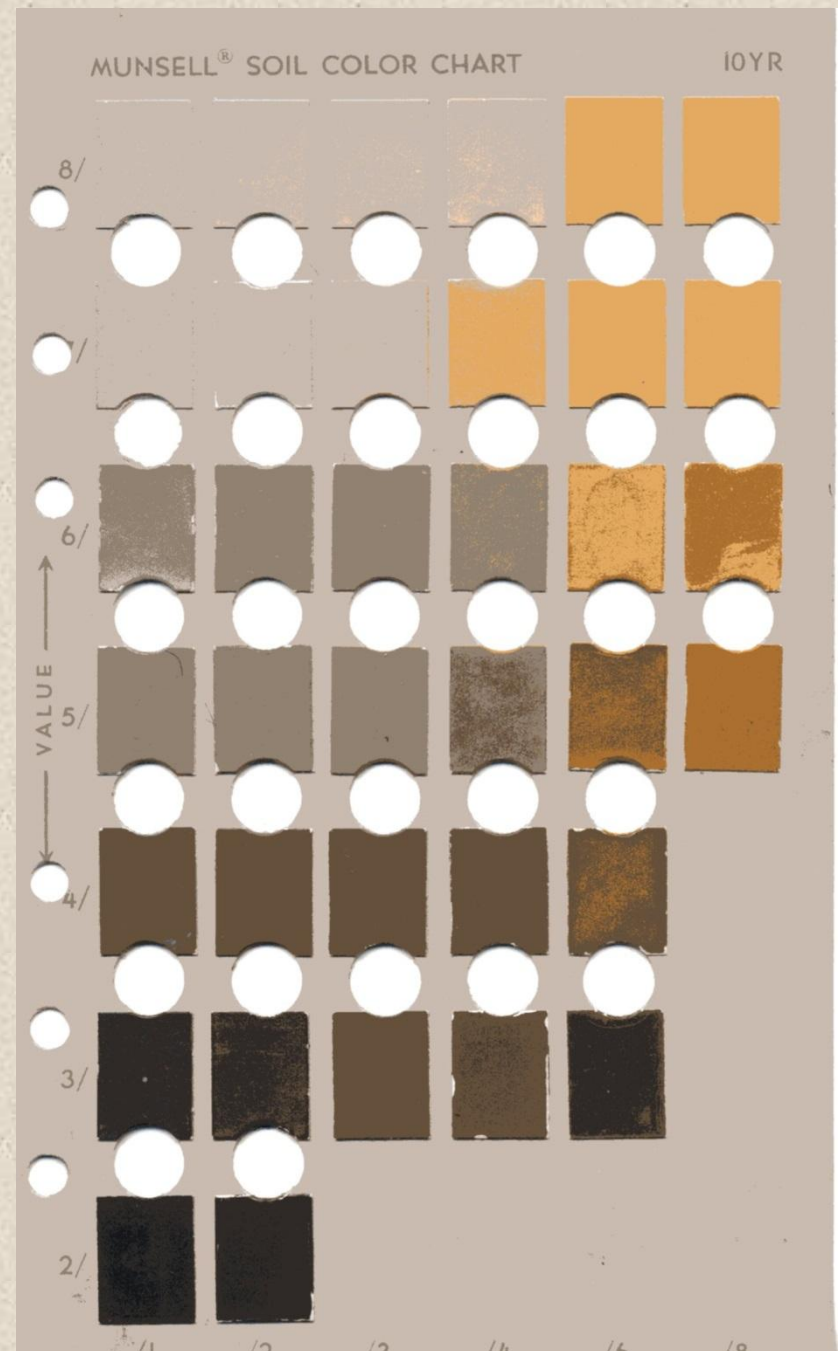
**SUOLO**

# Proprietà fisiche di un suolo: il colore

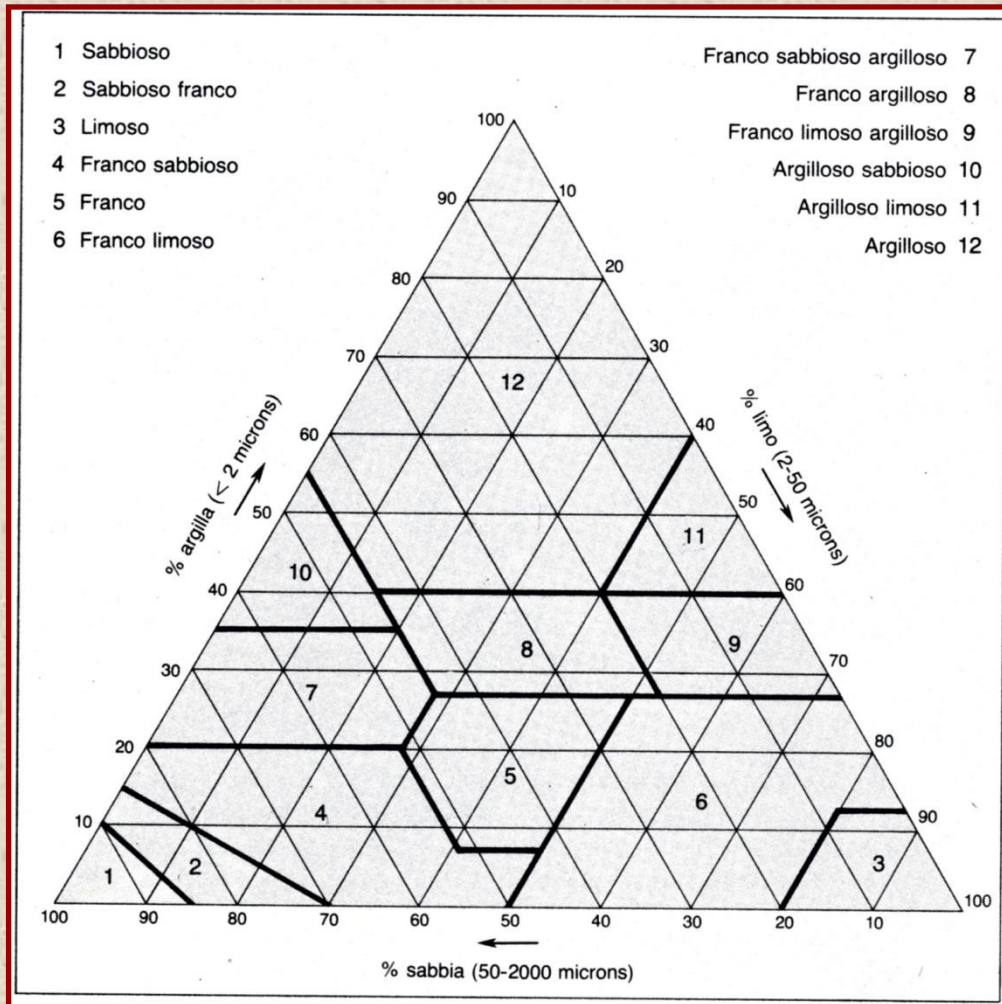
- Riflette le caratteristiche composizionali originarie
- Dipende dall'umidità.
- Dipende dalla sostanza organica:  
+ sostanza organica → suoli marroni o neri.
- Dipende dallo stato di ossidazione: se **rosso** → terreni ricchi in Fe ossidato, buon drenaggio  
**giallo** → ossidazione e drenaggio medi  
**grigio-verde** → terreni ridotti e drenaggio scarso

*175 gradazioni di colore*

*I principali: nero, marrone, rosso, giallo, grigio e bianco*



# Proprietà fisiche di un suolo: la tessitura



Classificazione del suolo USDA (United States Dept. of Agriculture)

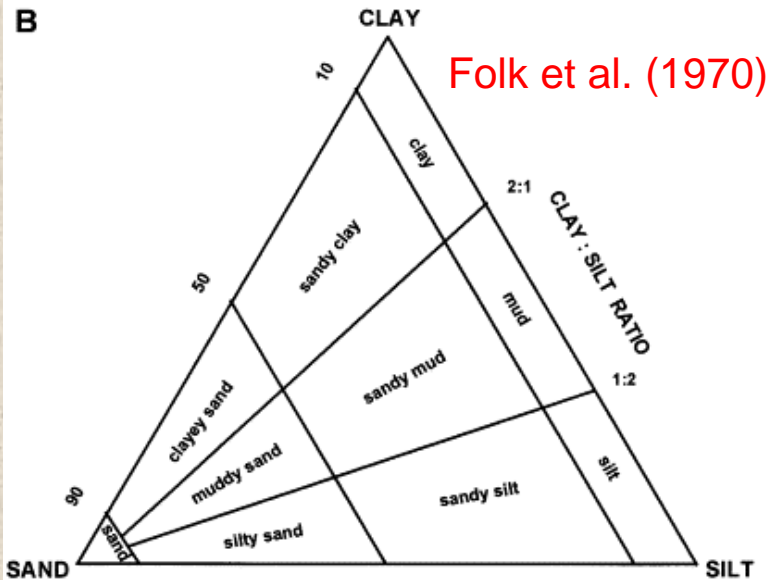
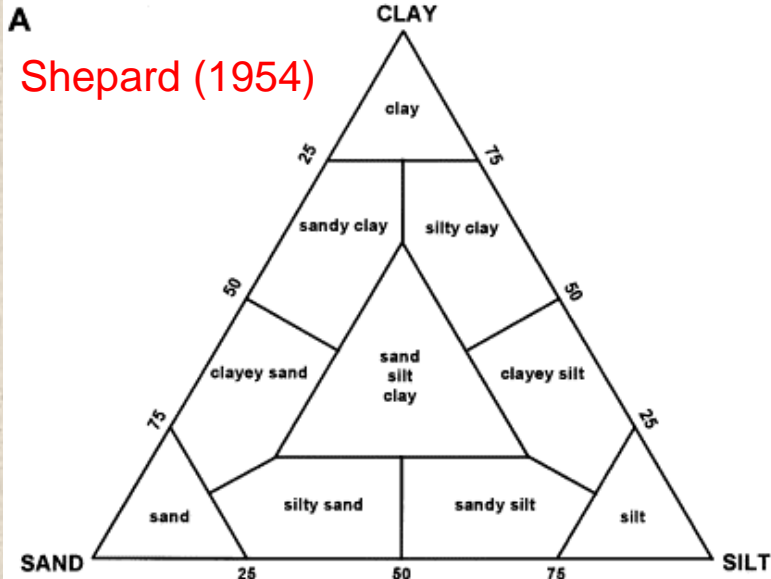
- **sabbia - sand (2 - 0.050 mm)**  
chimicamente inerte  
resistente all'abrasione  
quarzo (+) feldspati, miche (-)  
superficie angolare e irregolare

- **limo - silt (0.050 - 0.002 mm)**  
mediamente inerte  
quarzo (+) minerali primari  
ossidi di Fe e Al  
superficie sferica ed abrasa

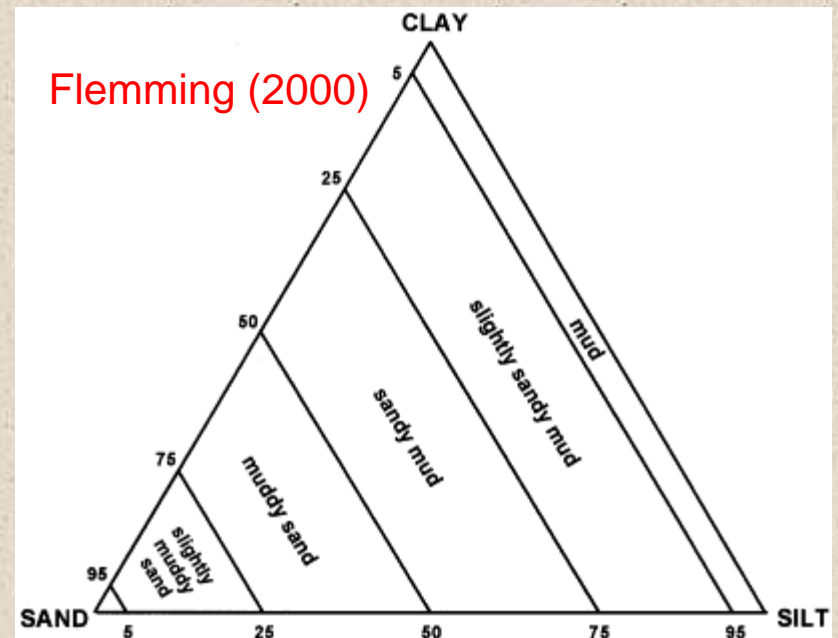
- **argilla - clay (< 0.002 mm)**  
chimicamente attiva  
fillosilicati (regione temperate)  
ossidi di Fe e Al (tropic)

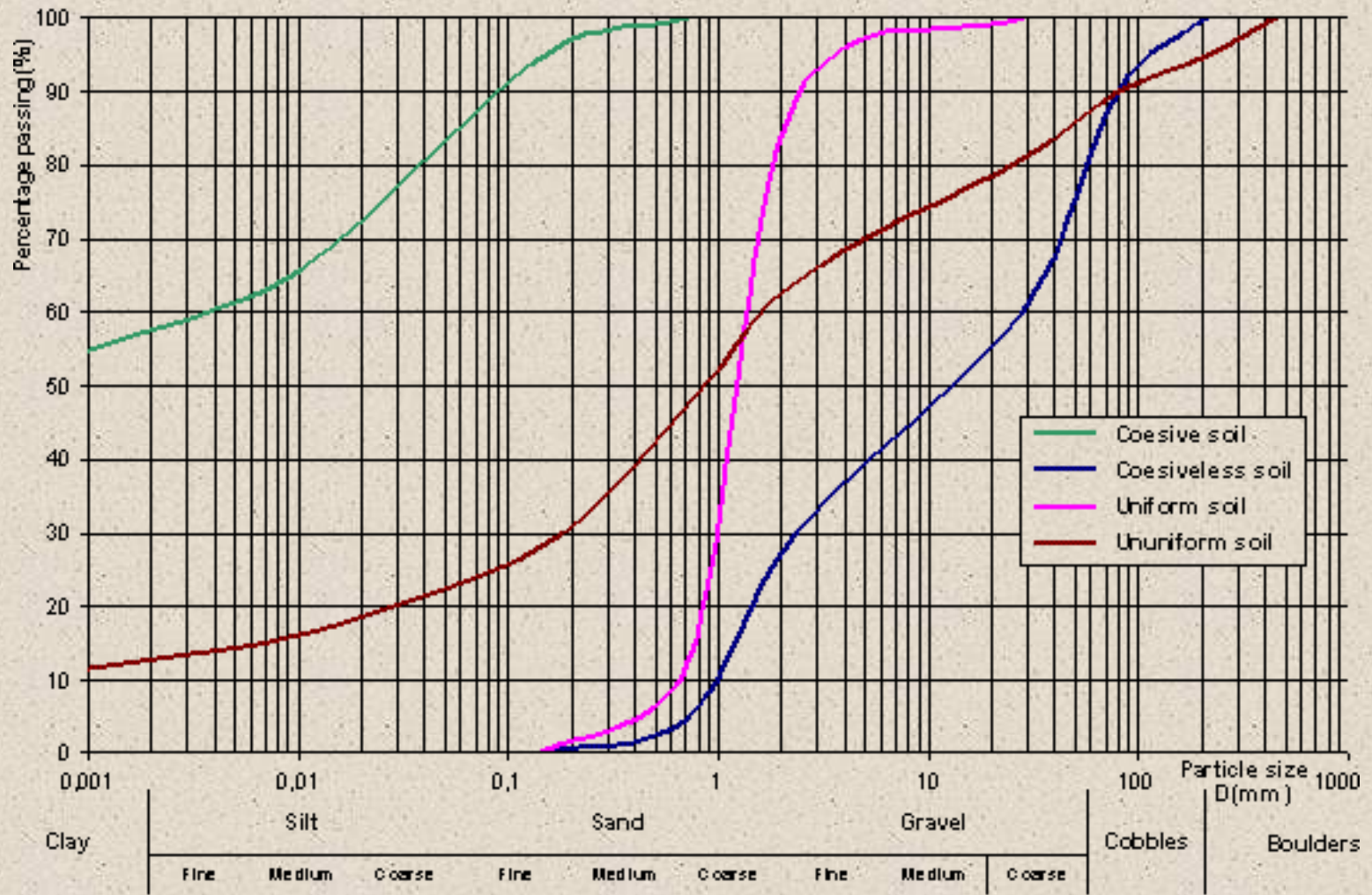
- **scheletro 20-2 mm\***

\*importante nella caratterizzazione del suolo per definire il superamento delle Concentrazioni Soglia di Contaminazione (CSC)



## Classificazioni ternarie per i sedimenti





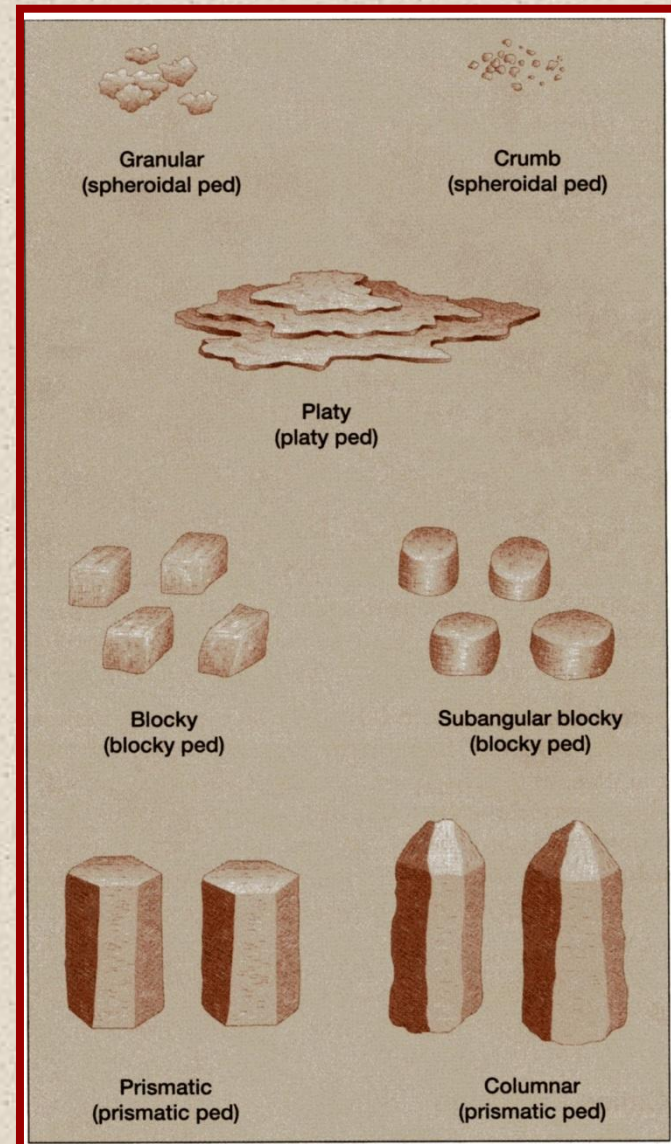
*Example of particle size distribution curves and classification according to British Standard*

# Proprietà fisiche di un suolo: la struttura e la porosità

- Le particelle del suolo formano degli **aggregati o unità tessiturali (peds)**
- Il collante è costituito dalla sostanza organica e dagli ossidi di Fe ed Al
- La struttura influenza porosità, drenaggio e fertilità
- porosità  $P = (1-d'/d) \times 100$   
 $d'$  densità apparente (m/V totale)  
 $d$  densità solido (m/V solido)  
(45-60 % del volume)
- Umidità:  $U_{tot} = ((P_u - P_s)/P_u) \times 100$   
e grado di saturazione

*P<sub>u</sub> peso umido*

*P<sub>s</sub> peso secco*



# Proprietà chimiche di un suolo - 1

## Macronutrienti

- H, O, C N
- P, K, Ca, Mg, S

## Micronutrienti

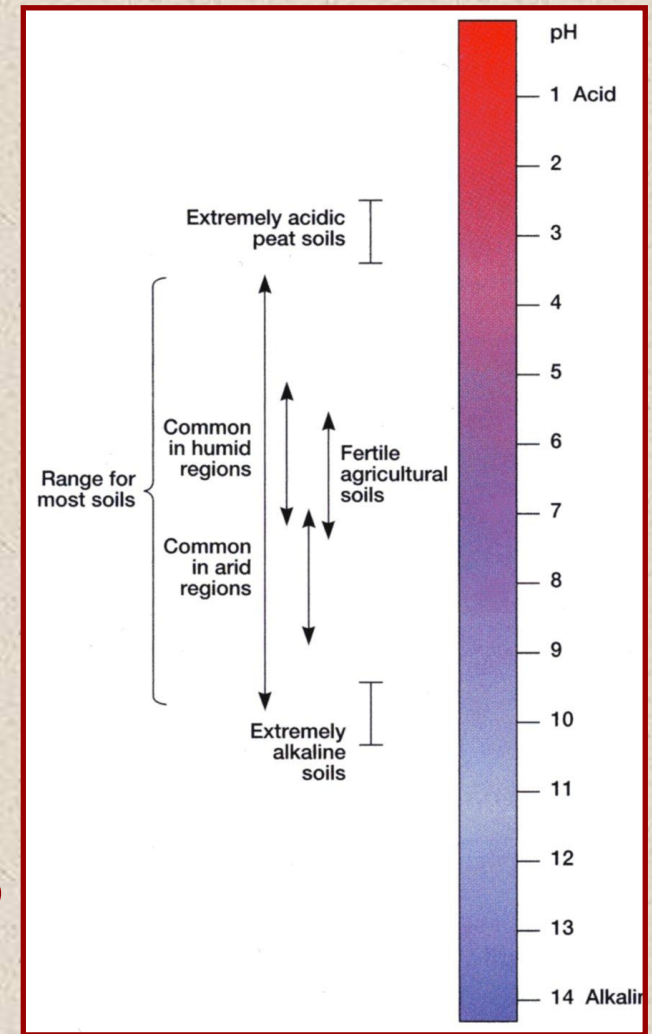
- Cl, Fe, B, Mn, Zn, Cu, Mo, Ni

## Altri elementi: essenziali solo per alcune piante

- Na, Co, V, Si

## Acidità/alcalinità (pH): condiziona l'assorbimento dei nutrienti ed attività microbatterica

- Es. elevata alcalinità → Fe, Mn e Zn meno solubili e disponibili
- Microorganismi influenzanti la redistribuzione del N, P e S preferiscono un pH≈7



# Proprietà chimiche di un suolo - 2

**Fertilità: capacità di fornire elementi essenziali alle piante**

**Dipende da:**

- Concentrazione e speciazione dei nutrienti
- Adsorbimento (sostanza organica, argille)
- Velocità di migrazione

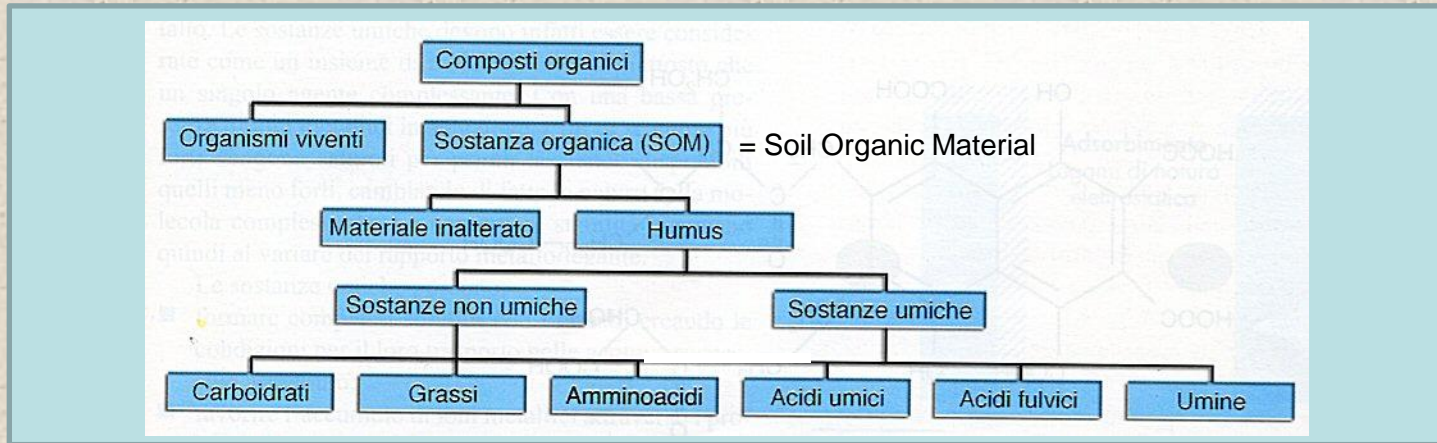


Diverso assorbimento e mobilità per  $\text{NO}_3^-$  e  $\text{H}_2\text{PO}_4^-$  come fertilizzanti

Minor adsorbimento  
Maggiori concentrazioni  
Efficacia più estesa  
per fertilizzanti al N

Forte adsorbimento  
Minori concentrazioni  
Efficacia puntuale per  
fertilizzanti al P

# Proprietà chimiche di un suolo - 3



## La sostanza organica controlla la mobilità degli elementi

- Impropriamente definita **humus** (è solo la parte decomposta!).
- L'**humus** favorisce la resistenza all'erosione, la presenza di acqua, fornisce N, P e S alle piante, influenza la microflora e microfauna, aumenta l'azione tampone dei suoli e la capacità di scambio ionico facilitando l'assorbimento dei micronutrienti da parte delle radici.

**Sostanze non umiche:** basso peso molecolare, distrutte dai microrganismi velocemente (25% del  $C_{org}$  disciolto in acque naturali)

# Proprietà chimiche di un suolo - 4

## Le sostanze umiche: acidi umici, acidi fulvici ed umina

- Elevato peso molecolare, colore scuro, percentuale preponderante
- Alta carica superficiale e capacità di scambio cationico (*CEC, Cationic Exchange Capacity*) → gruppi carbossilici (-COOH) fenolici (-OH aromatico)
- Resistenti all'attacco microbico !

### **Acidi umici**

- Solubili in condizioni alcaline, precipitano in condizioni acide (pH<2)
- Colore bruno > nero
- Principali componenti estraibili dal suolo

### **Acidi fulvici**

- Solubili in acqua a tutti i valori di pH
- Colore giallo chiaro > giallo bruno

### **Umina**

- Non solubile in acqua a tutti i valori di pH
- Colore nero

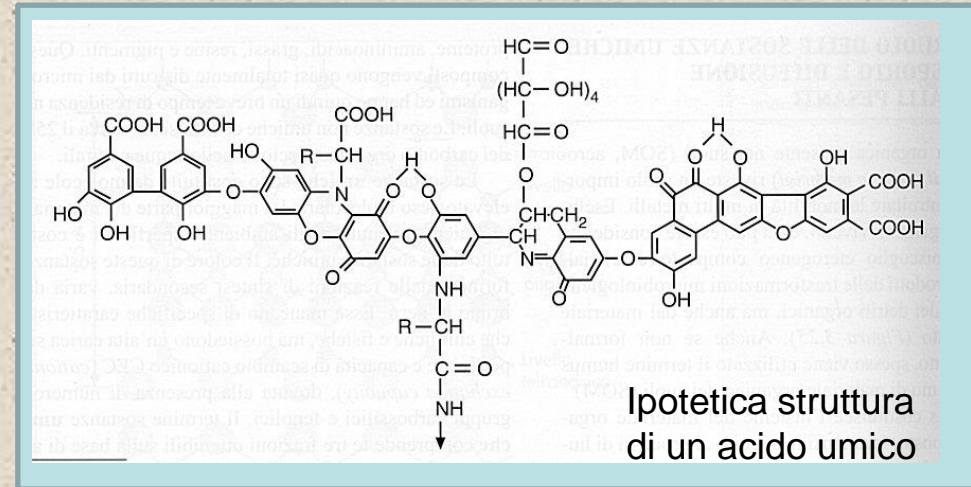
# Proprietà chimiche di un suolo – 4b

## Le sostanze umiche:

### **acidi umici, acidi fulvici ed umina**

Simili strutturalmente ma presentano differenze in:

- Peso molecolare
- Numero di gruppi funzionali (carbossilici, fenolici)
- Grado di polimerizzazione



### **Acidi umici**

- C aromatico e alifatico in % variabile
- C 50-60%, O 30-35%, H 4-6%, N 2-4%, S 0-2%

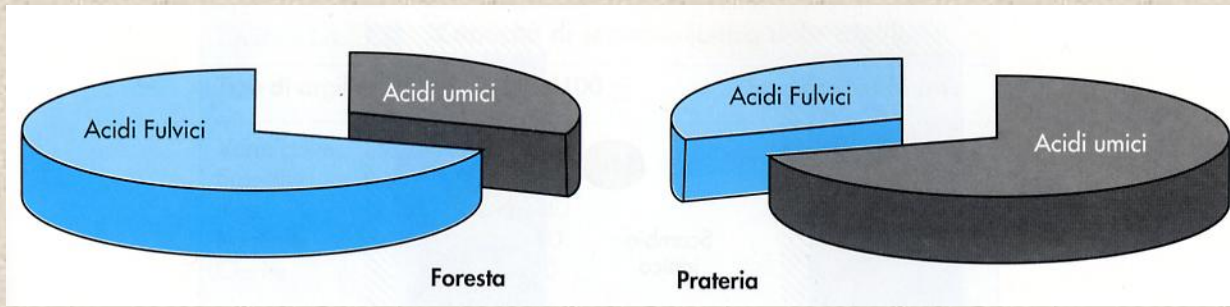
### **Acidi fulvici**

- PM minore
- minore componente aromatica
- C 40-50%, N <1-3%, O 44-50%
- maggior numero di gruppi COOH-

### **Umina**

- PM più elevati
- simili nella composizione agli acidi umici

# Proprietà chimiche di un suolo – 4c

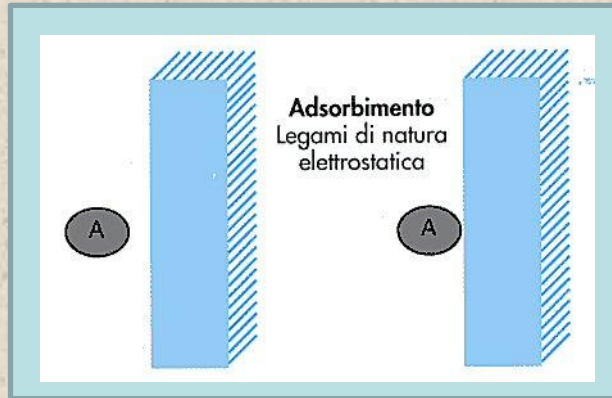


**Le sostanze umiche: insieme di molecole leganti la cui variabilità di struttura influenza il legame con i metalli**

Possono:

- formare complessi solubili con i metalli creando condizioni per il loro trasporto nelle acque ed successivo accumulo
- favorire l'accumulo attraverso processi di adsorbimento e scambio ionico
- favorire la riduzione chimica di alcuni metalli (es.  $\text{Hg}^{+2} > \text{Hg}^0$ )
- modificare il comportamento della superficie dei minerali rispetto agli ioni metallici nell'adsorbimento
- ridurre la tossicità di alcuni metalli (es. Cu, Al) per gli organismi acquatici

# Proprietà chimiche di un suolo - 5



***Argille, ma anche sostanza organica, ossidi ed idrossidi presentano un rapp. Area superficiale/massa elevatissimo (e quindi di densità di carica)***



***modificano la composizione chimica della acque mediante:***

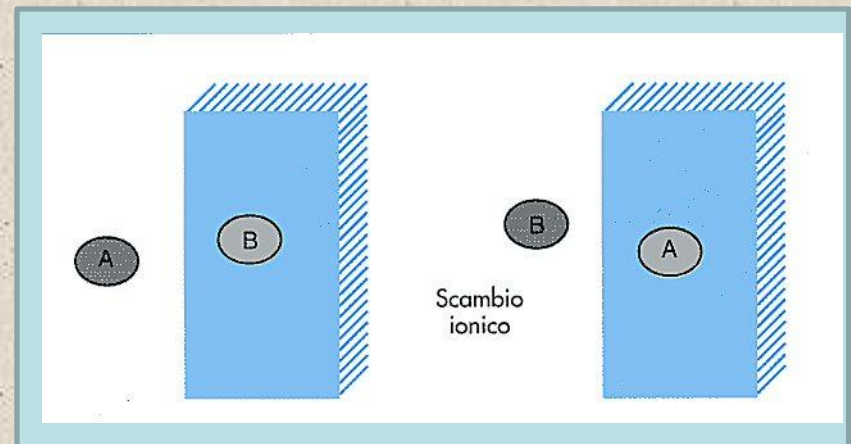
## **Adsorbimento**

Uno ione aderisce alla superficie del solido per attrazione elettrostatica

## **Scambio ionico:**

Uno ione viene scambiato fra la soluzione ed il solido che ha una superficie elettricamente carica (reversibile!)

Chi scambia ?  $Ca > Mg > K > Na$



# Proprietà chimiche di un suolo - 6

## Lo scambio ionico

La carica superficiale delle particelle di suolo è generata per:

- Sostituzioni isomorfe nel reticolo cristallino delle *argille*:  $\text{Si}^{4+}$  con  $\text{Al}^{3+}$  o  $\text{Al}^{3+}$  con  $\text{Mg}^{2+}$  ed eccesso di cariche negative compensate da cationi interstrato facilmente scambiabili.
- Presenza di difetti reticolari nelle *argille*, ad es. una lacuna (o difetto) fra i siti ottaedrici dell'  $\text{Al}^{3+}$ .
- Ionizzazione di M-O (ossidi) e protonazione di M-OH (idrossidi)
- Il pH della soluzione può influire sulla carica superficiale cambiandola ma non sempre:
  - nelle argille con sostituzioni isomorfe (*smectiti e vermiculiti*) la carica è indipendente dal pH;
  - nella *kaolinite* e negli *ossidi*, invece, la carica (-) cresce all'aumentare del pH e viceversa.

# Proprietà chimiche di un suolo - 7

## Lo scambio ionico

La capacità di un suolo di adsorbire e scambiare cationi o anioni varia con il contenuto e tipo di argilla, di ossidi e di sostanza organica.

La **capacità di scambio cationico (CEC)** è la quantità di cationi espressi in milliequivalenti (meq) scambiabile da 100 g di suolo secco a pH 7

N.B! Più aumenta la concentrazione dello ione in soluzione e più diminuisce la frazione dello ione adsorbito dal solido.

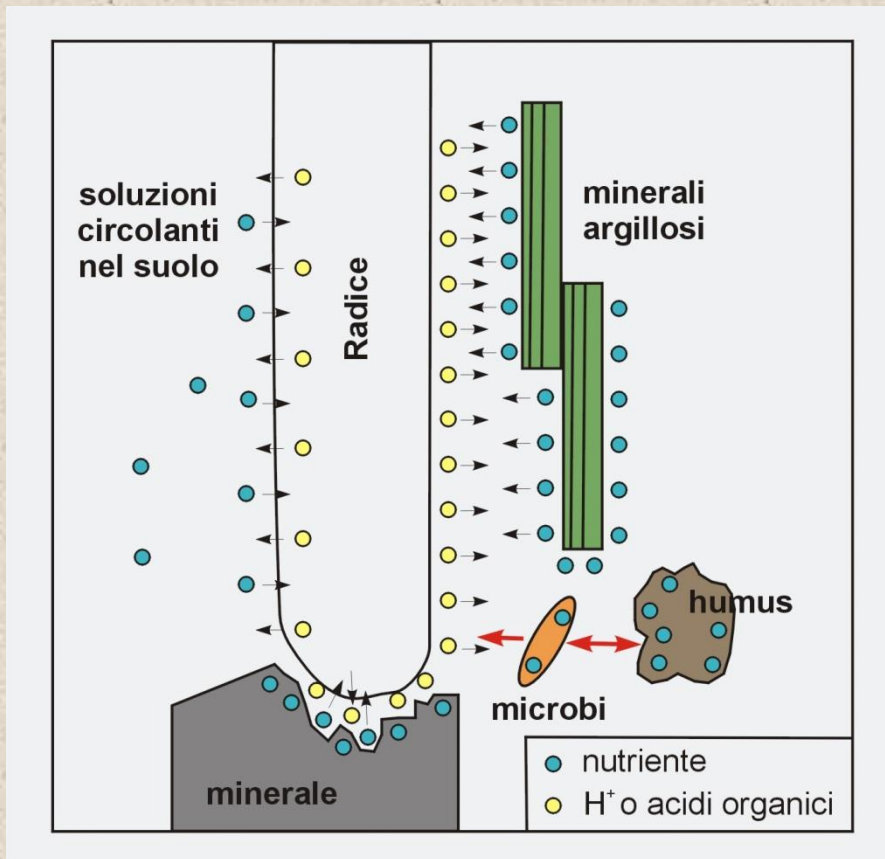


Metalli potenzialmente tossici nei suoli possono essere adsorbiti, e non migrare, solo fino ad un certo punto! Possono anche venir rilasciati se mutano le condizioni di pH.

**TABELLA 3.4** Capacità di scambio ionico delle argille

Tipo di argilla	CEC (meq/100 g)	Dipendenza dal pH
Vermiculite	120-200	trascurabile
Smectite	80-150	trascurabile
Illite	10-40	debole
Kaolinite	1-10	forte
Clorite	<10	debole

# Meccanismi di assorbimento di nutrienti da parte delle piante



- Assorbimento diretto dalle soluzioni del suolo
- Attorno alle radici si crea un microambiente acido che favorisce scambio cationico con minerali argillosi o altri minerali
- Formazione di complessi metallo-organici
- Assorbimento mediato da comunità batteriche
- Assorbimento da parti aeree

# Proprietà chimiche di un suolo - 8

## Acque di irrigazione



Per una buona qualità del suolo e dello sviluppo delle piante le acque di irrigazione devono mantenere:

- Concentrazione di sali solubili
- Proporzione [Na] e altri [cationi] principali
- Concentrazioni contenute di [B] ed altri elementi potenzialmente tossici [EPT]

I sali percolano solo se la quantità d'acqua è superiore a quella che le piante sono in grado di trattenere.

In caso contrario,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ , si accumulano nella fascia di ritenzione.

La natura dei sali dipende dalle rocce alterate e dalle successive reazioni fra acqua, suolo e gas.

La **salinità delle acque di irrigazione** può migliorare la struttura di un suolo (aggregazione) ma anche influenzare negativamente l'assorbimento dell'acqua da parte delle radici delle piante.

# Proprietà chimiche di un suolo - 9

## Acque di irrigazione

Il  $\text{Na}^+$ , riduce l'aggregazione dei granuli disperdendo le particelle di argilla nei vuoti e diminuendo la permeabilità anche per rigonfiamento delle stesse particelle.

Come si esprime la salinità? Come conducibilità in  $\mu\text{Siemens/cm}$  (a  $25^\circ\text{C}$ )

<  $750 \mu\text{S/cm}$ : acque soddisfacenti per irrigazione/consumo alimentare

<  $2250 \mu\text{S/cm}$ : acque utilizzabili se buon drenaggio

Con l'aumento del  $\text{Na}^+$  in soluzione aumenta anche il  $\text{Na}^+$  adsorbito. Per valutare la percentuale di  $\text{Na}^+$  scambiabile (adsorbito) o stimare il rischio da  $\text{Na}^+$  delle acque di irrigazione:

$$\text{Indice SAR} = \frac{\text{Na}^+}{\sqrt{\frac{\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}}{2}}}$$

*“rapporto di adsorbimento del sodio”*  
(U.S. Soil Salinity Laboratory)

[ $\text{Na}^+$ ] in eq/l

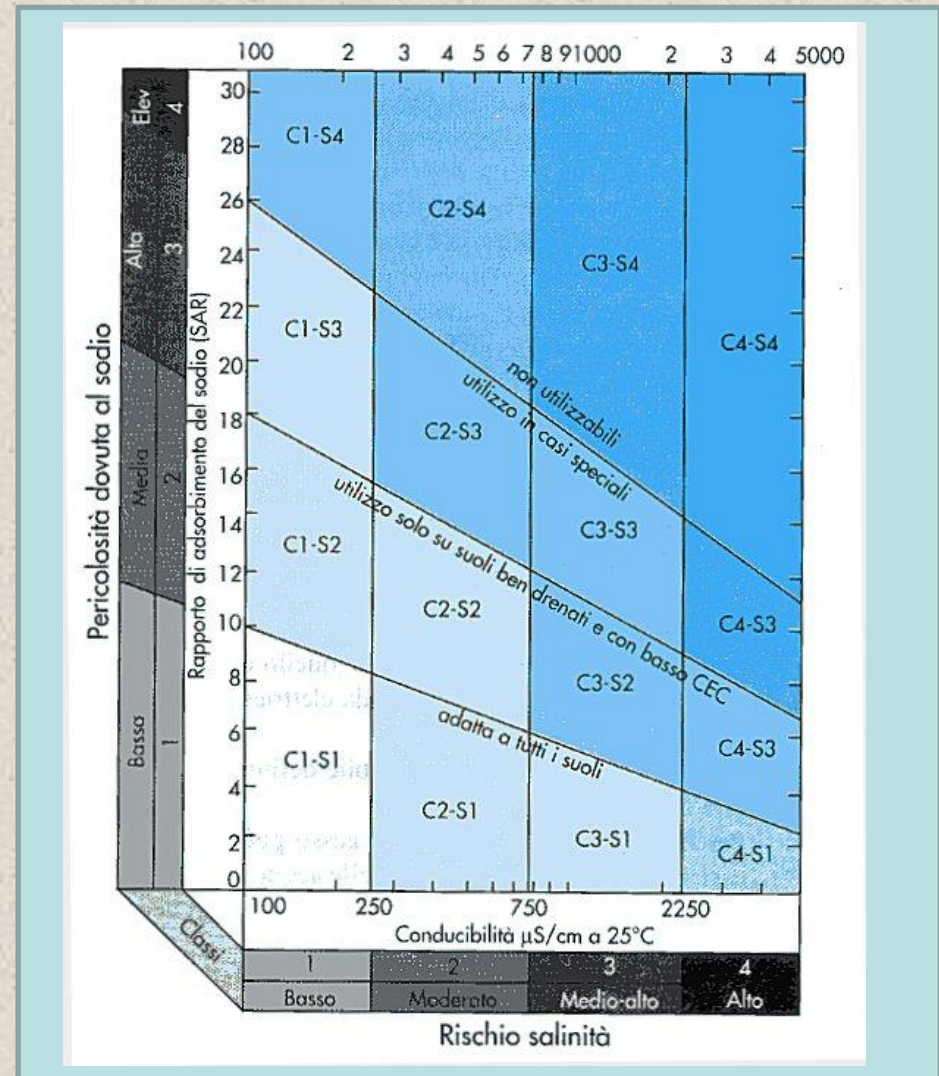
# Proprietà chimiche di un suolo - 10

## Acque di irrigazione

L'indice **SAR**, insieme alla misura di **conducibilità**, forniscono la base per classificare le acque in riferimento al **rischio salino** e alla **pericolosità** dovuta al  $\text{Na}^+$ .

Acque con basso contenuto salino ma ricche in  $\text{Na}^+$  possono essere migliorate con l'aggiunta di  $\text{Ca}^{2+}$ .

N.B! Possibili reazioni modificano (riducono) il contenuto di ioni  $\text{Ca}$  e  $\text{Mg}$ , come, ad esempio, la precipitazione dei carbonati per effetto dei processi di evaporazione e traspirazione delle piante, con aumento dell'indice SAR.

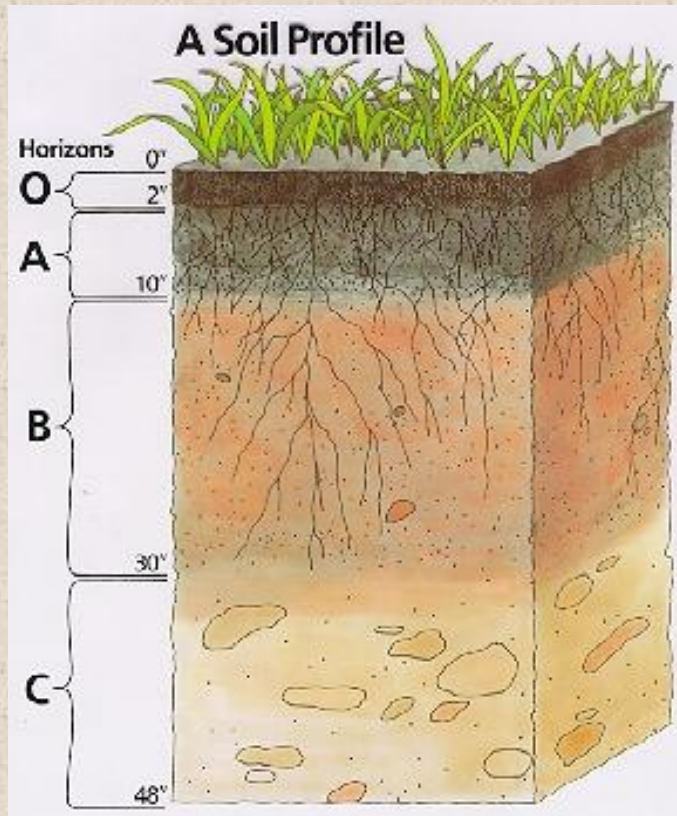


# Profilo di un suolo

Si sviluppa per effetto dell'alterazione e dei processi pedogenetici



Orizzonti con caratteristiche composizionali e fisiche ben definite

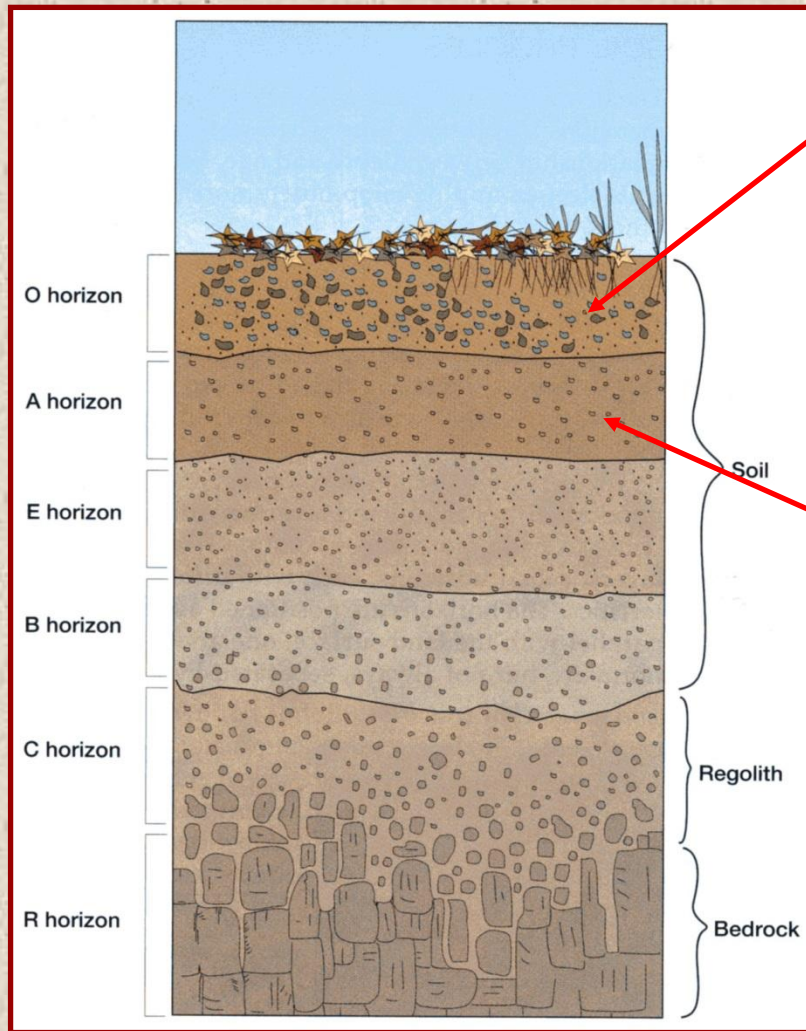


Gli orizzonti principali sono indicati da una lettera maiuscola: O A E B C R

Identificano i processi e classificano i suoli

Un profilo con tutti gli orizzonti è tipico di aree umide e ben drenate

# Gli orizzonti di un suolo -1



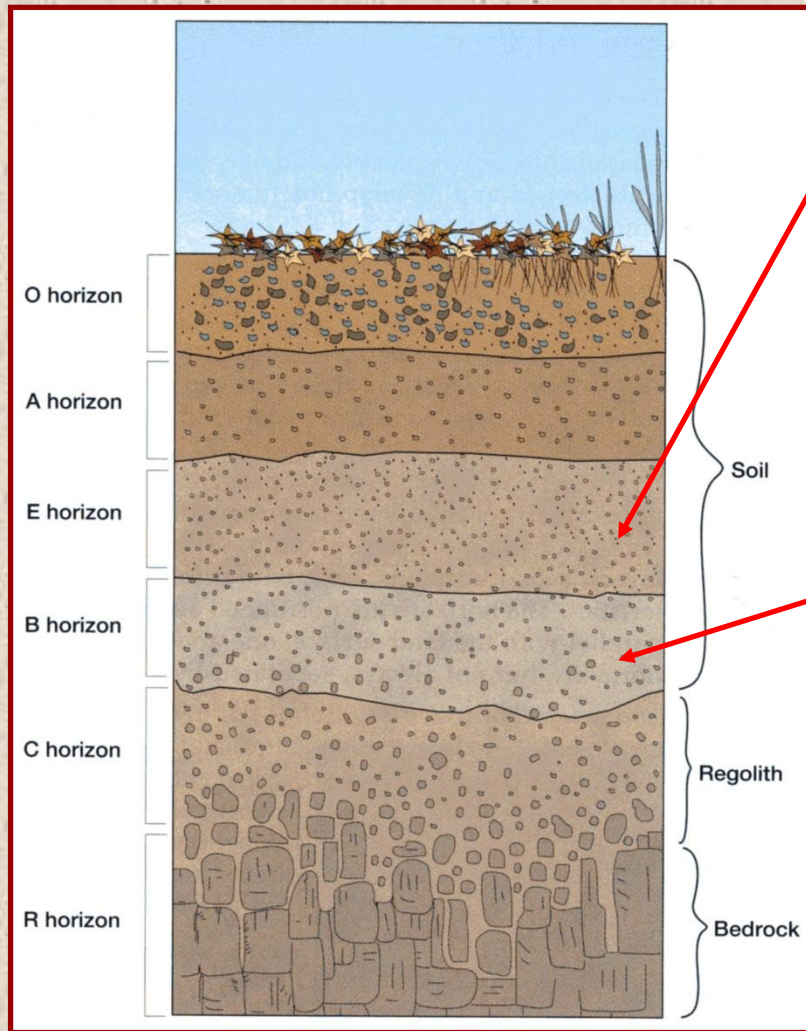
## Orizzonte O

- Superficiale
- Sostanza organica non decomposta (lettiera di foglie e frustoli vegetali) o in via di decomposizione (funghi, batteri).
- Preferenzialmente nelle foreste (climi freddi e scarso drenaggio)

## Orizzonte A

- Alto contenuto di sostanza organica umificata (colore scuro)
- acidificazione delle acque percolanti
- Struttura grumosa o granulare
- Max attività biologica

# Gli orizzonti di un suolo - 2



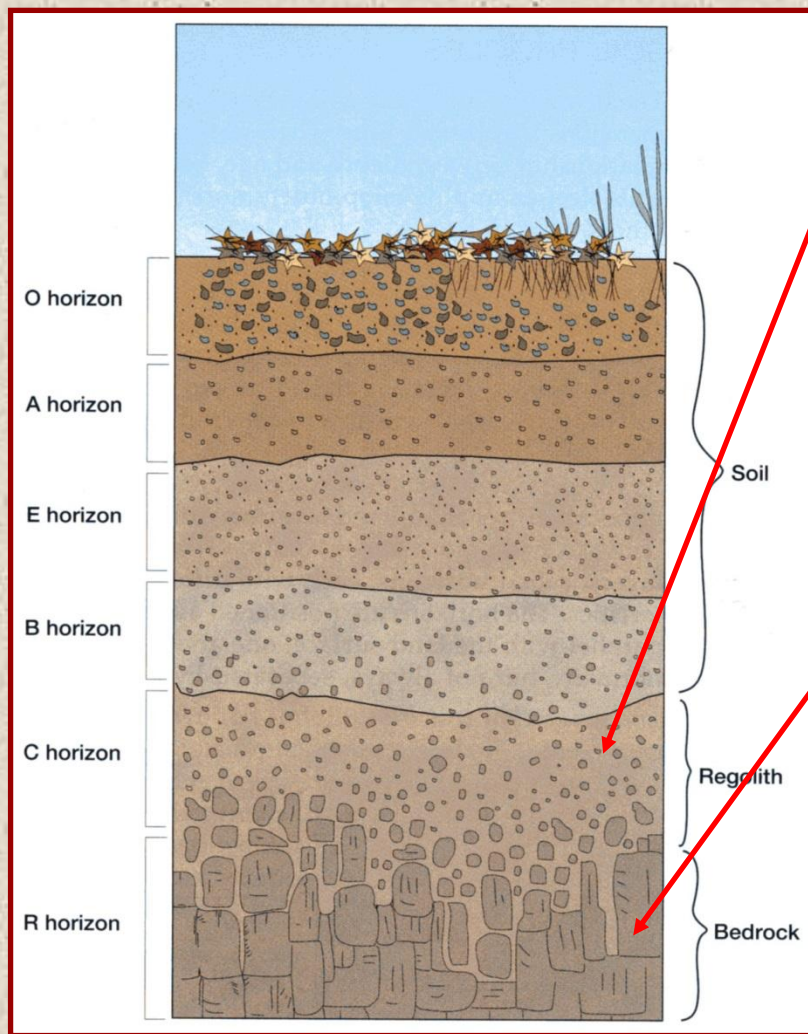
## Orizzonte E

- colore più chiaro rispetto ad A e B
- max eluviazione > asportazione fisica frazione argillosa e solubilizzazione ossidi di Al e Fe
- minerali resistenti all'alterazione
- + limo e sabbia

## Orizzonte B

- colore giallo-bruno (ossidazione), grigio-giallastro (riduzione)
- max illuviazione > accumulo di argille, ossidi di Fe e Al, silice, solfati, carbonati dall'orizzonte A
- struttura a blocchi, granulare e prismatica
- scarsa sostanza organica

# Gli orizzonti di un suolo - 3



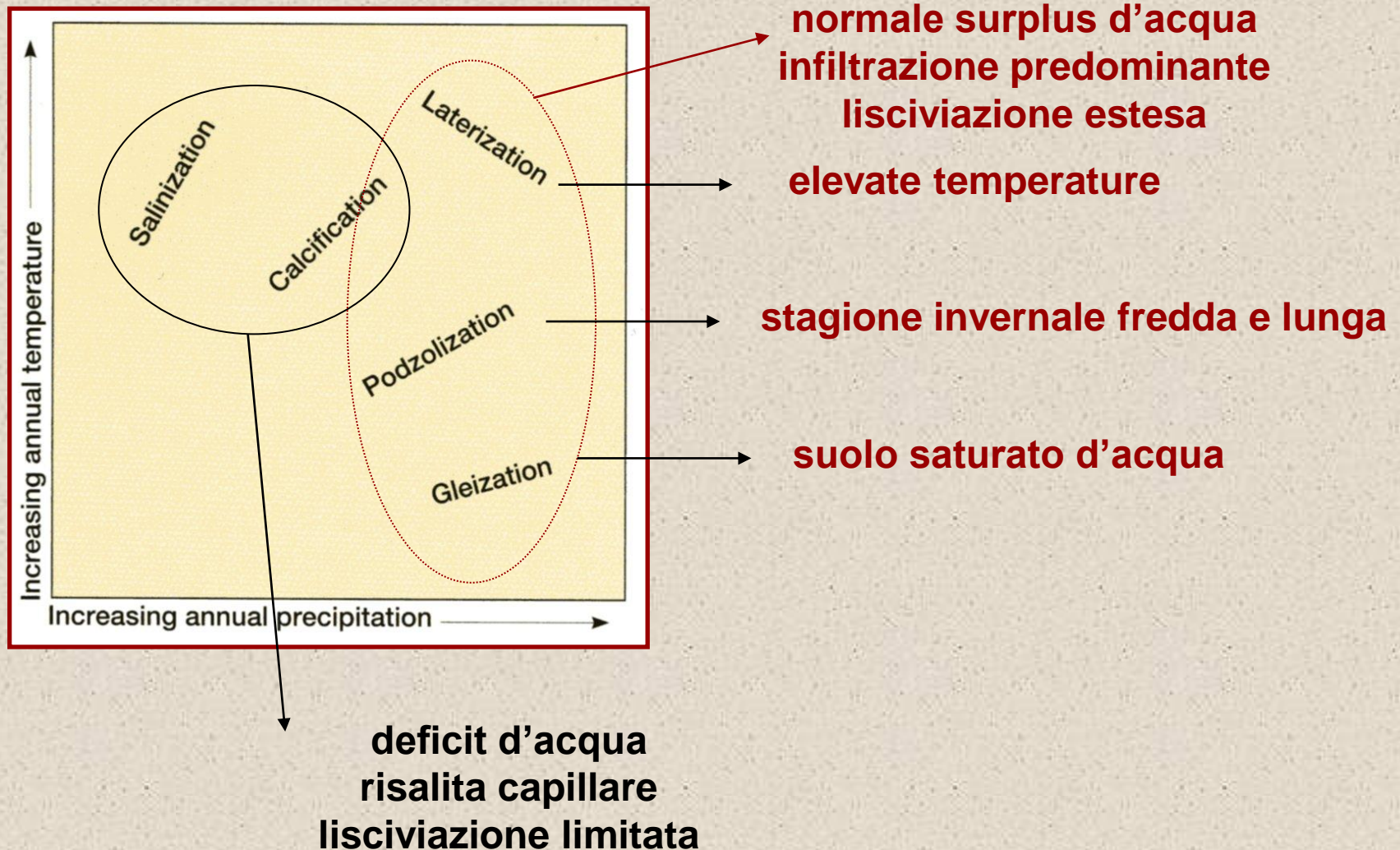
## Orizzonte C

- materiale incoerente simile alla roccia originaria
- assenza di pedogenesi solo alterazione
- eventuali depositi carbonatici ed evaporitici

## Orizzonte R

- substrato roccioso
- fratture favoriscono la penetrazione delle radici

# Clima e regimi pedologici



# I principali regimi pedogenetici: laterizzazione

## climi tropicali ad elevata T e pioggia



**Roccia madre: ignea femica**

**Forte lisciviazione in A (idrolisi dei silicati)**



**Accumulo di ossidi/idrossidi insolubili di Fe ed Al in B (fortemente arrossato)**

- estesa vegetazione
- veloce decomposizione di SOM ed assorbimento dei nutrienti
- formazione di croste di composti di Al e Fe > difficoltà nella coltivazione



# I principali regimi pedogenetici: podzolizzazione\*

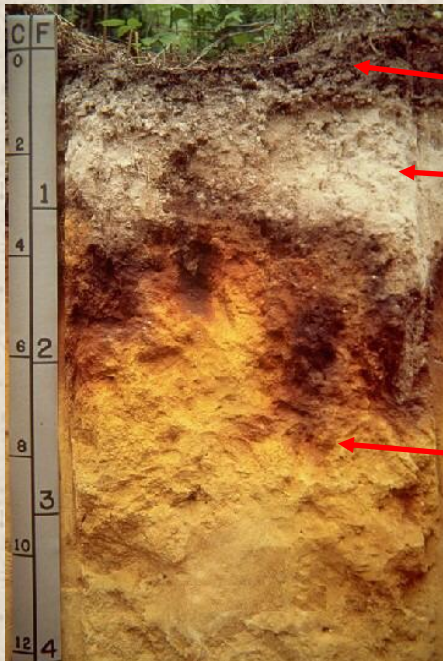
*\*dal russo podzol = simile a cenere*

**regione fredde e umide  
delle alte latitudini**

**zone montuose di Alpi ed Appenini**

**foreste di conifere > vegetazione  
acidificante a lenta decomposizione**

## PROFILO TIPICO



**Orizzonte A**  
accumulo di sost. org. poco umificata

**Orizzonte E**  
colore chiaro, cinereo  
forte eluviazione di argille e Fe  
tessitura sabbiosa-siltosa

**Orizzonte B**  
arancione scuro  
deposito di idrossidi di Al e Fe  
accumuli di sostanza organica

# I principali regimi pedogenetici: gleizzazione\*

\*dal polacco glej=terreno fangoso

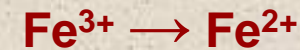
climi freddi

zone pianeggianti o depresse

presenza della falda acquifera



ristagno d'acqua



no migrazione

$\text{Fe}^{2+}$  associato a composti poco solubili, alle argille, carbonato ferroso, idrossido ferroso e pirite

orizzonti grigio, grigio-verdastri (gley)

orizzonti «marmorizzati» a macchie arancioni (pseudogley)

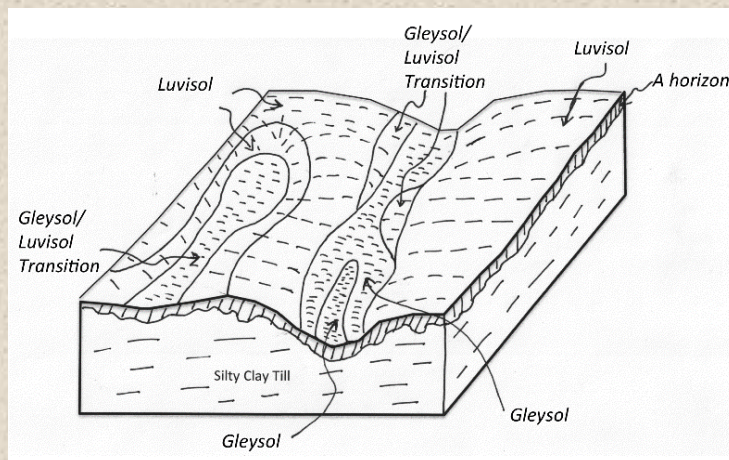


Fig. by Dan Pennock, Univ. of Saskatchewan

# I principali regimi pedogenetici: (de)carbonatazione e salinizzazione



**climi aridi e semiaridi**



**precipitazioni  $\leq$   
evapotraspirazione  
(praterie Nord America,  
savana e steppe subtropicali)**



**acqua piovana**



**infiltrazione e acidificazione**

**dissoluzione dei carbonati**  
 $\text{CaCO}_3 + \text{H}_2\text{O} + \text{CO}_2 > \text{Ca} (\text{HCO}_3)_2$

**risalita di fluidi per capillarità  
formazione di crostoni carbonatici  
(diminuzione  $\text{CO}_2$ , aumento pH o T)**

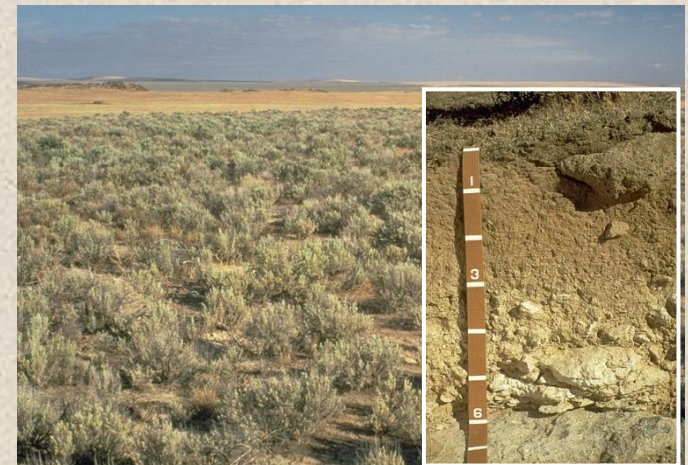
**evapotraspirazione  $>>$   
precipitazione drenaggio  
inadeguato**



**precipitazione di cloruri e solfati  
in superficie**



**vegetazione inibita**



# Classificazione dei suoli

## 1) classificazione di tipo climatico (superata!): differenze composizionali

**PEDALFER** = climi umidi, suoli acidi, lisciviazione attiva in A, accumulo di argille ed ossidi di Fe ed Al in B

**PEDOCAL** = suoli alcalini, clima secco, accumulo anche di carbonati in B

## 2) classificazioni nazionali (es. Francia, Canada, Russia, UK, Australia, USA) più moderne: clima, tessitura, roccia madre, grado di maturità (processi pedogenetici), estensione → uso del suolo

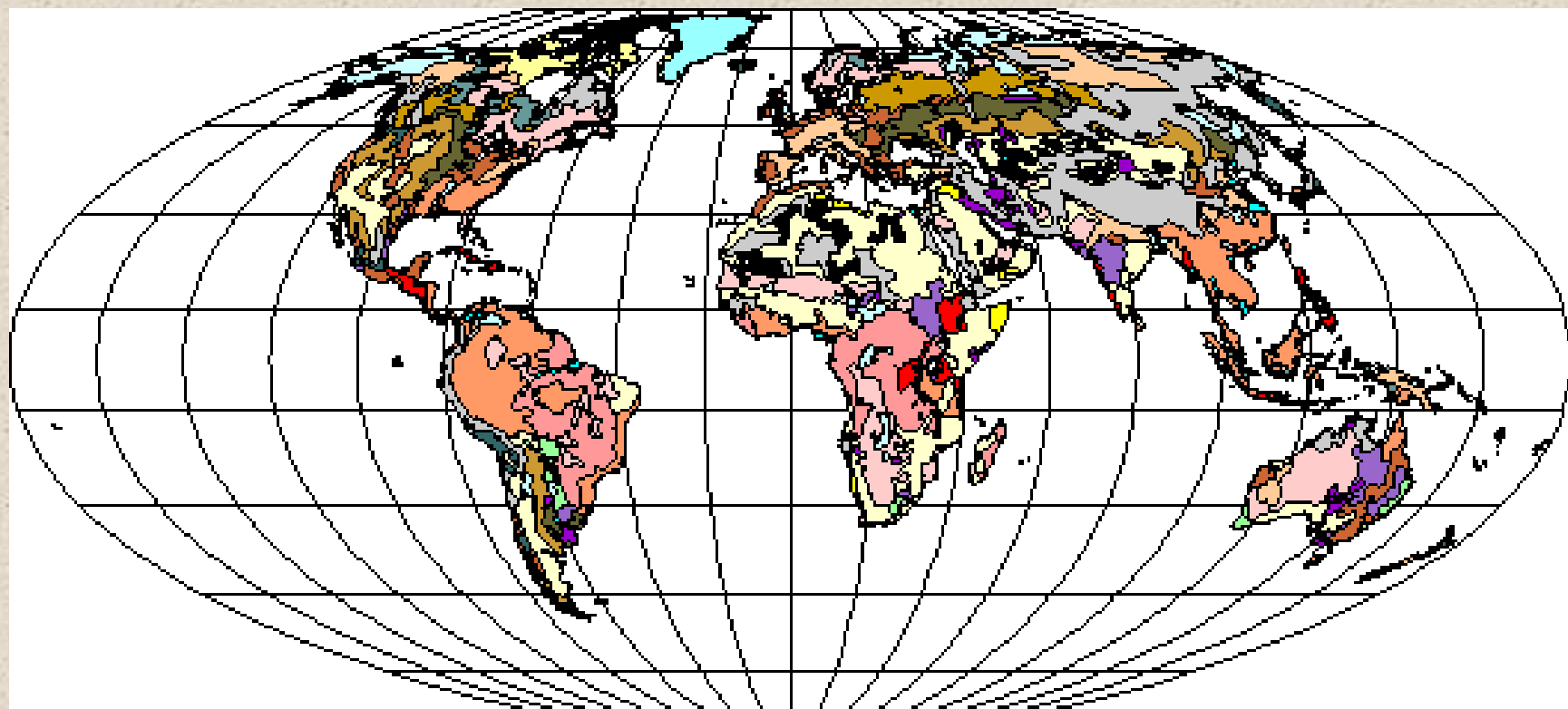
- **USDA Soil Taxonomy (1975)** del Dipartimento dell'Agricoltura degli USA: classificazione gerarchica e filogenetica (12 ordini geneticamente omogenei e successivi livelli inferiori)

## 3) **Classificazione FAO (Food and Agriculture Organization) Unesco (1961-1988)**

- Sintetica
- Rappresentabilità nella Carta dei suoli del mondo (1:5.000.000)
- 2 categorie: 25 classi nella categoria principale, aggettivo per la seconda

## 4) **Il World Reference Base for soil resources (WRB, 2006)**

## Classificazione FAO Unesco (1988)



Fluvisols, Gleysols, Cambisols (FL)	Acrisols, Alisols, Plinthosols (AC)	Luvisols, Cambisols (LV)	Andosols (AN)	Shifting Sands
Leptosols (LP)	Plinthosols (PT)	Podzols, Histosol (PZ)	Calcisols, Cambisols, Luvisols (CL)	Waterbodies
Vertisols (VR)	Gleysols, Histosols, Fluvisols (GL)	Nitosols, Andosols (NT)	Kastanozems, Soloneta (KS)	
Gypsisols, Calcisols (GY)	Arenosols (AR)	Histosols, Gleysols (HS)	Planosols (PL)	
Chernozems, Phaeozems, Greyzems (CH)	Cambisols (CM)	Glaciers	Lixisols (LX)	
Podzoluisols, Luvisols (PD)	Solonchaks, Soloneta (SC)	Regosols, Cambisols (RG)	Ferrosols, Acrisols, Nitosols (FR)	

# CLASSIFICAZIONE FAO-UNESCO DEI SUOLI (1990)

Classi	Caratteristiche principali
FLUVISUOLI	Suoli formati su depositi alluvionali recenti, con scarsa differenziazione di orizzonti
GLEYSUOLI	Suoli a profilo poco differenziato, con ristagno di acqua entro 50 cm
REGOSUOLI	Suoli poco evoluti, su materiali incoerenti, non consolidati, ma non alluvionali
LEPTOSUOLI	Suoli sottili su roccia dura coerente
ARENOSUOLI	Suoli su materiali sabbiosi grossolani con orizzonti poco differenziati
ANDOSUOLI	Suoli che si sono formati su depositi piroclastici
VERTISUOLI	Suoli molto argillosi che si fessurano in qualche periodo dell'anno
CAMBISUOLI	Suoli con orizzonte B di tipo cambico
CALCISUOLI	Suoli con orizzonte calcico e petrocalcico
GYPSISUOLI	Suoli con orizzonte gipsico o petrogipsico
SOLONCHAKS	Suoli con accumulo di sali solubili
KASTANOZEMS	Suoli castani delle steppe
CHERNOZEMS	Suoli delle praterie, con orizzonti umiferi molto spessi
PHAEZEMS	Suoli lisciviati con orizzonte superficiale ricco di humus
GREYZEMS	Suoli con orizzonte A molto scuro, che presenta rivestimenti biancastri sulla superficie degli aggregati e con orizzonte argillico
PLANOSUOLI	Suoli caratterizzati da un brusco cambiamento di tessitura lungo il profilo e da idromorfia
LUVISUOLI	Suoli con orizzonte argillico ad alta saturazione in basi
PODZOLUVISUOLI	Suoli con orizzonte argillico discontinuo per la penetrazione di lingue dell'orizzonte E
PODZOLS	Suoli con orizzonte B di tipo spodico
LIXISUOLI	Suoli in cui l'orizzonte argillico è costituito da argille a bassa capacità di scambio
ACRISUOLI	Suoli con orizzonte argillico a bassa saturazione in basi ed argille a bassa capacità di scambio
ALISUOLI	Suoli con orizzonte argillico a bassa saturazione in basi ed argille ad alta capacità di scambio
NITOSUOLI	Suoli in cui la % di argilla non decresce sensibilmente con la profondità entro 150 cm
FERRALSUOLI	Suoli che contengono meno del 10% di minerali alterabili nell'orizzonte B
PLINTOSUOLI	Suoli che contengono plintite in qualche orizzonte entro 50 cm dalla superficie
HISTOSUOLI	Suoli organici
ANTROSUOLI	Suoli che sono stati profondamente modificati dall'uomo



# World reference base for soil resources 2014

International soil classification system  
for naming soils and creating legends for soil maps

Update 2015



#### 4) Il World Reference Base for soil resources (WRB, 2006)

In collaborazione tra FAO e *International Soil Reference and Information Centre (ISRIC)*; ha sostituito la precedente classificazione dei suoli FAO Unesco.

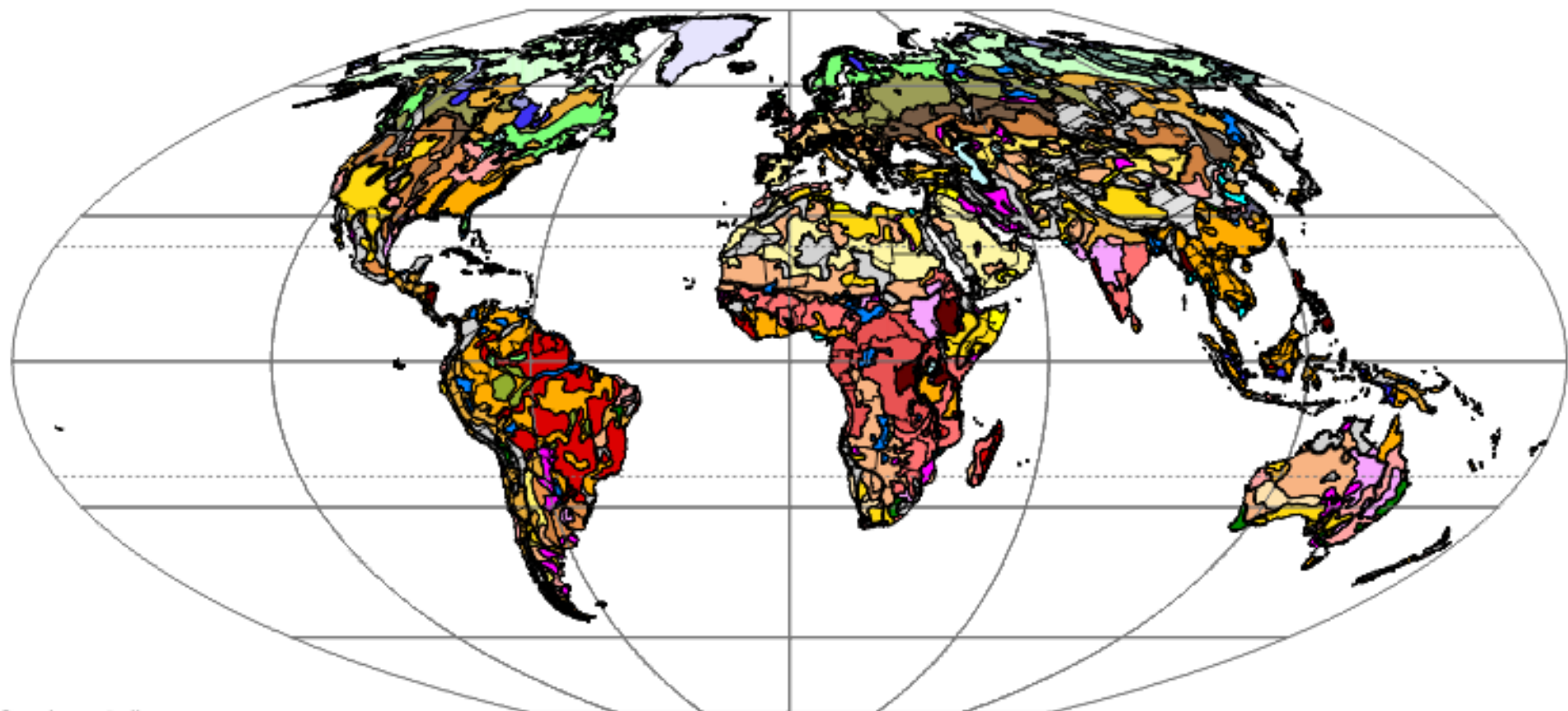
Gli obiettivi sono:

- sviluppare un sistema internazionalmente accettabile per delineare la risorsa suolo, usando come struttura la Legenda FAO Unesco
- fornire tale struttura di una consistente base scientifica
- riconoscere entro la struttura, importanti relazioni spaziali di suoli e di orizzonti di suoli caratterizzati da sequenze caratteristiche;
- enfatizzare la caratterizzazione morfologica dei suoli.

2 livelli di dettaglio categorico:

- 1) la “base di riferimento” (Reference Base), limitata solo al primo livello, con **32 gruppi pedologici di riferimento**;
- 2) le “unità di suolo di riferimento” (WRB Classification System), un secondo livello, che consiste in **combinazioni di un gruppo di prefissi qualificatori**, che vengono aggiunti ai gruppi pedologici di riferimento, e che consentono una caratterizzazione e classificazione molto precisa di profili di suolo individuali.

# WORLD SOIL RESOURCES



## Dominant Soils

- Acrisols, Alisols, Plinthosols (AC)
- Albeluvisols, Luvisols (AB)
- Andosols (AN)
- Anthrosols (AT)
- Arenosols (AR)
- Calcisols, Cambisols, Luvisols (CL)
- Calcisols, Regosols, Arenosols (CA)
- Cambisols (CM)
- Waterbodies
- Steep lands
- Limit of aridity
- Country boundaries

- Chernozems, Phaeozems (CH)
- Cryosols (CR)
- Durisols (DU)
- Ferralsols, Acrisols, Nitisols (FR)
- Fluvisols, Gleysols, Cambisols (FL)
- Gleysols, Histosols, Fluvisols (GL)
- Gypsisols, Calcisols (GY)
- Histosols, Cryosols (HR)

- Histosols, Gleysols (HS)
- Kastanozems, Solonetz (KS)
- Leptosols, Regosols (LP)
- Leptosols, Cryosols (LR)
- Lixisols (LX)
- Luvisols, Cambisols (LV)
- Nitisols (NT)
- Phaeozems (PH)

- Planosols (PL)
- Plinthosols (PT)
- Podzols, Histosols (PZ)
- Regosols (RG)
- Solonchaks, Solonetz (SC)
- Umbrisols (UM)
- Vertisols (VR)
- Glaciers (gl)

TABLE 2

**Simplified guide to the WRB Reference Soil Groups (RSGs) with suggested codes**

Note – this table is not to be used as a key. For full definitions, please refer to Chapter 3 and the Key (Chapter 4).

	RSG	Code
<b>1. Soils with thick organic layers:</b>	Histosols	HS
<b>2. Soils with strong human influence –</b>		
With long and intensive agricultural use:	Anthrosols	AT
Containing significant amounts of artefacts:	Technosols	TC
<b>3. Soils with limitations to root growth –</b>		
Permafrost-affected:	Cryosols	CR
Thin or with many coarse fragments:	Leptosols	LP
With a high content of exchangeable Na:	Solonetz	SN
Alternating wet-dry conditions, shrink-swell clays:	Vertisols	VR
High concentration of soluble salts:	Solonchaks	SC
<b>4. Soils distinguished by Fe/Al chemistry –</b>		
Groundwater-affected, underwater and in tidal areas:	Gleysols	GL
Allophanes or Al-humus complexes:	Andosols	AN
Subsoil accumulation of humus and/or oxides:	Podzols	PZ
Accumulation and redistribution of Fe:	Plinthosols	PT
Low-activity clay, P fixation, many Fe oxides, strongly structured:	Nitisols	NT
Dominance of kaolinite and oxides:	Ferralsols	FR
Stagnating water, abrupt textural difference:	Planosols	PL
Stagnating water, structural difference and/or moderate textural difference:	Stagnosols	ST

---

**5. Pronounced accumulation of organic matter in the mineral topsoil –**

Very dark topsoil, secondary carbonates:	Chernozems	CH
Dark topsoil, secondary carbonates:	Kastanozems	KS
Dark topsoil, no secondary carbonates (unless very deep), high base status:	Phaeozems	PH
Dark topsoil, low base status:	Umbrisols	UM

---

**6. Accumulation of moderately soluble salts or non-saline substances –**

Accumulation of, and cementation by, secondary silica:	Durisols	DU
Accumulation of secondary gypsum:	Gypsisols	GY
Accumulation of secondary carbonates:	Calcisols	CL

---

**7. Soils with clay-enriched subsoil –**

Interfingering of coarser-textured, lighter coloured material into a finer-textured, stronger coloured layer:	Retisols	RT
Low-activity clays, low base status:	Acrisols	AC
Low-activity clays, high base status:	Lixisols	LX
High-activity clays, low base status:	Alisols	AL
High-activity clays, high base status:	Luvissols	LV

---

---

**8. Soils with little or no profile differentiation –**

Moderately developed:	Cambisols	CM
Sandy:	Arenosols	AR
Stratified fluvial, marine and lacustrine sediments:	Fluvisols	FL
No significant profile development:	Regosols	RG

---

