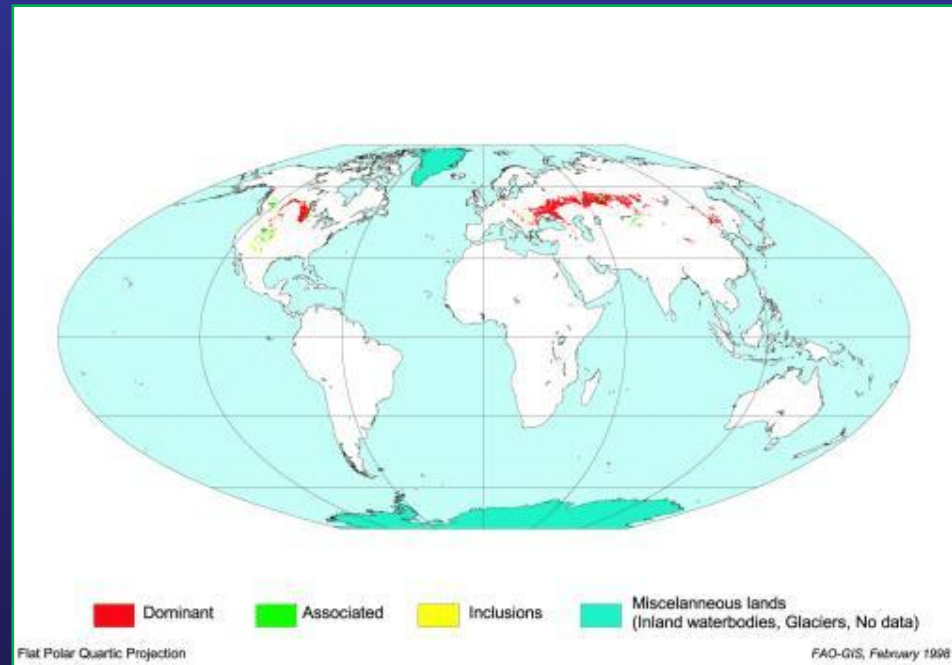


La nascita della scienza del suolo

Il geologo e naturalista russo Vasily Vasili'evich Dokuchaev pubblica le sue ricerche sulla "Terra nera russa" (1883) ed è per questo considerato il fondatore della pedologia.



Milyukovo 1846-San Pietroburgo 1903

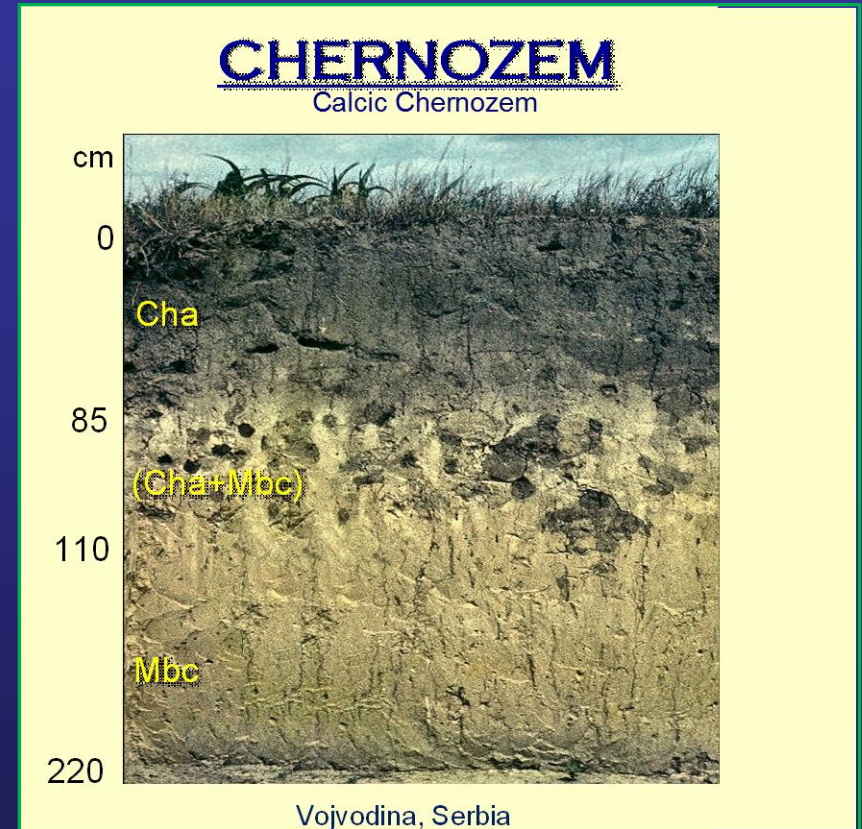


Nella sua opera Dokuchaev tratta della distribuzione geografica dei *chernozem* e delle ragioni della loro fertilità; ma soprattutto presenta una teoria innovativa sulla loro formazione.

La nascita della scienza del suolo

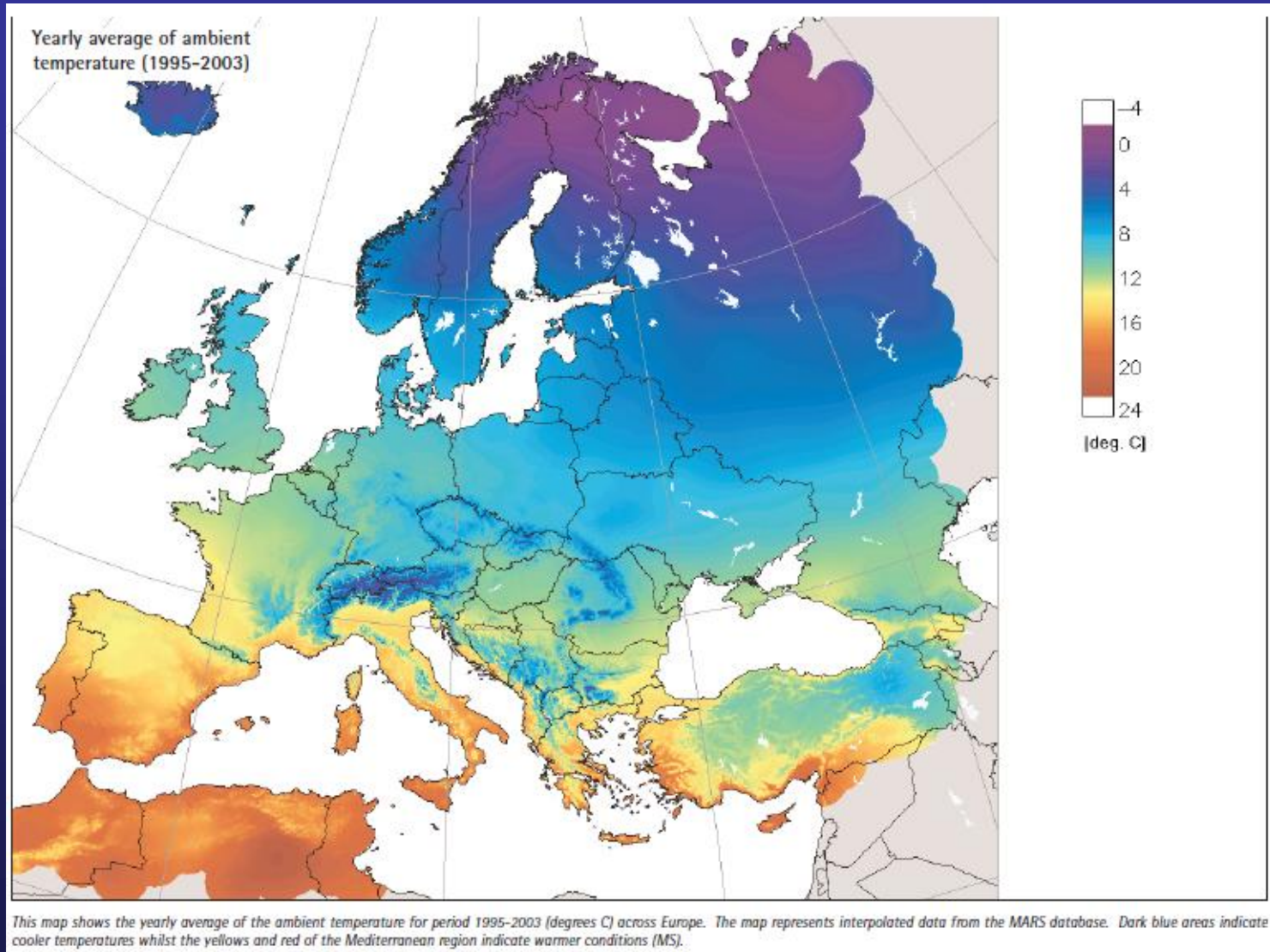
Secondo la sua visione moderna, Dokuchaev non considera il suolo il prodotto del disfacimento fisico-chimico delle rocce da cui le piante derivano i nutrienti, ma un corpo naturale complesso, sede di numerosi processi e soggetto ad un dinamismo evolutivo.

Il suolo non è roccia madre, ma da essa deriva per azione dei fattori della pedogenesi: clima, vegetazione, morfo-rilievo, materiale parentale, tempo.



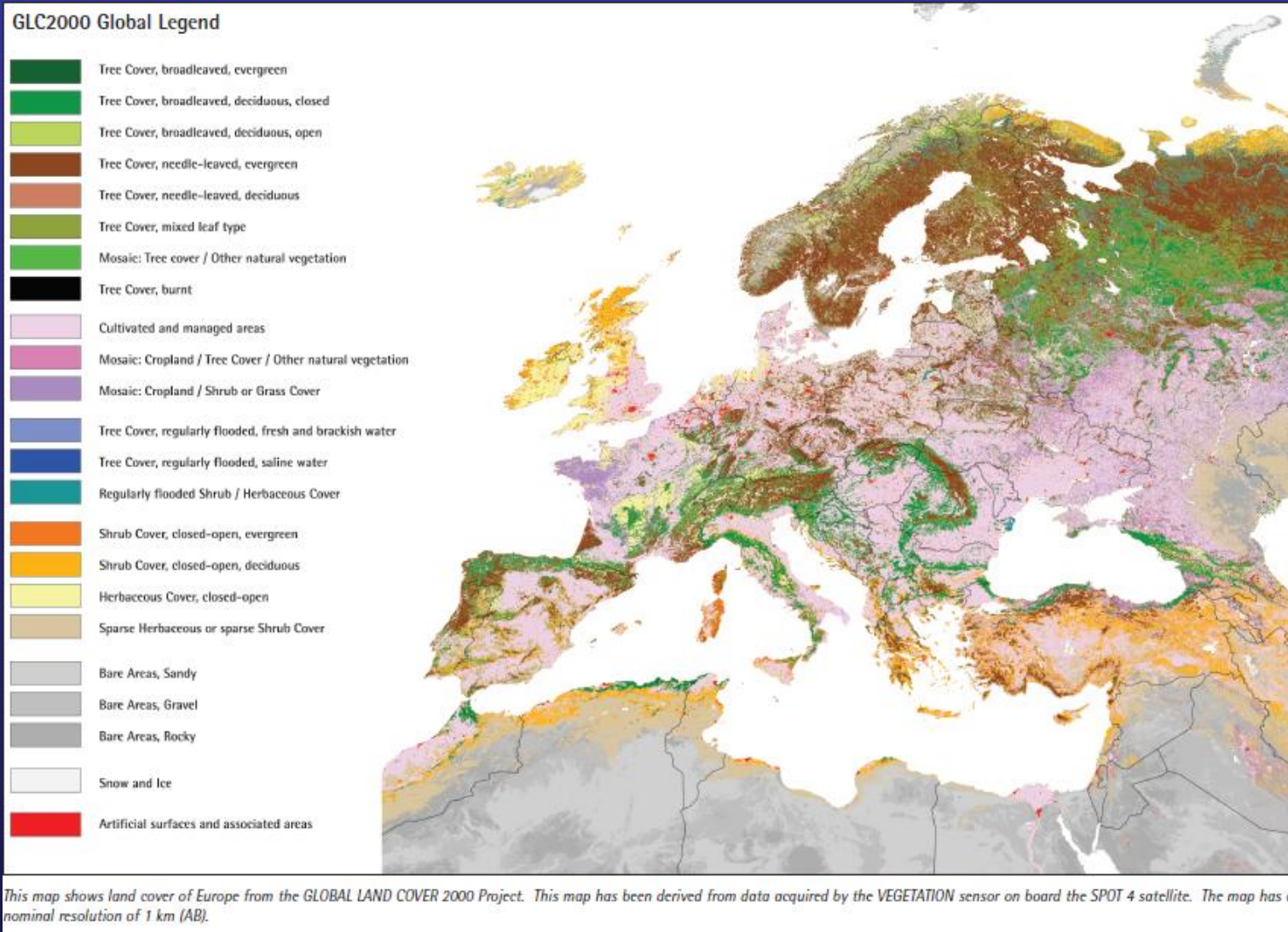
Dokuchaev diede particolare enfasi al ruolo del clima.

La nascita della scienza del suolo

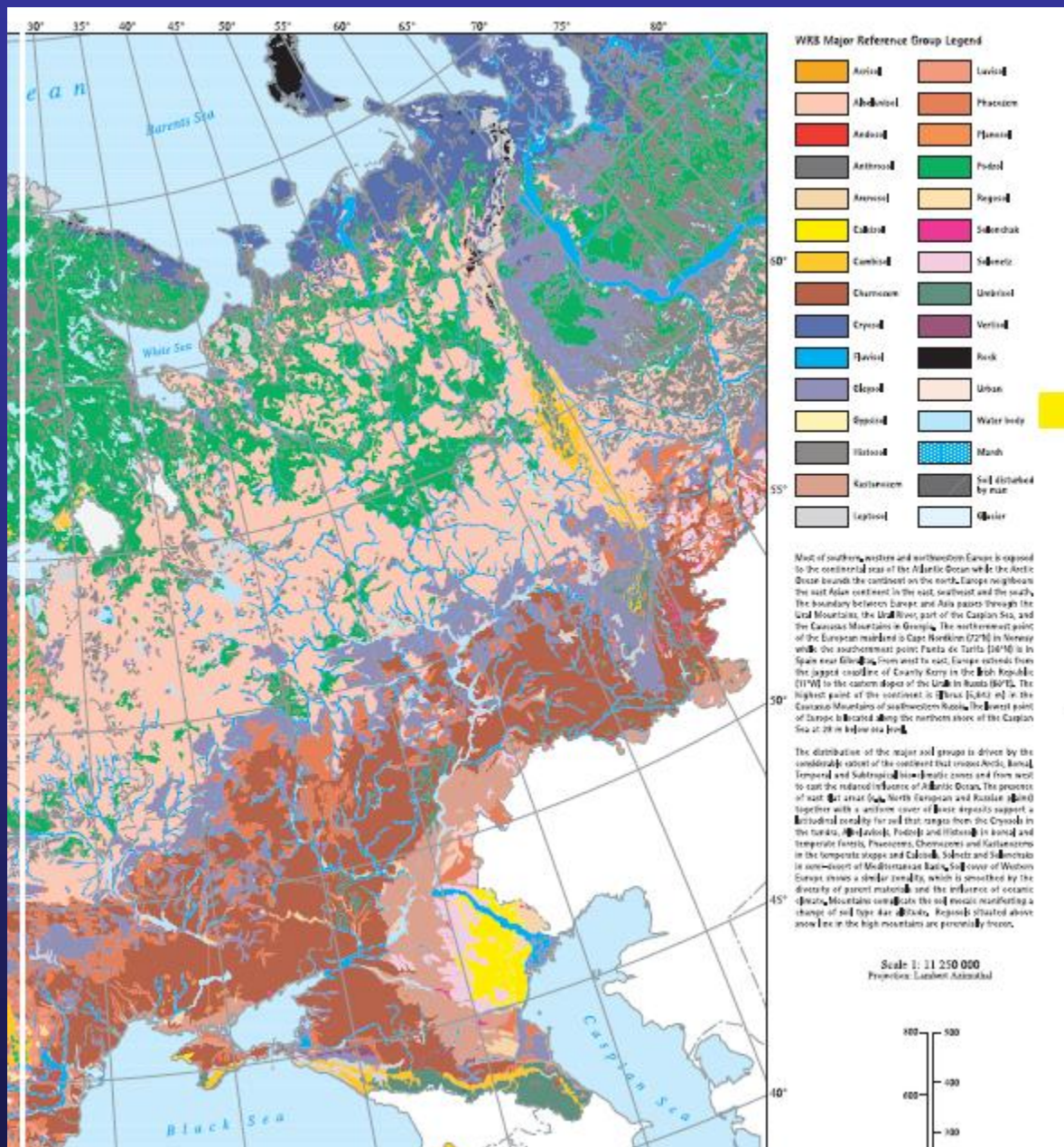


Dokuchaev intuì che dalla foresta boreale siberiana ai deserti del Mar Caspio si distinguono fasce climatiche diverse

La nascita della scienza del suolo



Alle fasce climatiche corrispondono altrettante fasce vegetazionali

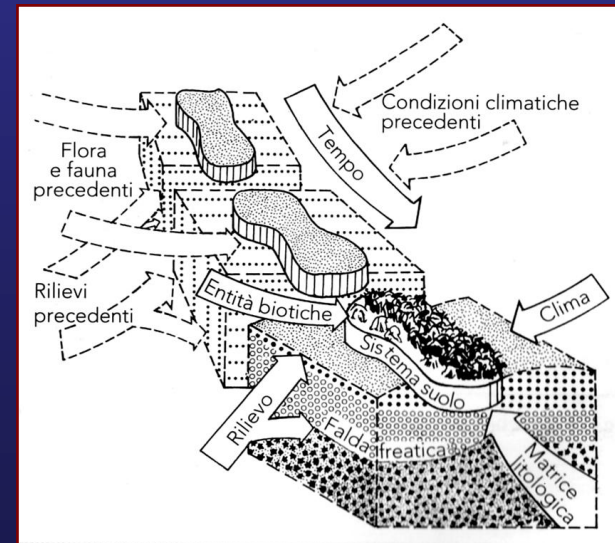


Alla zonalità bioclimatica corrisponde una zonalità pedologica

I fattori della formazione del suolo

I fattori della formazione del suolo così come li ha successivamente codificati lo scienziato svizzero Hans Jenny (1941) possono definirsi "fattori di stato", cioè le condizioni ambientali che determinano lo sviluppo e le proprietà caratteristiche di un suolo nella sua dinamica evolutiva. Essi sono:

- la matrice litologica (rm)
- il clima (cl)
- la geomorfologia (r)
- le entità biotiche (bio)
- il tempo (t)
- l'azione antropica (u)



$$\text{Suolo} = f(\text{cl}, \text{rm}, \text{r}, \text{bio}, \text{t}, \text{u})$$

I fattori della formazione del suolo

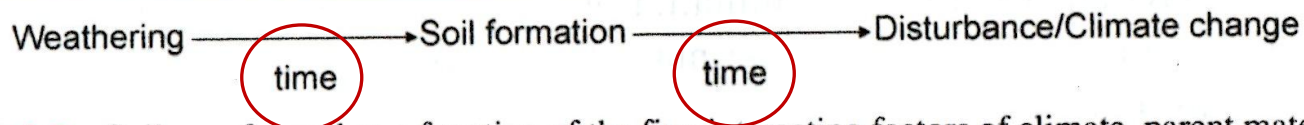
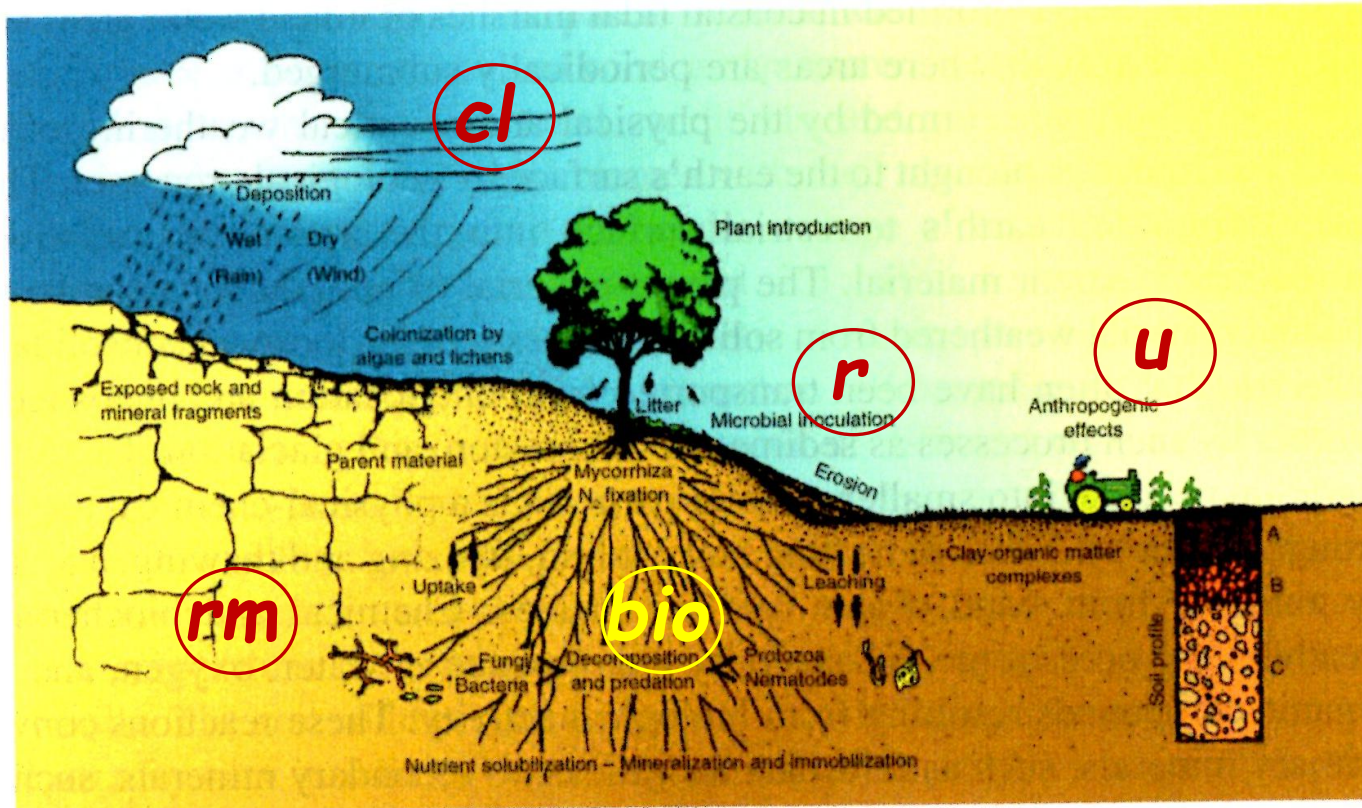


FIG. 2.2 Soils are formed as a function of the five interacting factors of climate, parent material, topography, organisms, and time. Human activities have altered soil formation and promoted soil degradation through cultivation and cropping (from Paul and Clark, 1996).

I fattori della formazione del suolo.

1. La roccia madre

È il più ovvio fattore di pedogenesi.

Per roccia madre si intende qualsiasi tipo di materiale minerale, coerente o incoerente, inalterato o alterato in una fase pedogenetica passata, che ha contribuito a formare il suolo.

Non necessariamente la roccia madre è lo stesso materiale che si ritrova, inalterato, alla base del profilo, o non necessariamente è solo esso.

Le caratteristiche che hanno particolare influenza sulla pedogenesi sono:

- La coerenza: determina la velocità di alterazione/disgregazione
- La tessitura della rm che si riflette su quella del suolo
- La composizione mineralogica: determina sia le caratteristiche chimiche del suolo, sia il decorso della pedogenesi

I fattori della formazione del suolo.

2. Il clima

Il clima consiste essenzialmente nell'andamento stagionale di due componenti: la precipitazione e la temperatura che insieme determinano la quantità di acqua disponibile per la pedogenesi.

Il clima controlla la velocità di pedogenesi sia direttamente, dilavando e scaldando il suolo, sia indirettamente, dettando il tipo di vegetazione e modellando il paesaggio tramite l'erosione.

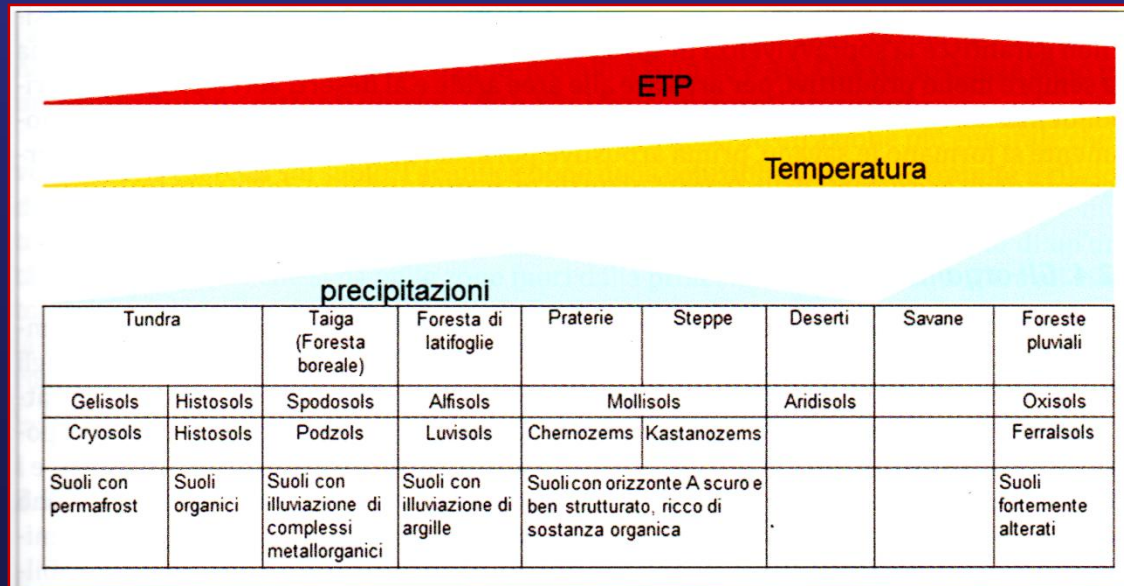


FIGURA 2.3. Andamento schematico di temperatura, piovosità e evapotraspirazione potenziale (ETP) al crescere della latitudine nell'emisfero Boreale. Relazioni con ecosistemi e principali tipi di suolo (nomi secondo la classificazione USDA Soil Taxonomy e il WRB).

I fattori della formazione del suolo.

2. Il clima

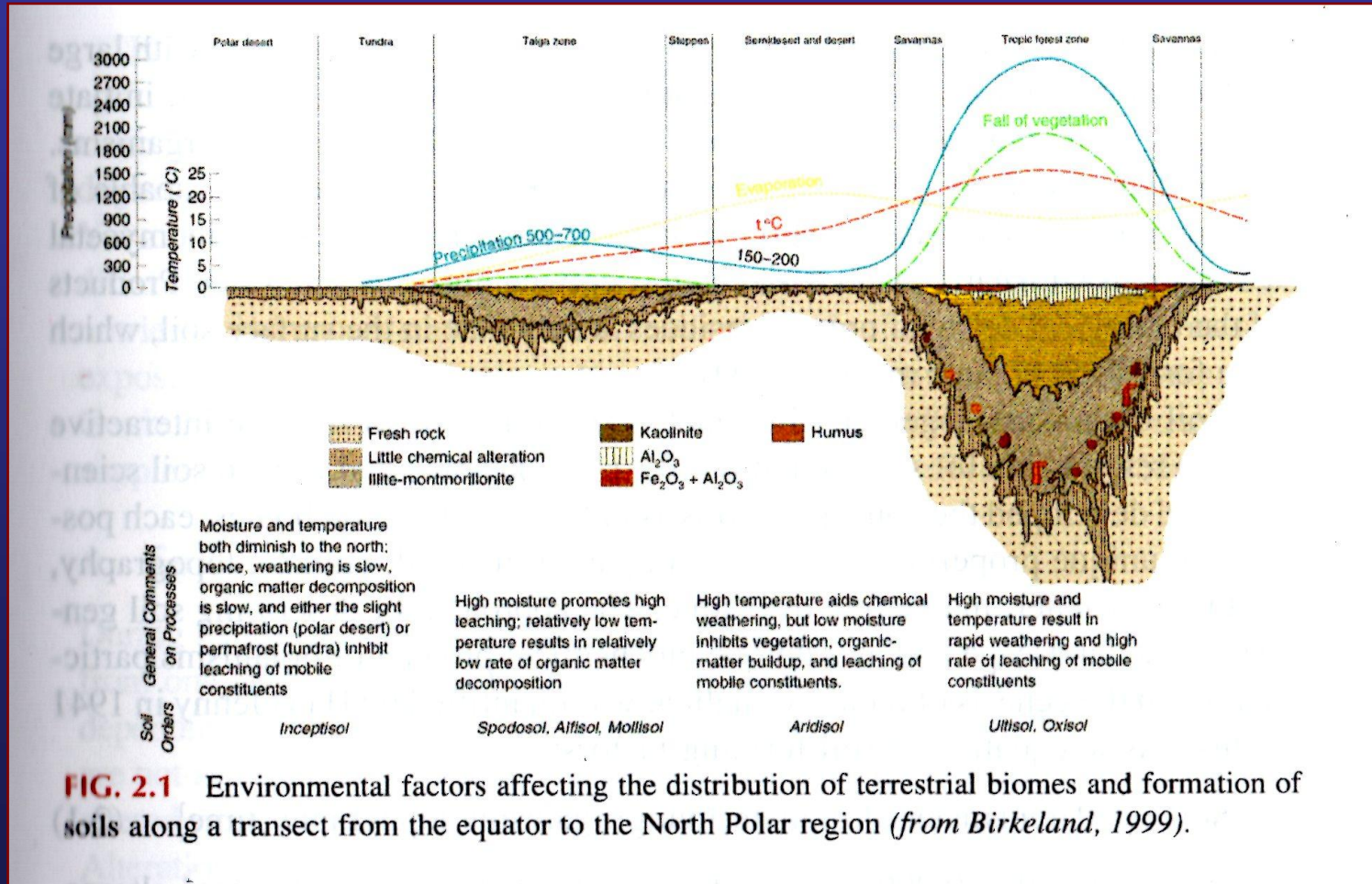


FIG. 2.1 Environmental factors affecting the distribution of terrestrial biomes and formation of soils along a transect from the equator to the North Polar region (from Birkeland, 1999).

I fattori della formazione del suolo.

3. Il morforilievo

La situazione topografica della superficie su cui si forma il suolo è un fattore che condiziona fortemente le caratteristiche del suolo stesso, soprattutto attraverso la distribuzione del materiale e dell'energia apportati dagli agenti atmosferici.

Elementi del morforilievo sono:

- ✓ esposizione
- ✓ pendenza
- ✓ latitudine
- ✓ altitudine
- ✓ distanza dal mare
- ✓ posizione del suolo lungo la pendice (sommitale, fianco, base)

I fattori della formazione del suolo.

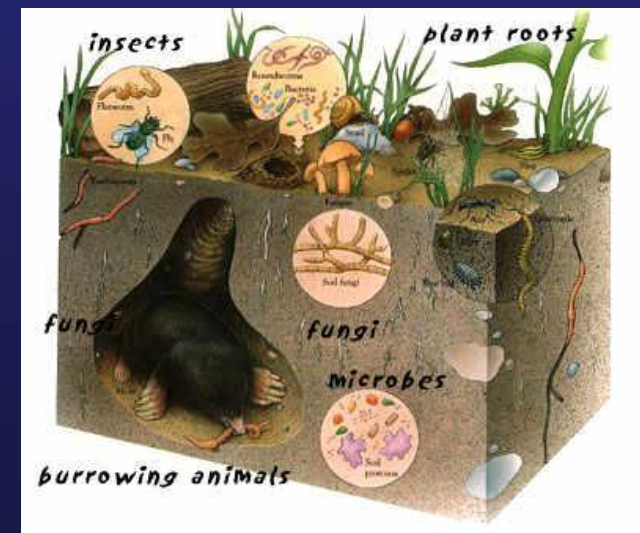
4. Le entità biotiche

Gli organismi viventi influenzano le caratteristiche del suolo e promuovono la pedogenesi in maniera diversificata, agendo:

- sulla alterazione chimica e sulla disgregazione dei minerali e
- sulla produzione e degradazione della sostanza organica.

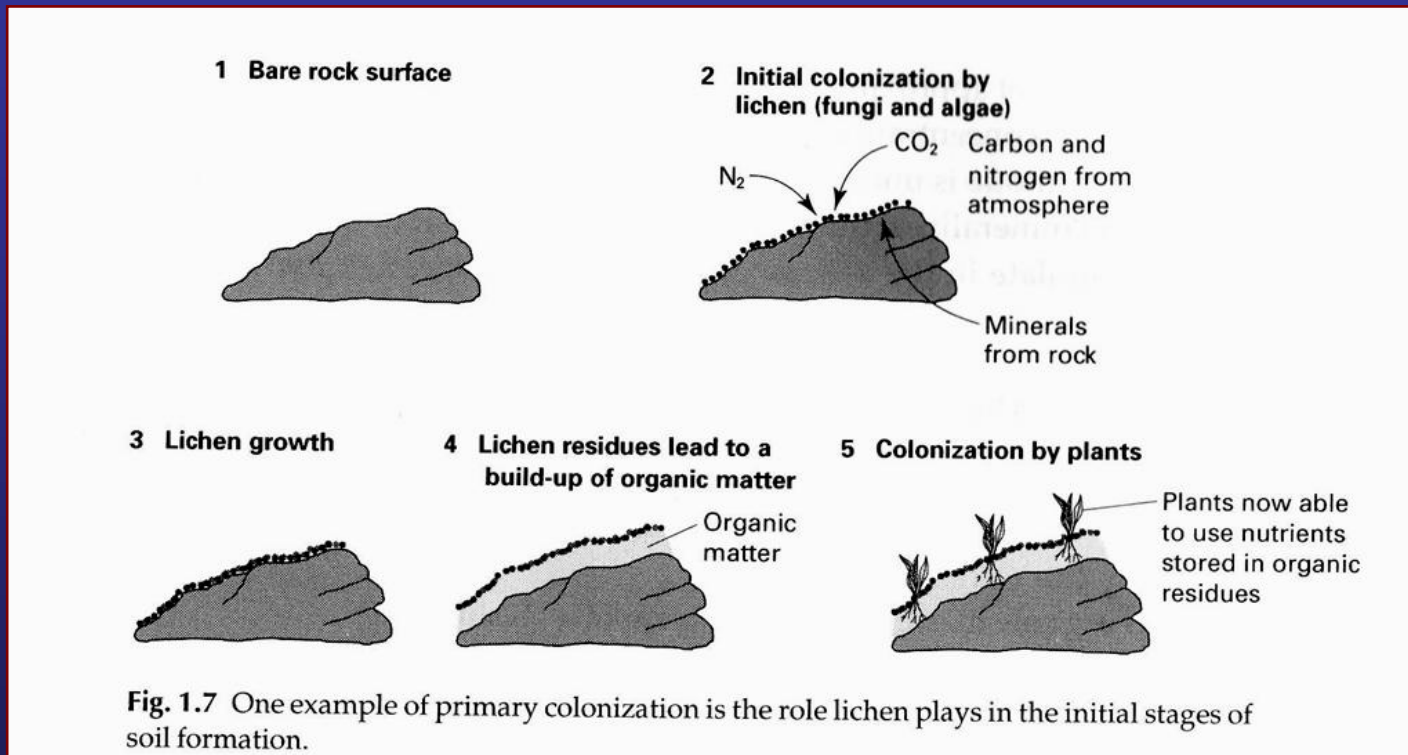
Le zone a più elevata densità biologica (dette *hot spots*), caratterizzate da disponibilità di O_2 e di lettiera, costituiscono non più del 5% del volume totale del suolo e sono rappresentate soprattutto:

- ✓ dall'orizzonte organico (O) e
- ✓ dalla rizosfera.



I fattori della formazione del suolo.

4. Le entità biotiche



La colonizzazione primaria della roccia madre inizia con la crescita degli organismi autotrofi

I fattori della formazione del suolo.

4. Le entità biotiche

Licheni e muschi	Alterazione fisica e chimica delle rocce nelle prime fasi di pedogenesi, chelazione degli elementi metallici tramite emissione di acidi organici a basso peso molecolare, intrappolamento ed accumulazione della polvere atmosferica, apporto di sostanza organica.
Alghe	Alterazione fisica e chimica delle rocce nelle prime fasi di pedogenesi, organizzazione dell'azoto atmosferico, rilascio di gusci silicei (es. diatomee).
Erbe	Apporto di sostanza organica, rilascio di idrogenioni, protezione dall'erosione idrica ed eolica, produzione di fitoliti (particelle di opale accumulate nei vacuoli cellulari).
Alberi	Apporto di sostanza organica alla superficie (foglie, frutti, biomassa legnosa) e in profondità (radici), rilascio di idrogenioni, trasporto alla superficie di nutrienti prelevati in profondità, redistribuzione delle piogge tramite intercettazione con la chioma e deflusso preferenziale attraverso il tronco e le radici, captazione dei raggi solari, rimescolamento in occasione dei crolli, fratturazione della roccia compatta tramite le radici.
Grossi mammiferi	Compattazione per frequente passaggio o stazionamento, escavazione e rimescolamento, fertilizzazione organica e ammoniacale.
Mammiferi escavatori	Escavazione e rimescolamento, creazione di rilievi in superficie e di vie preferenziali di deflusso dell'acqua (gallerie), trasporto di materiale organico in profondità, fertilizzazione organica e ammoniacale.
Rettili e anfibi	Rimescolamento degli orizzonti superficiali per creare tane, fertilizzazione organica e ammoniacale.
Uccelli	Fertilizzazione organica e ammoniacale. Creazione di spessi depositi di guano alla superficie di zone aride.
Artropodi	Frammentazione e parziale degradazione chimica della lettiera. Rimescolamento della parte superficiale del suolo.
Anellidi	Frammentazione e parziale degradazione chimica della lettiera, incorporazione della sostanza organica nella matrice minerale, creazione della macrostruttura, creazione di microrilievi alla superficie e di una fitta rete di gallerie.
Protozoi e nematodi	Predazione dei microrganismi e riciclo dei nutrienti immobilizzati in essi.
Microorganismi (funghi e batteri)	Mineralizzazione della sostanza organica e liberazione dei nutrienti minerali, fissazione dell'azoto elementare in forma organica, formazione dell'humus, creazione della microstruttura.

I fattori della formazione del suolo.

4. Le entità biotiche

Caratteristica	Praterie montane	Foreste di conifere
Orizzonte O	sottile	spesso
Orizzonte A	spesso	sottile
Orizzonte E	assente	spesso presente
Tipo di orizzonte B	Bw	Bhs, Bs o Bt
pH	neutro	acido
Saturazione in basi	alta	bassa
Rapporto C/N	basso	alto

Confronto tra alcune caratteristiche di suoli maturi di praterie montane e di foreste di conifere contigue

I fattori della formazione del suolo.

5. Il tempo

Il tempo non opera direttamente sulla formazione del suolo, ma è l'indispensabile fattore senza il quale gli altri non possono agire.

Le varie caratteristiche del suolo cambiano con velocità diverse. Variano più rapidamente:

- il contenuto di sostanza organica, di sali solubili, la struttura, il pH, il colore.

Sono invece processi piuttosto lenti:

- l'alterazione dei minerali primari e la formazione di quelli secondari, specie quelli argillosi.

Sono necessari:

- meno di 500 anni per la formazione di un orizzonte A
- da 1000 a 3000 anni per un orizzonte B_w
- da 100.000 a 1.000.000 anni per un orizzonte B_t e B_o

I fattori della formazione del suolo.

5. Il tempo

In base alla loro evoluzione - e non alla loro età - si distinguono suoli giovani, maturi e senili.

La "fine" della pedogenesi è il raggiungimento dell'equilibrio dinamico, in cui gli orizzonti non si sviluppano oltre e gli apporti di energia e materia al suolo corrispondono alle uscite. Tuttavia è una situazione più ipotetica che reale.

In alcuni suoli tropicali la pedogenesi è talmente aggressiva e lunga che tutti i minerali che potevano essere dissolti lo sono stati e gli unici rimasti sono quelli praticamente inalterabili, quali quarzo e gli ossidi di Al, Fe e Mn.

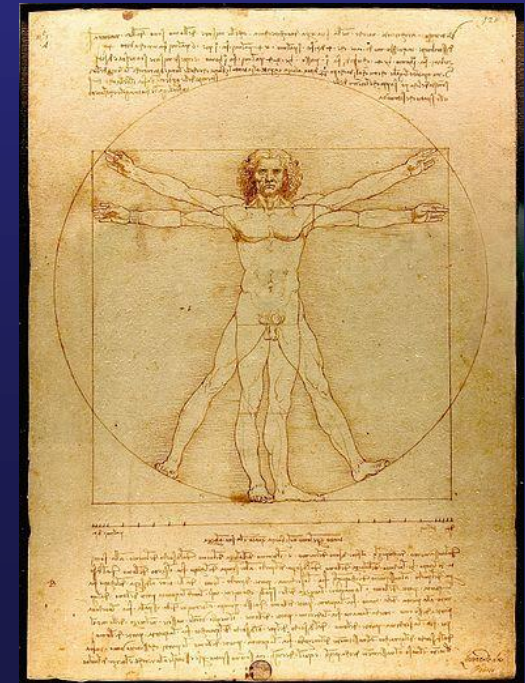
I fattori della formazione del suolo.

6. Il fattore antropico

L'uomo è un potente ed indisturbato agente di rimodellamento del territorio. Nel corso dell'Antropocene il suo impatto sui comparti dell'ecosistema terrestre ha avuto un'intensità crescente, amplificato dall'enorme crescita demografica.

Le pratiche che, direttamente o indirettamente, agiscono sulla pedogenesi sono:

- Deforestazione
- Pascolamento eccessivo
- Urbanizzazione
- Apertura di cave e discariche
- Utilizzazione di combustibili fossili



I suoli antropogenici

I "suoli antropogenici" sono quelli che derivano la loro formazione da alterazioni antropiche della normale evoluzione del suolo verso un equilibrio apparente non esclusivamente determinato dai fattori naturali "in situ" della pedogenesi.

Le pratiche umane e/o i nuovi materiali resi disponibili come substrato pedogenetico portano ad una decisiva variazione del materiale parentale, della frazione organica e dei componenti inorganici rispetto alle condizioni originarie o del suolo indisturbato.

I suoli antropogenici

I suoli antropogenici comprendono:

1. Suoli ricostruiti con materiale organico o minerale "non-suolo"
2. Suoli integrati con fasi minerali alloctone incorporate negli o stratificate sugli orizzonti superficiali
3. Suoli in cui lavorazioni profonde hanno portato alla ripresa della roccia madre o della parte profonda del regolite
4. Suoli di aree soggette a drastiche azioni di scavo e riporto
5. Suoli terrazzati, gradonati o sistemati con opere di ingegneria naturalistica
6. Suoli sommersi e suoli a drenaggio interno impedito o alterato artificialmente
7. Suoli integrati con biomasse per la biodepurazione di sostanze inquinanti

5. ANTHROSOLS

These are soils with an upper horizon created by human activity mainly through the addition of material. They have the the following six horizons:

hortic horizon - horton

plaggic horizon - plaggon

terric horizon - terron

irragric horizon - irragon

anthraquic horizon - anthraquon

hydragric horizon -hydragron

hard setting - furton

The selected profile is a Plaggic Anthrosol from Belgium. It shows a deep cultivated plaggic horizon that has accumulated over a period of many years. This horizon incorporates the upper horizons of the original Podzol. In these upper horizons there are usually many artifacts. A bone fragment from a similar soil is shown in the next image.

cm

0

15

65

80

120



I fattori della formazione del suolo.

Altri fattori naturali.

Sono stati recentemente proposti altri fattori naturali di pedogenesi che, sebbene presenti occasionalmente, la loro azione può essere di notevole importanza stagionale.

Essi sono:

- il fuoco
- il terremoto
- l'attività vulcanica
- le meteoriti



I fattori della formazione del suolo

Negli anni '70, l'olandese Schelling ed il russo Gerasimov proposero indipendentemente uno schema in cui i fattori di stato determinano le caratteristiche di un suolo *non direttamente*, ma *attraverso i processi di pedogenesi*, che costituiscono gli effettivi agenti della formazione del suolo

Fattori di stato



Processi di
pedogenesi



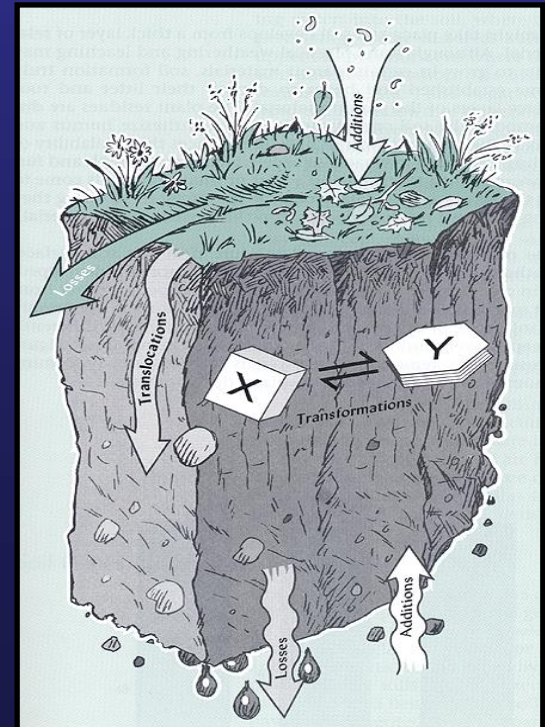
Caratteristiche
del suolo

I processi di formazione del suolo

I *processi pedogenetici* sono insiemi di fenomeni fisici e reazioni chimiche e biochimiche che concorrono a formare il suolo a partire dalla roccia madre o da un suolo preesistente. E' raro che un processo pedogenetico agisca in via esclusiva: quasi sempre operano combinazioni di processi che contribuiscono alla formazione di un suolo.

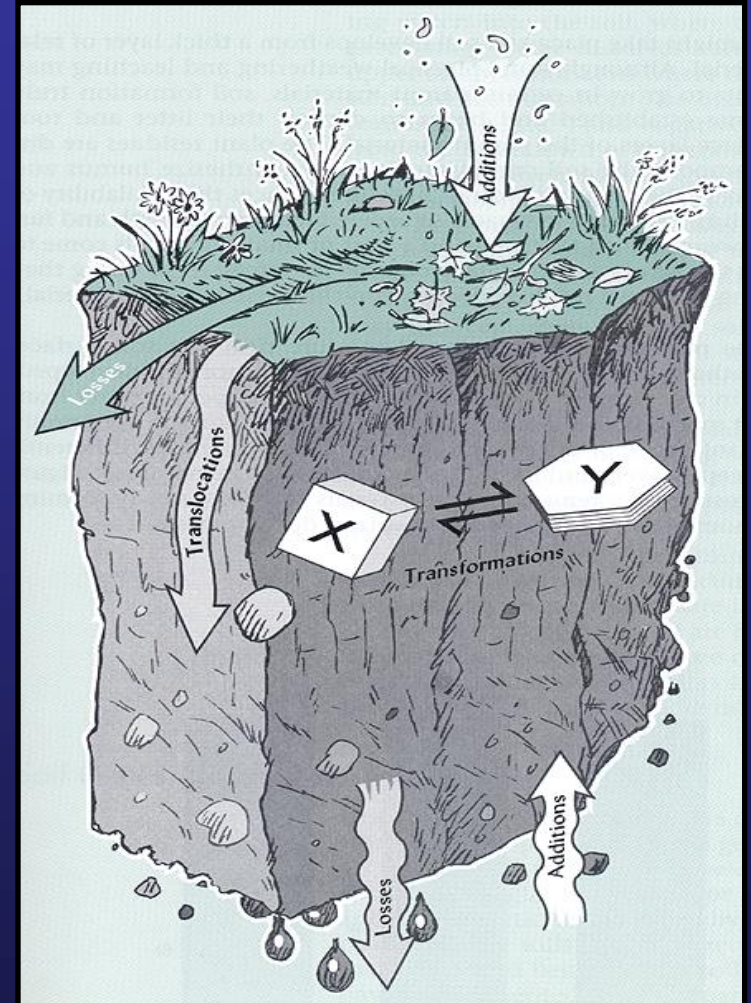
I principali processi pedogenetici sono:

- l'addizione
- la traslocazione
- la trasformazione
- la rimozione di materiali organici ed inorganici



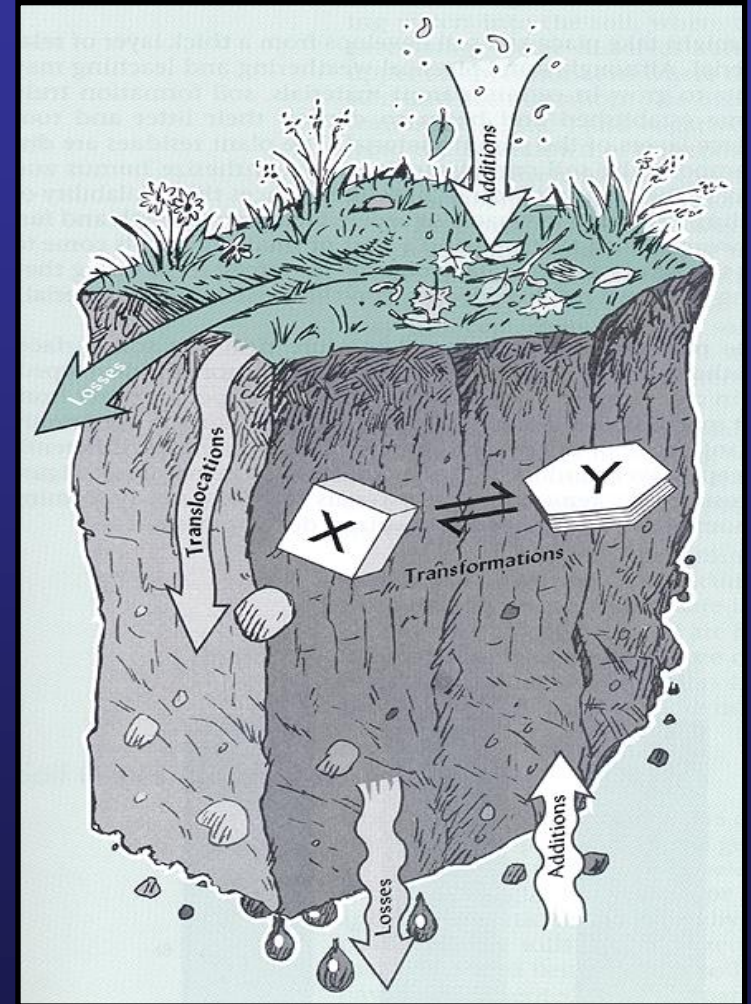
Processi pedogenetici di base

PROCESSO	TIPO DI PROCESSO	DESCRIZIONE SINTETICA
Eluviazione	Traslocazione	Impoverimento ed uscita di materiali da una parte del profilo
Illuviazione	Traslocazione	Arricchimento ed ingresso di materiali in una parte del profilo
Lisciviazione	Rimozione	Dilavamento o trasporto di soluti fuori dal regolite
Arricchimento	Addizione	Aggiunta di materiali al corpo suolo o aumento della loro concentrazione residuale
Erosione	Rimozione	Rimozione fisica di materiali dagli orizzonti superficiali
Cumulizzazione	Addizione	Accumulo eolico o idrico di materiali sulla superficie del suolo
Decalcitazione	Traslocazione	Dissoluzione e rimozione di CaCO_3 da uno o più orizzonti (detto anche processo di decarbonatazione)



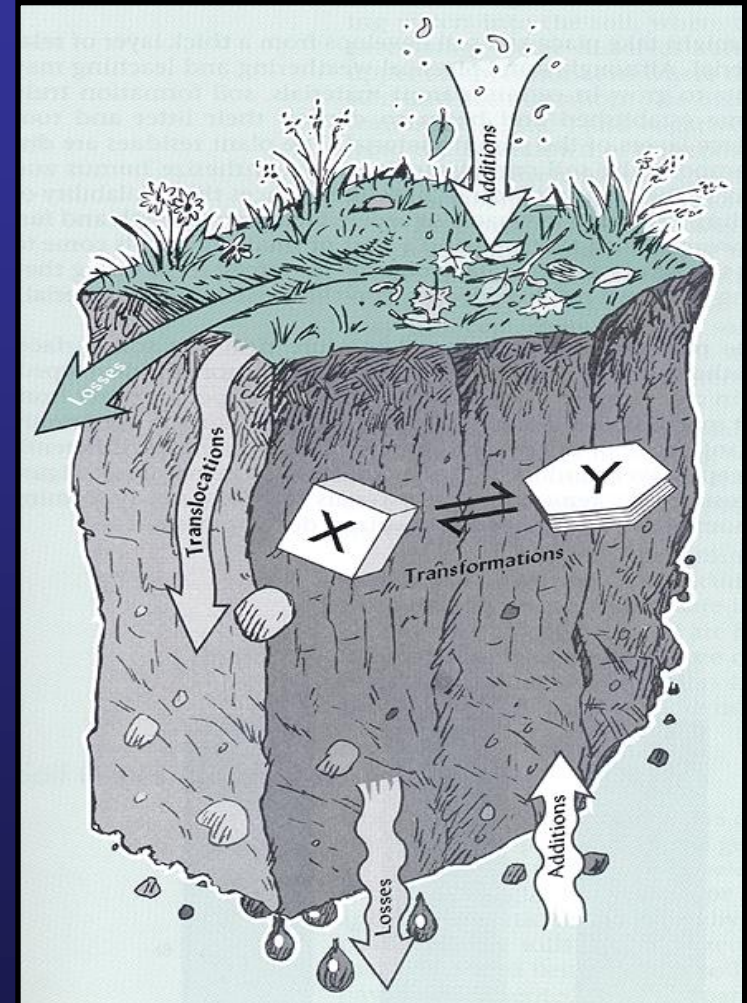
Processi pedogenetici di base

PROCESSO	TIPO DI PROCESSO	DESCRIZIONE SINTETICA
Calcitazione	Traslocazione	Precipitazione di CaCO_3 in uno o più orizzonti sottostanti un orizzonte di decalcitazione (detto anche processo di carbonatazione)
Salinizzazione	Traslocazione	Accumulo di sali più solubili del CaCO_3 in uno o più orizzonti
Desalinizzazione	Traslocazione	Dissoluzione e rimozione di sali più solubili del CaCO_3 in uno o più orizzonti
Alchilazione	Traslocazione	Saturazione del complesso di scambio di un orizzonte con Na
Dealchilazione	Traslocazione	Desaturazione e lisciviazione di Na da orizzonti saturi
Lessivage	Traslocazione	Trasporto meccanico di argille da un orizzonte A (o E) un orizzonte B di accumulo
Pedoturbazione	Traslocazione	Rimescolamento ad opera di agenti biotici (bioturbazione), fisici (crioturbazione), climatico-mineralogici (vertisolizzazione)



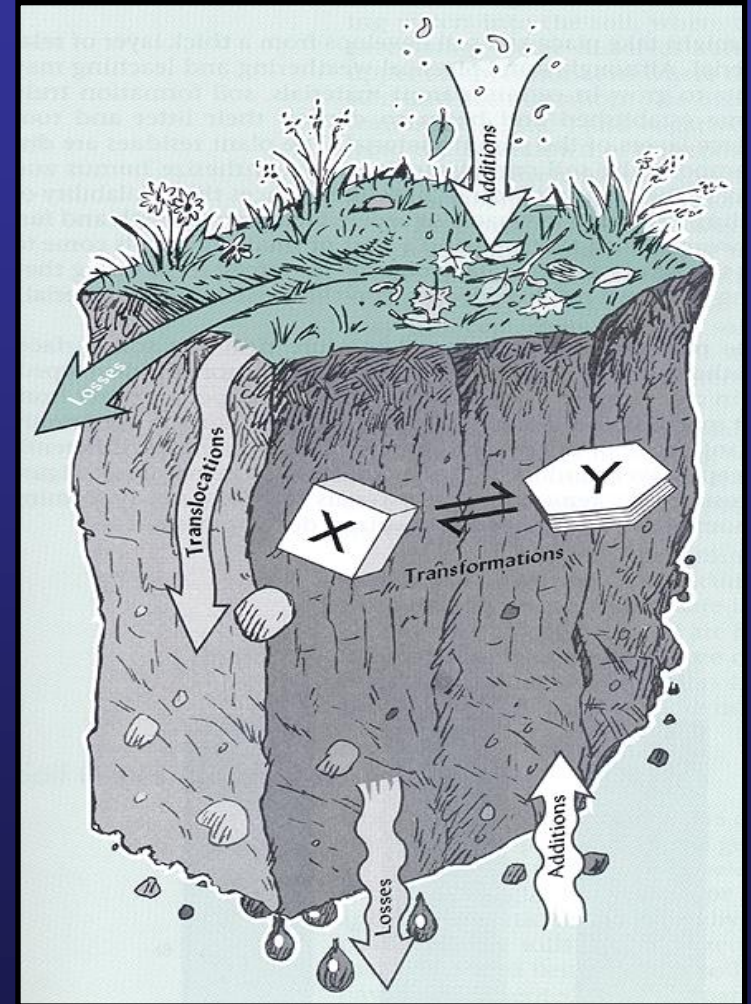
Processi pedogenetici di base

PROCESSO	TIPO DI PROCESSO	DESCRIZIONE SINTETICA
Podzolizzazione	Trasformazione e Traslocazione	Movimento di Fe, Al e/o sostanza organica verso orizzonti profondi con arricchimento residuale superficiale di quarzo e/o minerali resistenti
Laterizzazione	Trasformazione e Traslocazione	Trasporto di silice verso orizzonti profondi e concentrazione residuale superficiale di ossidrossidi con formazione eventuale di croste o concrezioni
Alterazione	Trasformazione	Degradazione della fase minerale e organica primaria per dissoluzione, ossidazione, idrolisi, chelazione, protonazione
Sintesi	Trasformazione	Neoformazione di minerali secondari (argille, ossidi, materiale amorfo) e di costituenti umici
Melanizzazione	Addizione e Traslocazione	Annerimento degli orizzonti superficiali per azione della sostanza organica umificata
Leucizzazione	Traslocazione	Schiarimento di orizzonti superficiali per scomparsa della frazione umica
Littering	Addizione	Accumulo superficiale di sostanza organica fresca (lettiera)



Processi pedogenetici di base

PROCESSO	TIPO DI PROCESSO	DESCRIZIONE SINTETICA
Umificazione	Trasformazione	Trasformazione biochimica della sostanza organica fresca in humus
Paludizzazione	Trasformazione	Accumulo superficiale di depositi organici indecomposti (torbe) in ambiente idromorfo
Fermentazione	Trasformazione	Mineralizzazione incompleta della sostanza organica
Brunificazione	Trasformazione	Cambiamento di colore legato al rilascio del Fe dai minerali e all'arricchimento e/o pigmentazione con ossidrossidi di Fe bruni (ferridrite e goethite)
Rubefazione	Trasformazione	Cambiamento di colore legato all'arricchimento e/o pigmentazione con ossidi di Fe rossi (ematite)
Ferruginazione	Trasformazione	Cambiamento di colore legato all'arricchimento e/o pigmentazione con ossidrossidi giallastri (goethite)
Gleyzzazione	Traslocazione e Trasformazione	Cambiamento di colore in orizzonti soggetti a riduzione del Fe in ambiente anaerobico per sommersione o idromorfia



La formazione del profilo

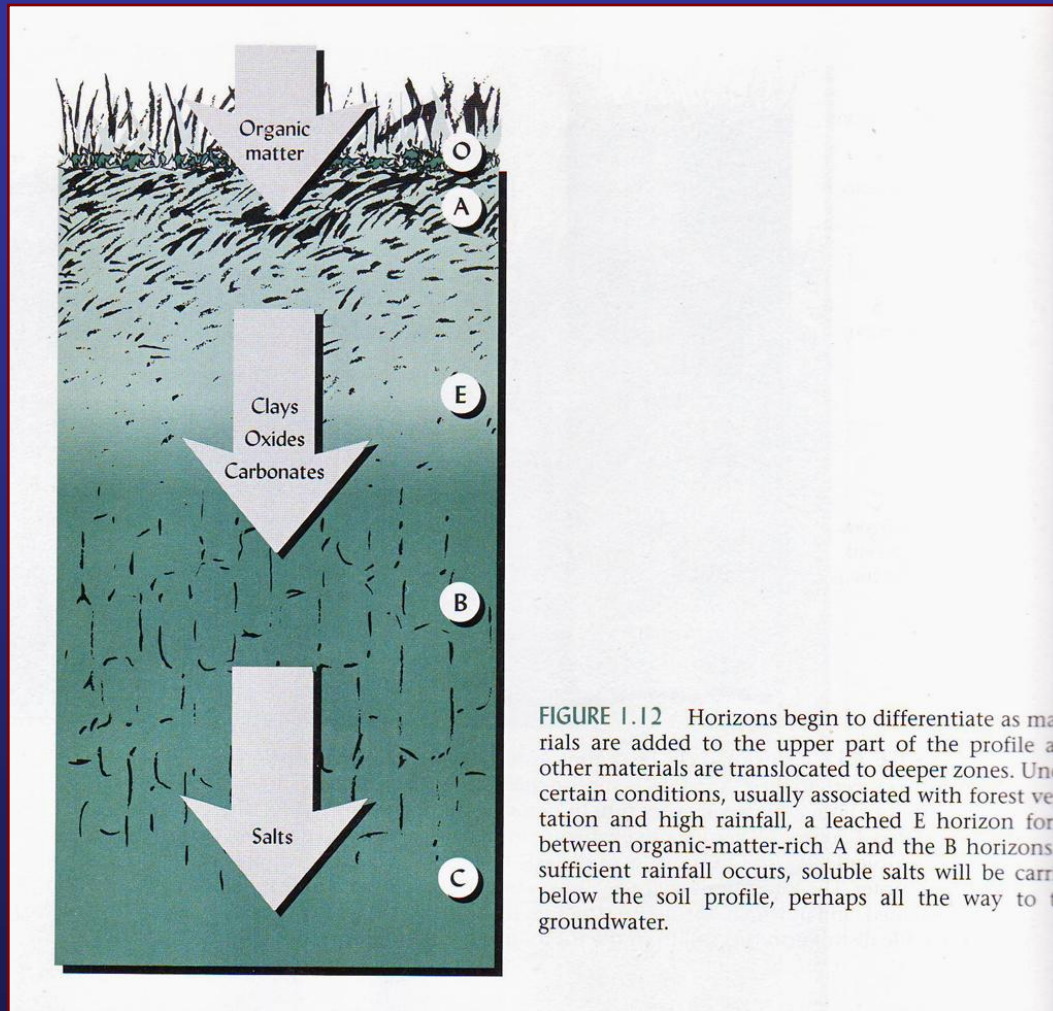
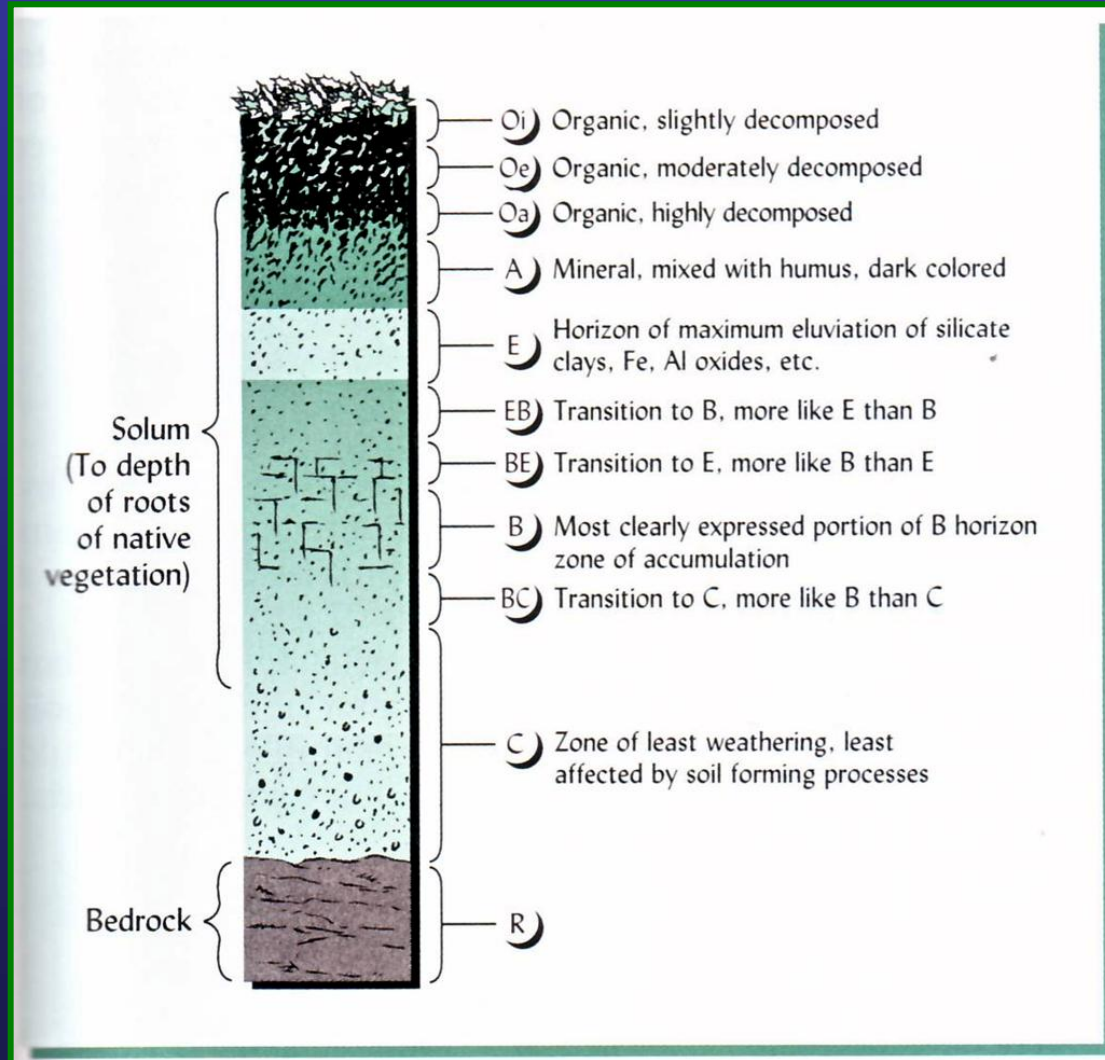


FIGURE 1.12 Horizons begin to differentiate as materials are added to the upper part of the profile and other materials are translocated to deeper zones. Under certain conditions, usually associated with forest vegetation and high rainfall, a leached E horizon forms between organic-matter-rich A and the B horizons. If sufficient rainfall occurs, soluble salts will be carried below the soil profile, perhaps all the way to the groundwater.

La formazione del profilo



Evoluzione del profilo

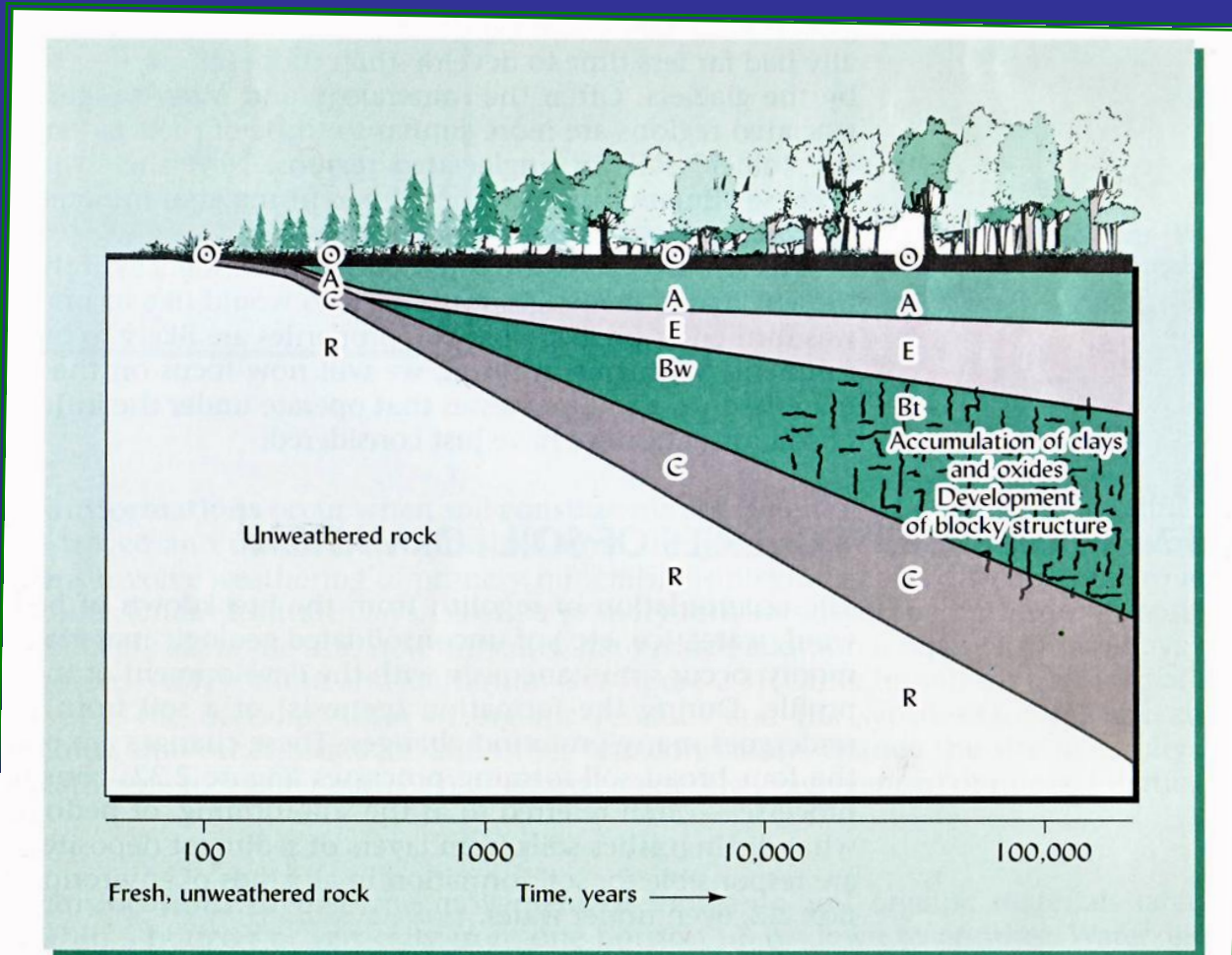


FIGURE 2.31 Progressive stages of soil profile development over time for a residual igneous rock, in a warm, humid climate that is conducive to forest vegetation. The time scale increases logarithmically from left to right, covering more than 100,000 years. Note that the mature profile (right side of this figure) expresses the full influence of the forest vegetation as illustrated in Figure 2.25. This mature soil might be classified as an Ultisol (see Section 3.14).

Evoluzione del profilo

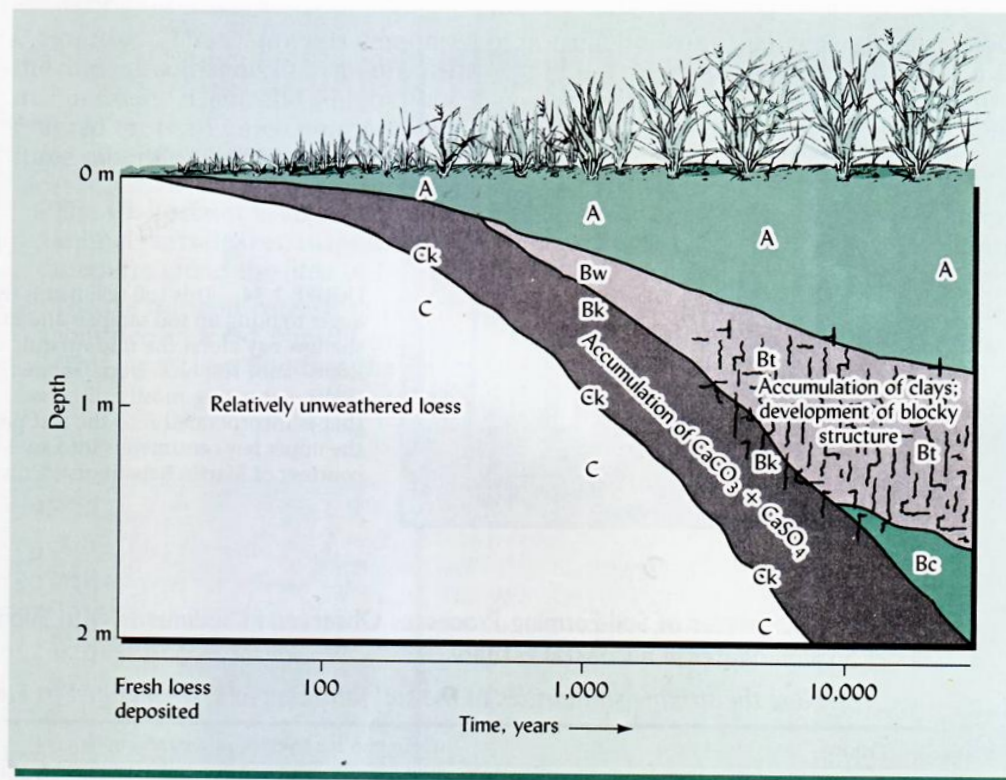


FIGURE 2.33 Development of a hypothetical soil in about 2 m of uniform calcareous loess deposits where the warm subhumid climate is conducive to tall grass prairie vegetation. The time scale increases logarithmically from left to right, covering about 12,000 years. In the initial stages, rainwater, charged with organic acids from microbial respiration, dissolves carbonates from the loess and moves them downward to a zone of accumulation (Bk horizon). As this happens, plant roots take hold in the upper layer and add the organic matter necessary to create an A horizon. Ants, beetles, earthworms, and a host of smaller creatures take up residence and actively mix in surface litter and speed the release of nutrients from the minerals and plant residues. Over time the carbonate concentration zone moves deeper, the A horizon thickens, and noncalcareous B horizons develop as changes in color and structure occur in the weathering loess above the zone of carbonate accumulation. Eventually, silicate clay accumulates in the B horizon (giving it the designation Bt), both by stationary weathering of primary minerals and by traveling there with water percolating from the upper horizons. Compare the stages of development and rates of change to those illustrated in Figure 2.32 for a different parent material, vegetation, and climate. Note that the mature profile (right side of this figure) expresses the full influence of the grassland vegetation as illustrated in Figure 2.25. This mature soil would be classified as a Mollisol (see Section 3.12).