

# Degradazione e forme associate

A cura di S. Furlani

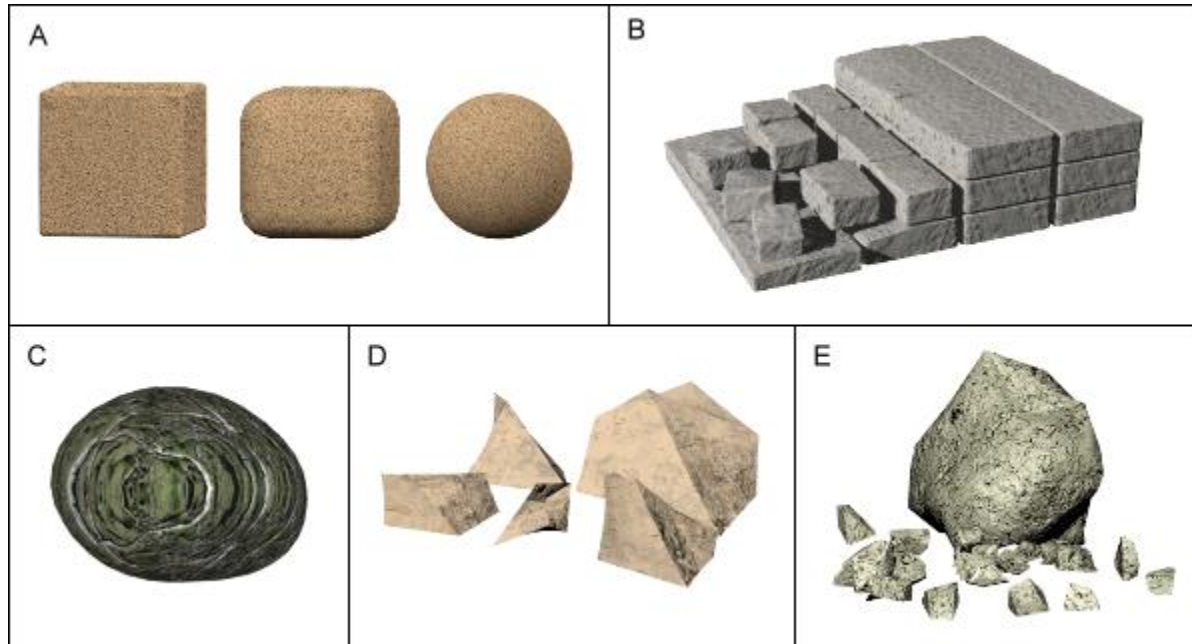
# Argomenti

- I processi di degradazione meteorica
- Biostasia e resistasia
- Il profilo di alterazione

# La degradazione meteorica

Weathering

# Degradazione meteorica

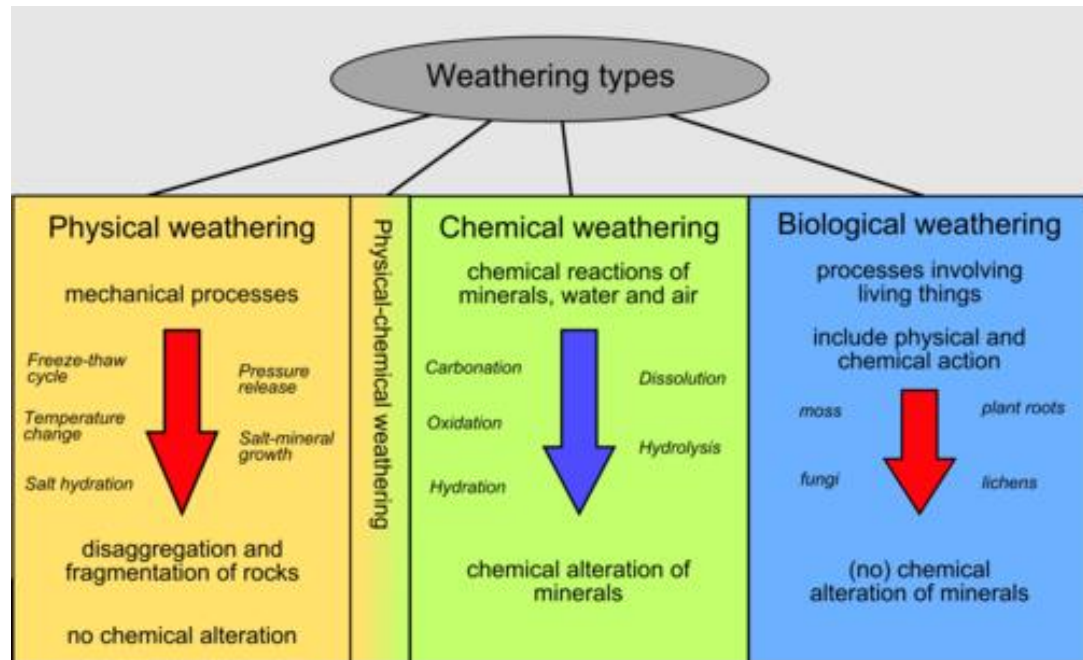


**La degradazione meteorica delle rocce è l'insieme dei fenomeni che portano al disfacimento delle rocce esposte all'azione degli agenti esogeni e alla conseguente formazione di detriti.**

I tassi sono molto lenti e i processi selettivi, con velocità e modalità diverse in ogni punto.

Si attiva perché le rocce tendono a mettersi in equilibrio con l'ambiente in cui si trovano dopo la formazione

# Processi di degradazione



Parent material  
(rock)



Biological weathering  
(tree roots and lichens)

Chemical weathering  
(water, acids, and gases)

Physical weathering  
(wind, rain, thermal expansion and contraction, water freezing)



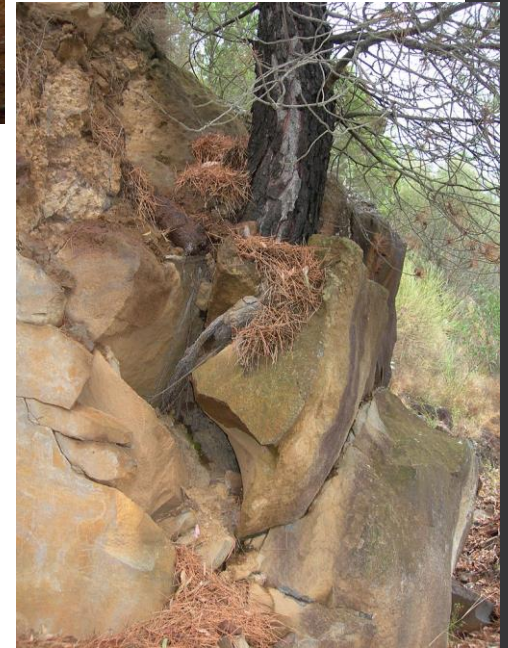
Particles of parent material

Fig. 15-6, p. 340

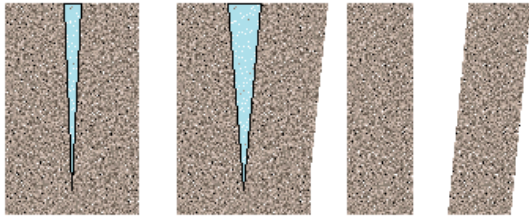




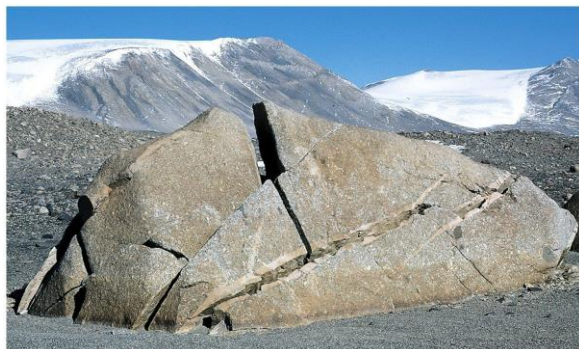
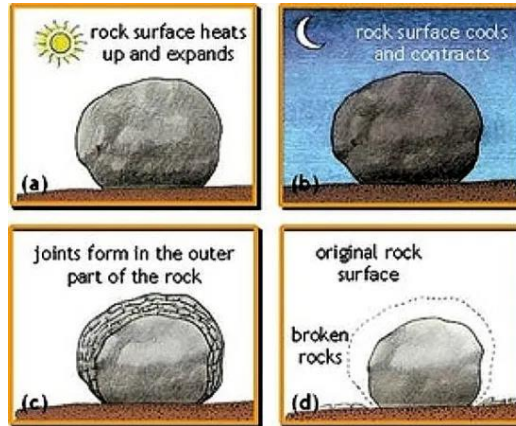
© Jon Boxerman 2008. Not for Commercial Use



# Frost Wedging



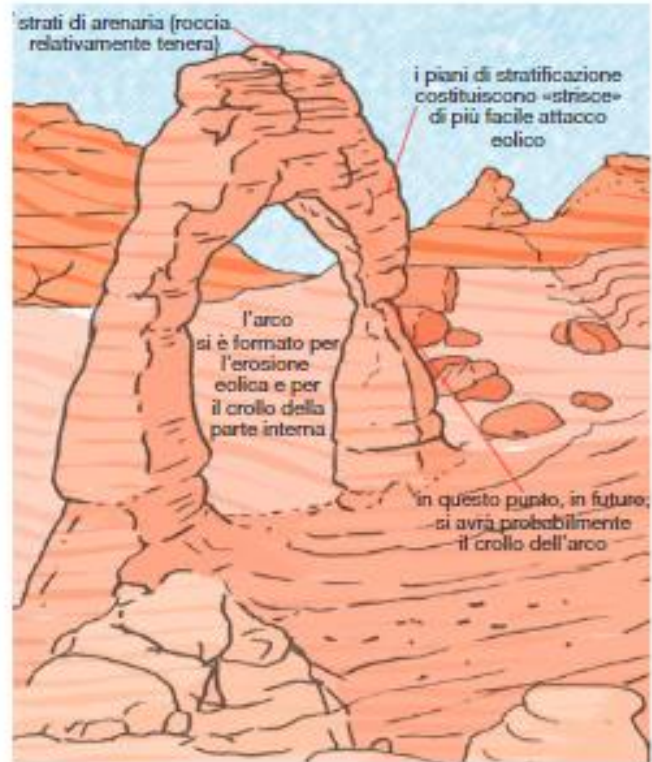
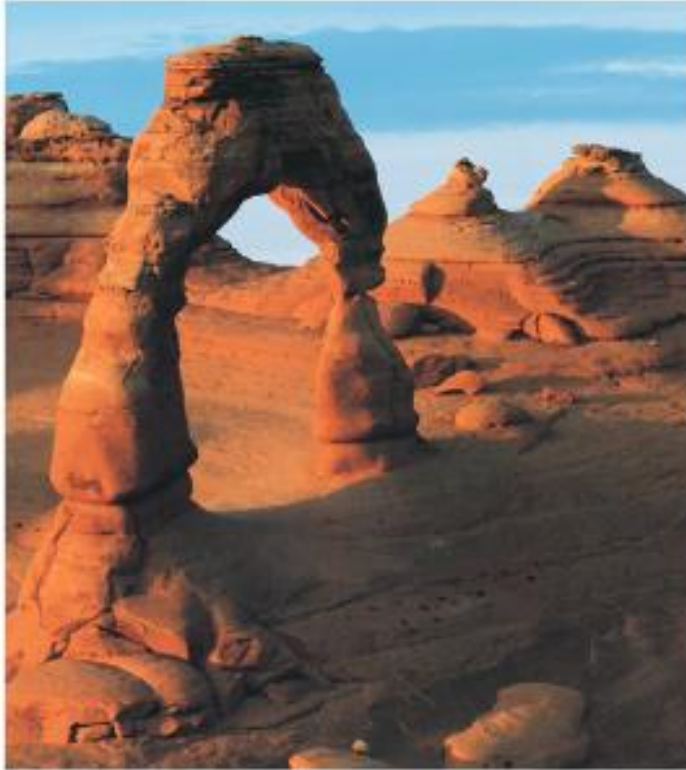
Water-filled crack      Freezes to ice      Breaks Rock



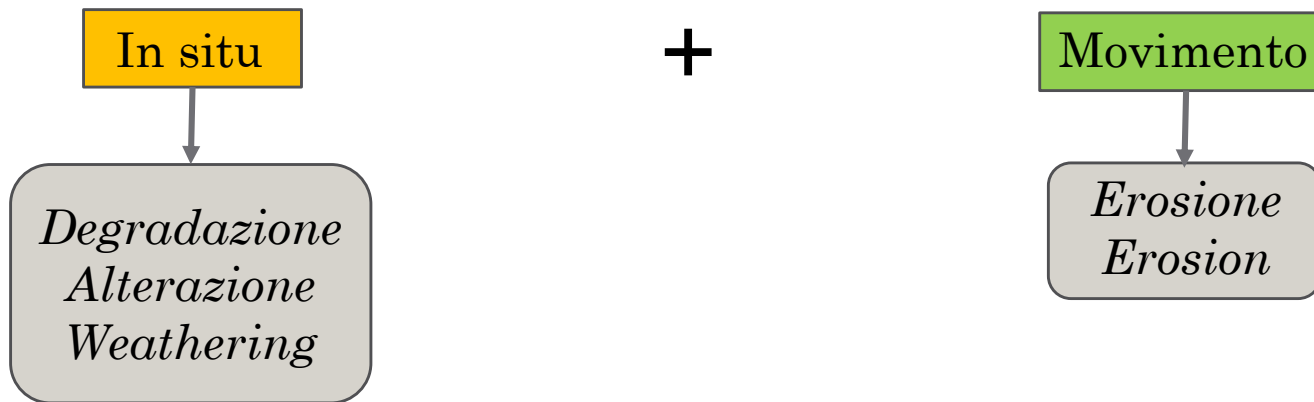


## CHE COSA VEDE IL GEOMORFOLOGO

un arco naturale in roccia



# Rapporto tra degradazione ed erosione





# La degradazione è parte dell'erosione?

- 1) Il materiale viene degradato dai processi di alterazione meccanica e chimica
- 2) Il materiale degradato viene trasportato dalle correnti fluviali verso il mare
- Nel transito, il materiale in carico alla corrente fluviale è in grado di erodere ulteriormente il corso d'acqua
- In questo modello, è la mobilità dei sedimenti che sta alla base dell'evoluzione del paesaggio

**=> Essendo il materiale mobilizzato dalla corrente, l'erosione non è limitata ai tassi di degradazione della roccia**

# Due modelli

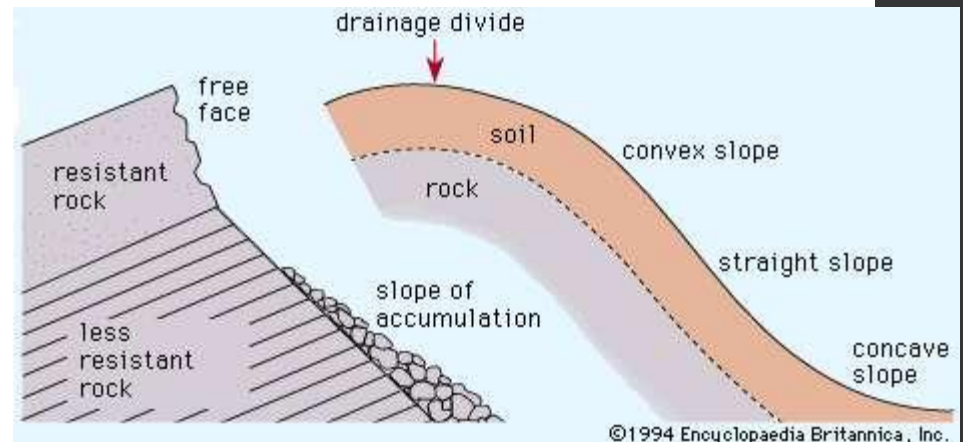
Quando prevale la degradazione e quando l'erosione?

# *Transport-limited erosion* *weathering-limited erosion*

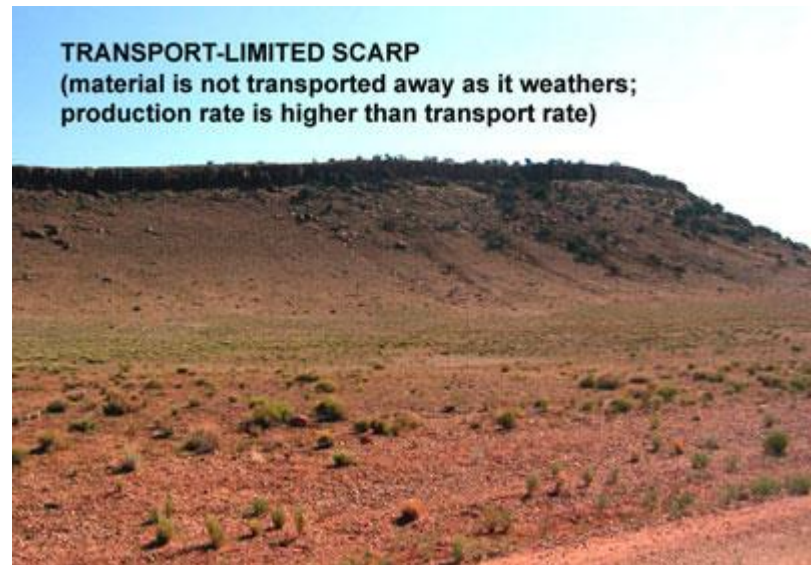
- La prima condizione è definita come lo stato dove i tassi di erosione dipendono dal tasso dei processi che trasportano sedimenti (Chorley & Kirkby, 1972).
- In questo tipo di regime, i tassi di erosione possono essere dedotti senza considerare il tasso di degradazione, in quanto la quantità di detriti mobili prodotti è pari o superiore alla velocità alla quale possono essere trasportati.

Quindi, ci si focalizza solamente sulla capacità dei processi di trasporto per quantificare i ratei e modelli di consumazione del terreno.

Esiste anche il modello erosione limitata alla degradazione (*weathering-limited erosion*), per cui i tassi di denudazione sono limitati alla degradazione (superfici senza molta copertura vegetale)







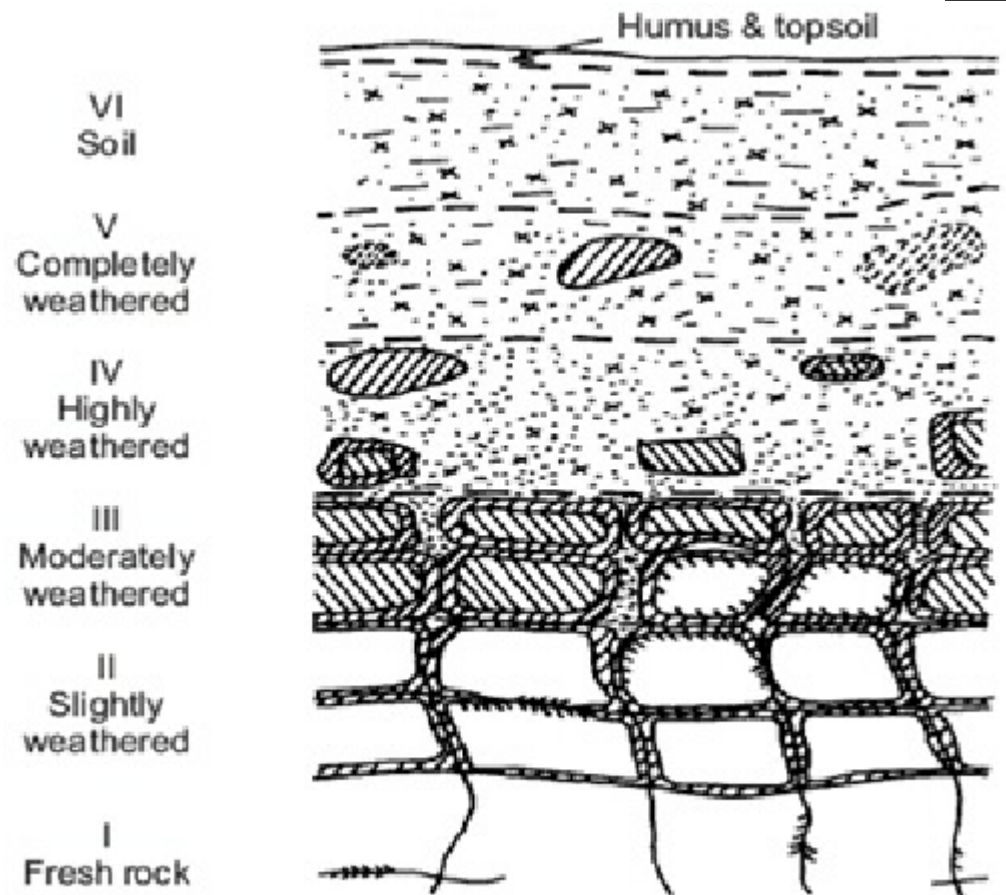
*Weathering-Limited Slopes:* Rates of soil/regolith production are less than rates of erosion  
*Transport-Limited Slopes:* Rates of erosion are more rapid than rates to transport

# Il profilo di degradazione

Cosa si trova sopra la roccia?

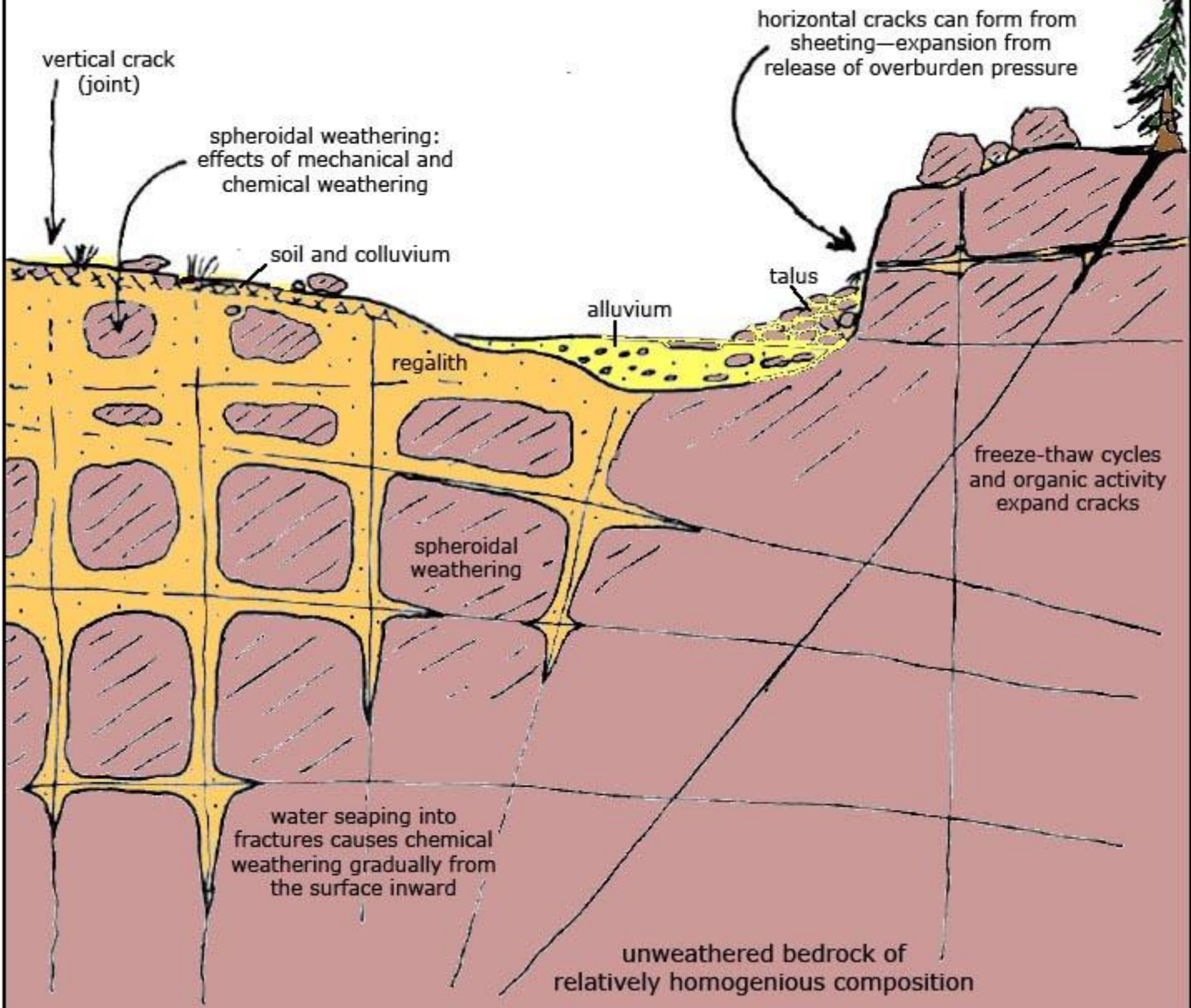
# Il profilo di degradazione/alterazione

- Il profilo di degradazione rappresenta la struttura fisica in cui avvengono i processi di alterazione
- Si tratta della zona di passaggio tra l'atmosfera e la roccia non alterata;
- E' una zona fondamentale per molti processi di versante;
- Le rocce portate in superficie sono posizionate in una zona reattiva nella quale avvengono una serie di processi di alterazione

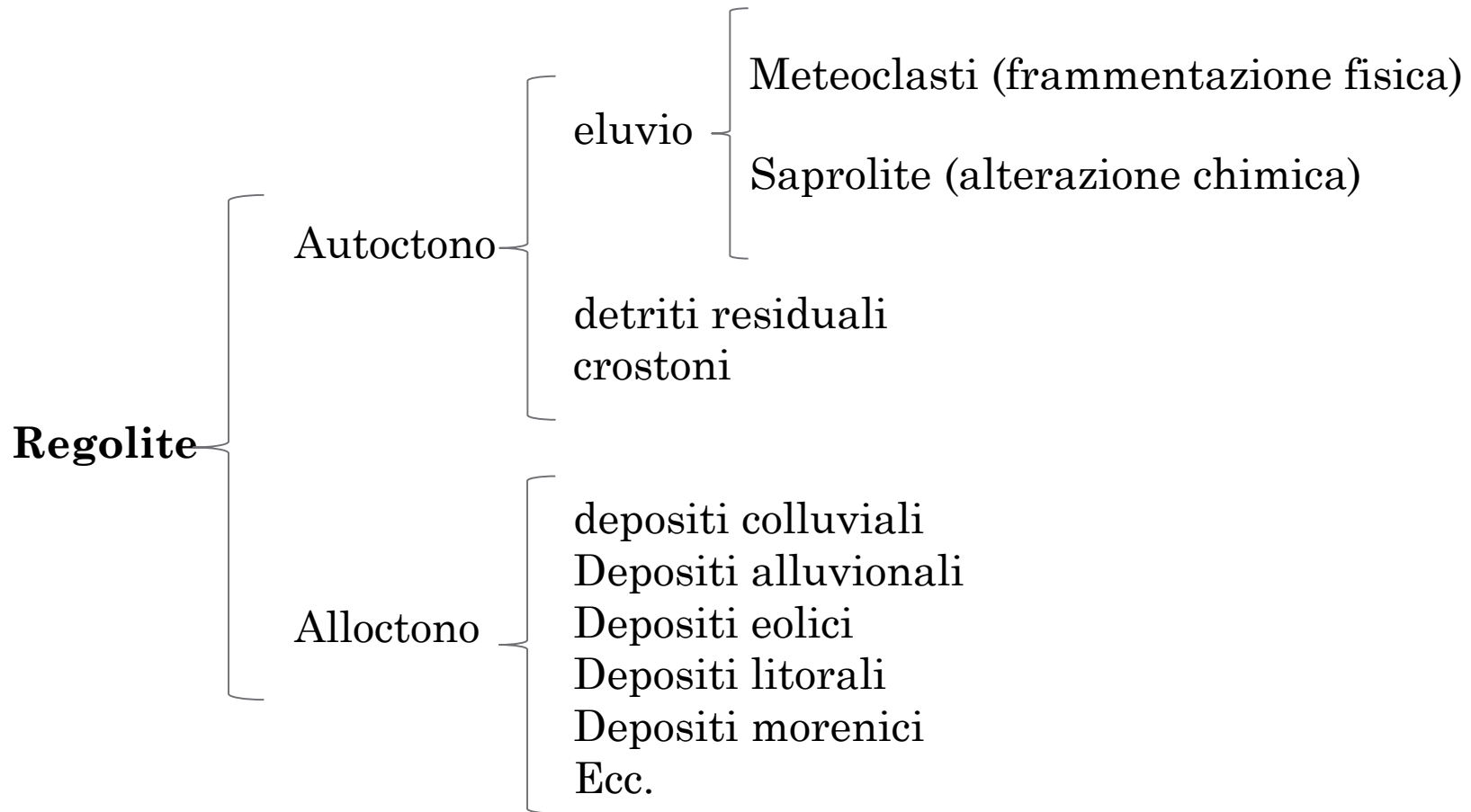




# weathering features

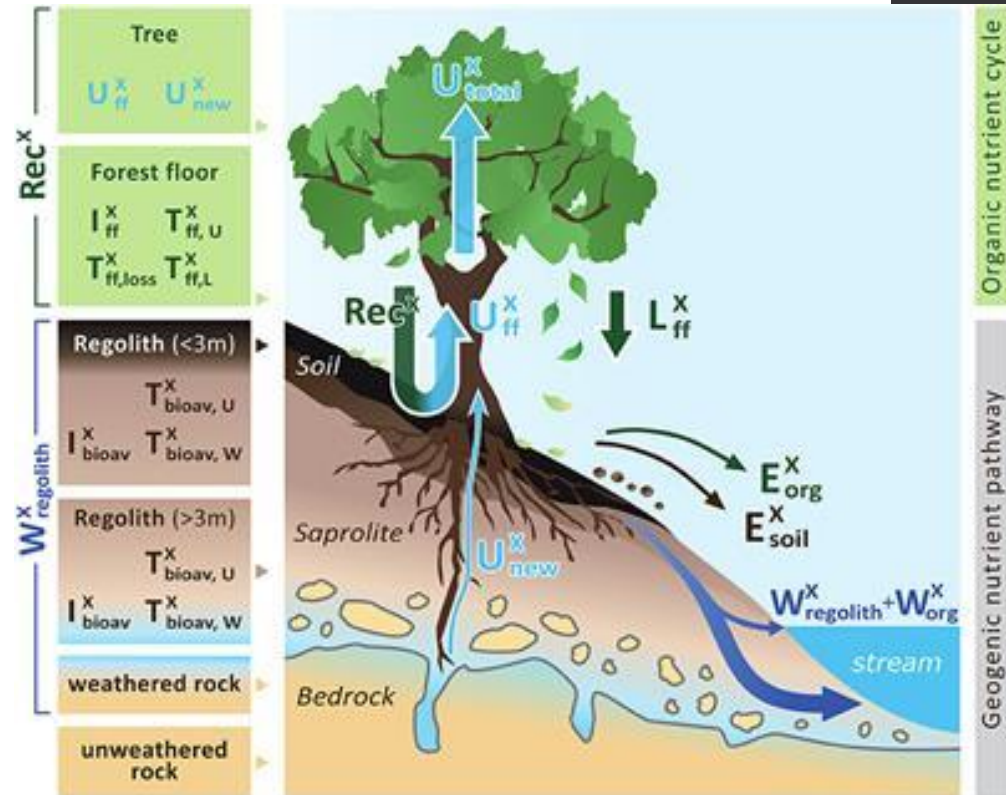


# Suddivisione delle coperture detritiche



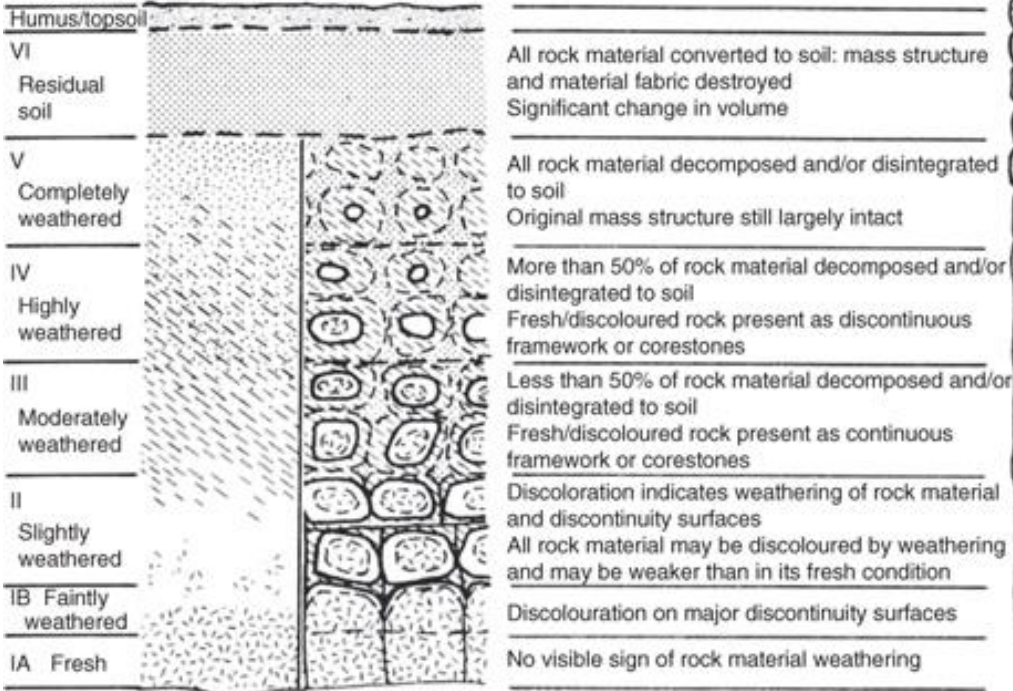
# Dentro il profilo: La zona critica

- Si definisce zona critica tutto ciò che si trova tra il top della copertura vegetale alla base della falda;
- In questa zona, l'interazione tra roccia, aria, acqua ed organismi controlla i nutrienti e la struttura dell'ambiente (Bratnley et al., 2007);
- Il profilo di alterazione rappresenta la struttura fisica di questa zona in cui avvengono i processi di alterazione

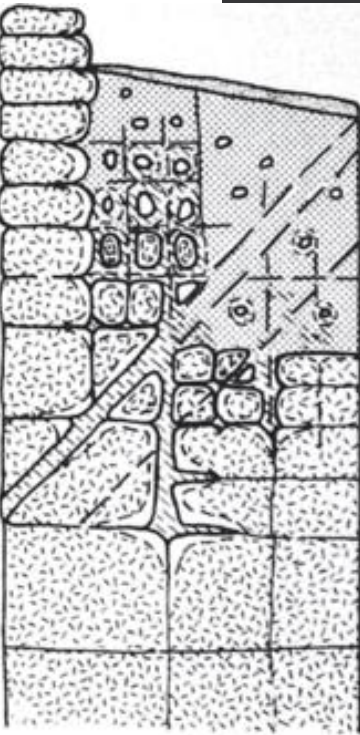
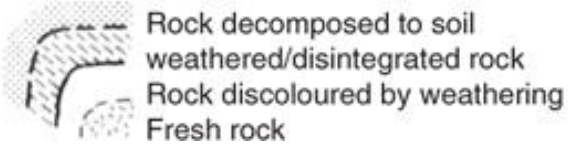




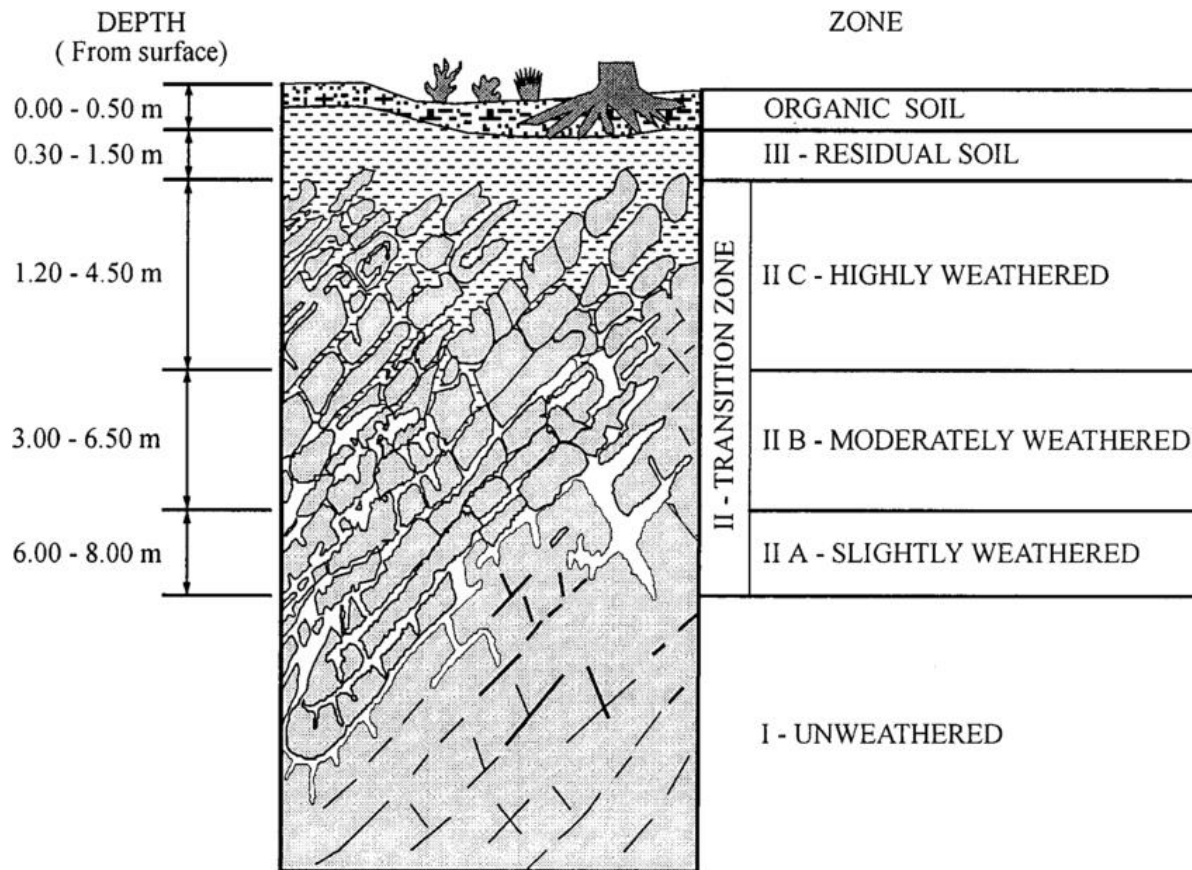
✘ La maggior parte dei minerali in questa zona si trovano in disequilibrio con le soluzioni circolanti nel profilo, innescando quindi processi di alterazione



(a) Idealized weathering profiles- without corestones (left) and with corestones (right)




(b) Example of a complex profile with corestones



( Modified from Deere and Patton 1971)

- ✘ Le rocce si trovano progressivamente esposte a processi di degradazione che producono materiali che vanno dalle rocce alterate ai suoli
- ✘ Le rocce vengono a trovarsi nella zona di reazione (ai processi di alterazione) a causa dei processi erosivi

| Idealized Profile   | Sowers(1963)<br>Igneous &<br>Metamorphic | Deere & Patton (1971)<br>All Rocks | Dearman(1976)<br>All Rocks                             | Engineering<br>Properties<br>& Behavior | General<br>Profile              |  |
|---|--|------------------------------------|--|---|---------------------------------|--|
|  | Soil                                     | I                                  | IA<br>A-Horizons                                       | VI<br>Soil or True<br>Residual<br>Soil  | Soil<br>Structure<br>Controlled | Topsoil  |
|   | Saprolite                                | Residual<br>Soil                   | IB<br>B-Horizons                                       | V<br>Completely<br>Weathered            |                                 | Relict<br>Discontinuity<br>Controlled                    |
|   |  |                                    | IC<br>C-Horizons<br>(Saprolite)                        | IV<br>Highly<br>Weathered               |                                 |  |
|   | Partially<br>Weathered<br>Rock           | Weathered<br>Rock                  | IIA<br>Saprolite<br>to Weathered<br>Rock<br>Transition | III<br>Moderately<br>Weathered          | Discontinuity<br>Controlled     | Weathered<br>to<br>Unweathered<br>Rock Mass<br>(Bedrock) |
|   | Solid<br>Rock                            |                                    | Unweathered<br>Rock                                    | II B<br>Partly<br>Weathered<br>Rock     |                                 |  |
|   |  |                                    |  | I<br>Fresh Rock                         |                                 |  |

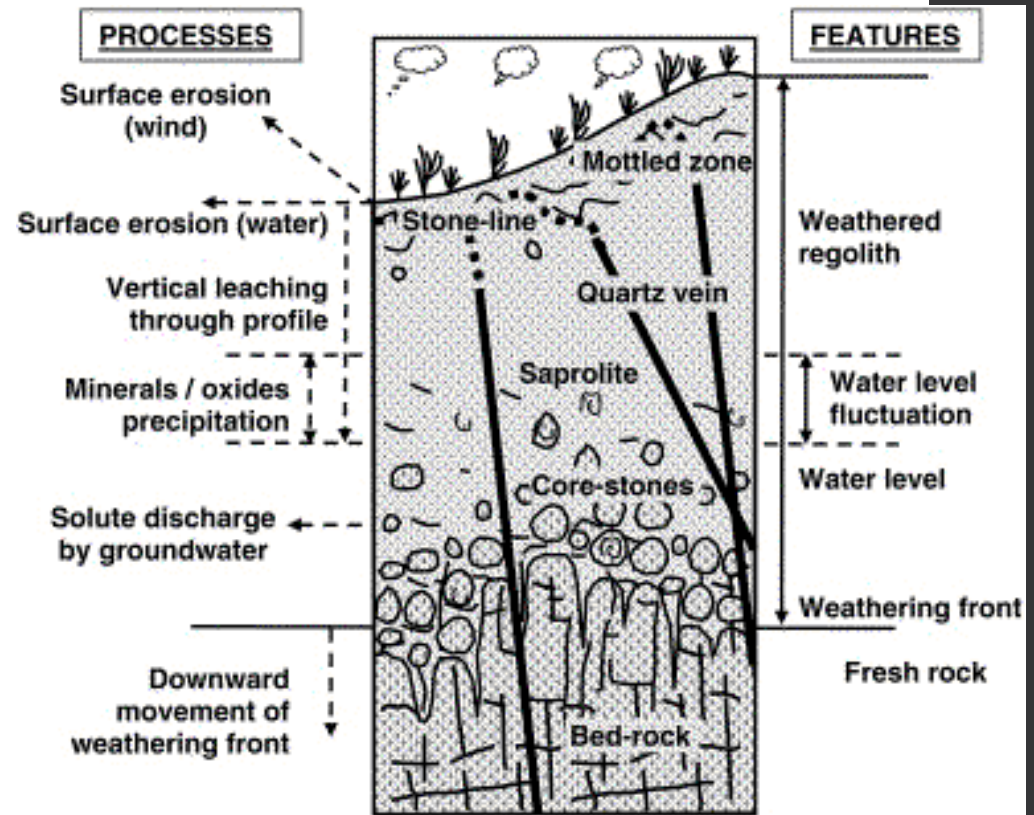
Kulhawy, Trautmann, and O'Rourke (1991)

- × Il regolite è lo strato di roccia con il massimo grado di alterazione
- × Tre strati all'interno del regolite. Dal basso:
  - + Fratture nella roccia
  - + Saprolite, meno alterato del livello sottostante (non è stato sottoposto a sforzi)
  - + Regolite mobile (suolo. Può essere organizzato in strati. Il materiale si muove sia orizzontalmente che verticalmente)



# Parametri: 1 sforzo

- × Cambio di volume rispetto al volume della roccia madre, la roccia si frantuma e aumenta in volume<sup>1</sup>
- × Varia tra 0 e 3=300%
- × Le fratture cambiano l'orientazione delle rocce nel profilo.

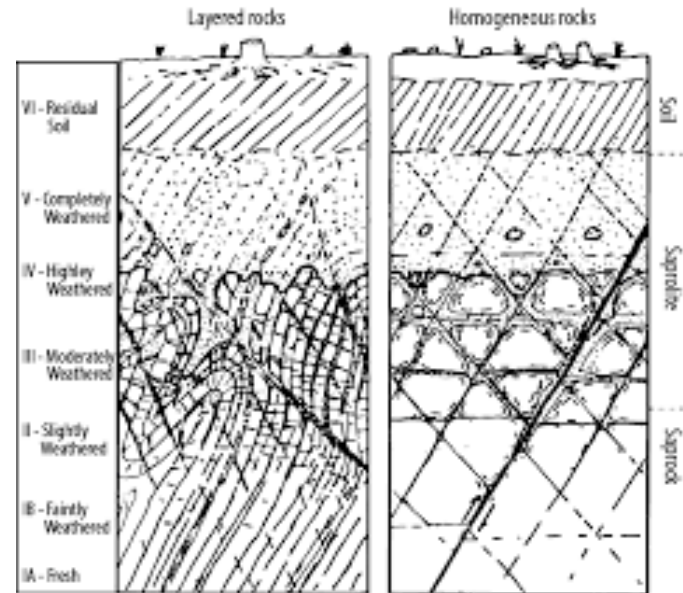


<sup>1</sup>calcolato sulla base della concentrazione di Zr, un elemento non intaccato dai processi di alterazione ( $\epsilon_{Zr, w}$ ).



# Parametri: 2 mobilità del materiale

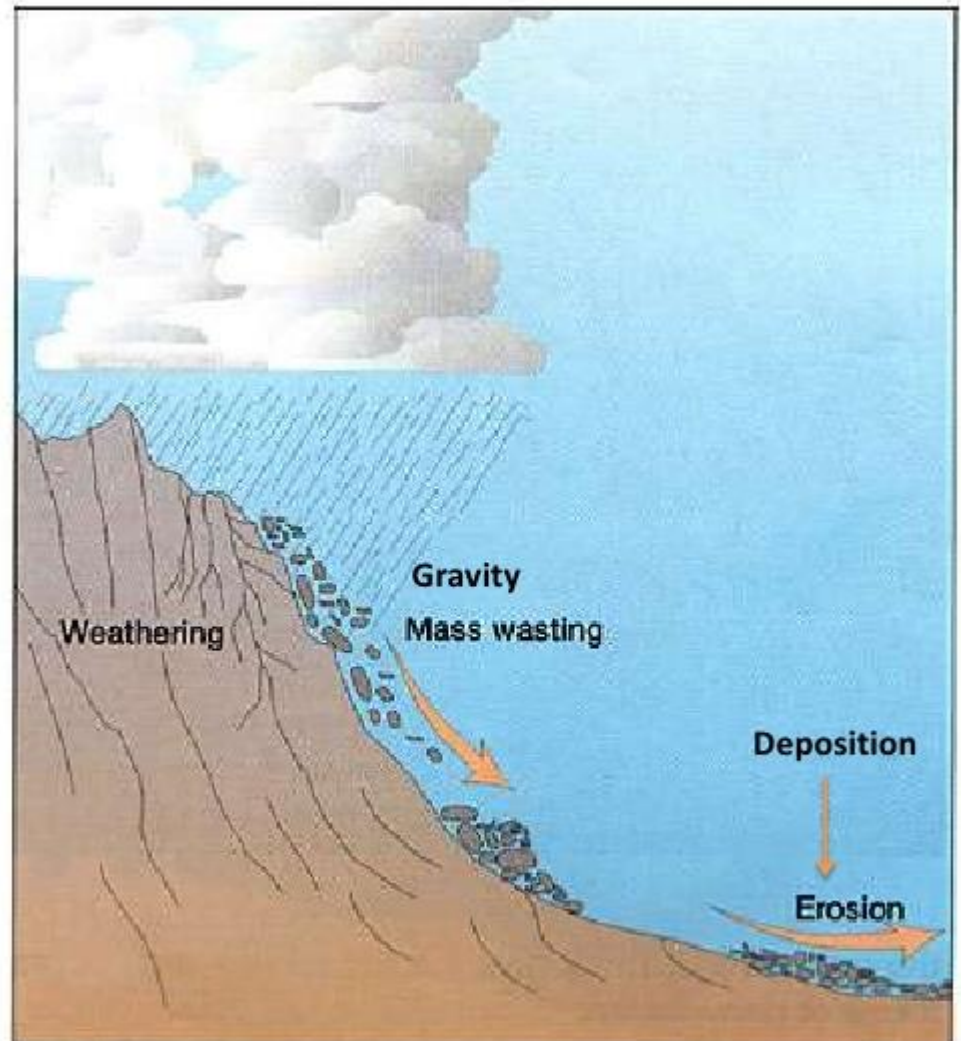
- × Le parti «reattive» più profonde del profilo sono date dalle fratture ad alto angolo, principalmente di origine tettonica;
- × Verso l'alto, le fratture sono via via più ossidate, con macchie ed aloni. Sopra il primo strato, le rocce sono ancora intatte, ma completamente ossidate;
- × La densità delle fratture poi aumenta verso l'alto (saprolite), e la loro orientazione diventa parallela alla superficie.



Profilo di equilibrio in  
a) rocce stratificate  
b) omogenee

# Spessore ed Età dei profili

- Lo spessore del profilo di degradazione può dare informazioni qualitative sull'età del profilo stesso
- Su affioramenti in roccia, il bedrock inalterato può essere presente già in superficie, e le fratture sono l'unica manifestazione dell'alterazione;
- In altre aree, i profili possono essere spessi decine di metri ed i processi di alterazione possono aver lavorato per milioni di anni, in particolare se i tassi di erosione sono bassi.



# Lo strato superiore: il suolo

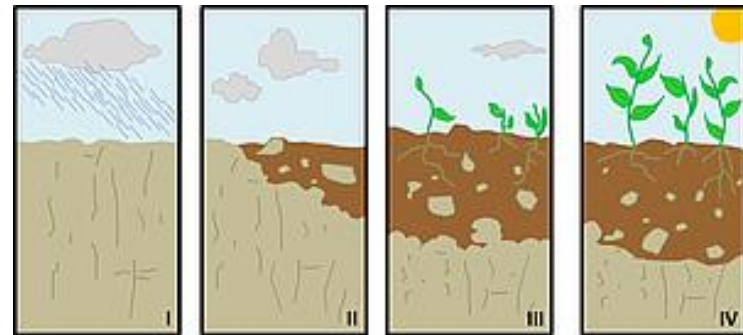
- l'insieme di processi fisici, chimici e biologici che portano alla formazione di un suolo, nel corso del tempo, a partire dal cosiddetto substrato pedogenetico (sapropel), è detto **pedogenesi**;
- Per la formazione di un suolo non è sufficiente l'alterazione dei minerali delle rocce, dal momento che la differenza tra un suolo e un accumulo di sedimento non pedogenizzato è la presenza di sostanza organica mescolata alla componente minerale;
- Interviene anche l'azione di una componente biologica.

# Tempo di formazione del suolo

Occorre qualche migliaio anni per dare vita al suolo, derivato dalla trasformazione nel tempo della roccia madre a seguito dell'azione combinata di agenti chimici, fisici e biologici.

Il processo di creazione di un suolo viene chiamato **pedogenesi**.

Le trasformazioni nel suolo sono lente e graduali, salvo nel caso di avvenimenti catastrofici.





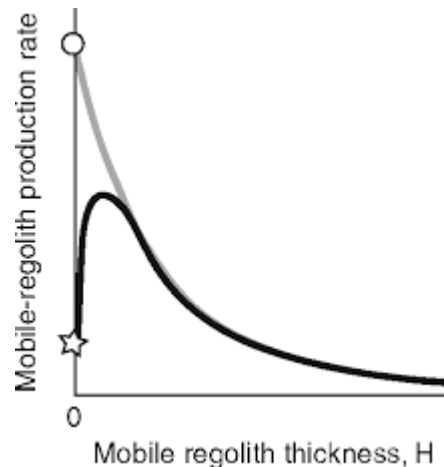
# Processi sulla superficie (Suolo) - Pedogenesi

| Processo   | Effetto sui materiali del suolo | Descrizione   |
|--|---------------------------------|---|
| <b>Eluviazione</b>                                       | Traslocazione                   | Asportazione di materia da uno strato di suolo  |
| <b>Illuviazione</b>                                      | Traslocazione                   | Deposizione di materia in uno strato di suolo   |
| <b>Dilavamento</b>                                       | Sottrazione                     | Allontanamento in soluzione di materiali  |
| <b>Arricchimento</b>                                     | Aggiunta                        | Aggiunta di materiale al suolo  |
| <b>Erosione superficiale</b>                             | Sottrazione                     | Asportazione di materiale dalla superficie del suolo  |
| <b>Cumulazione</b>                                       | Aggiunta                        | Deposizione di materia alla superficie del suolo  |
| <b>Decarbonatazione</b>                                  | Traslocazione                   | Rimozione del carbonato di calcio da uno o più orizzonti di suolo   |
| <b>Carbonatazione</b>                                    | Traslocazione                   | Deposizione di carbonato di calcio in uno o più orizzonti di suolo  |
| <b>Salinizzazione</b>                                    | Traslocazione                   | Accumulo di sali solubili ( <a href="#">solfati</a> , <a href="#">cloruri</a> ) in uno o più orizzonti di suolo   |
| <b>Desalinizzazione</b>                                  | Traslocazione                   | Rimozione di sali solubili da uno o più orizzonti di suolo  |
| <b>Alcalinizzazione</b>                                  | Traslocazione                   | Aumento della percentuale di ioni <a href="#">sodio</a> nel <a href="#">complesso di scambio</a>  |
| <b>Dealcalinizzazione</b>                                | Traslocazione                   | Rimozione di ioni sodio da un orizzonte <i>natrico</i>  |
| <b>Lisciviazione</b>                                     | Traslocazione                   | Movimento meccanico di particelle tra orizzonti, con la produzione di orizzonti distinti, <i>eluviale</i> e <i>illuviale</i>  |
| <b>Pedoturbazione</b>                                    | Traslocazione                   | Rimescolamento biologico o fisico dei materiali del suolo, con omogeneizzazione del profilo   |
| <b>Podzolizzazione</b>                                   | Traslocazione<br>Trasformazione | Rimozione per via chimica dell'alluminio, del ferro e della sostanza organica con accumulo residuale di silice in uno strato eluviato   |
| <b>Desilicizzazione</b>                                  | Traslocazione<br>Trasformazione | Rimozione per via chimica della silice con accumulo residuale di ferro, alluminio e minerali inalterabili, con possibile formazione di croste e strati induriti   |
| <b>Decomposizione</b>                                    | Trasformazione                  | Alterazione di materiali, sia minerali che organici   |
| <b>Sintesi</b>   | Trasformazione                  | Genesi di composti complessi, sia minerali che organici   |
| <b>Melanizzazione</b>                                    | Aggiunta<br>Trasformazione      | Iscurimento di un orizzonte minerale di suolo per mescolamento con sostanza organica unificata  |
| <b>Leucinizzazione</b>                                   | Trasformazione                  | Schiarimento di un orizzonte di suolo per rimozione della sostanza organica   |
| <b>Lettieramento</b>                                     | Aggiunta                        | Accumulo di residui, sia vegetali che animali, alla superficie del suolo  |
| <b>Umificazione</b>                                      | Trasformazione                  | Produzione di <a href="#">humus</a> a partire da materiale organico grezzo  |
| <b>Paludizzazione o impaludamento</b>                    | Trasformazione                  | Accumulo di sostanza organica in sedimenti profondi ( <a href="#">torba</a> )   |
| <b>Maturazione</b>                                       | Trasformazione                  | Trasformazioni nella sostanza organica (evoluzione verso composti umici stabili) in seguito all'instaurarsi di condizioni di maggiore ossigenazione (ad esempio dopo cessazione di condizioni di saturazione idrica)  |
| <b>Mineralizzazione</b>                                  | Trasformazione                  | Decomposizione della sostanza organica fino a ioni minerali   |
| <b>Brunificazione<br/>Rubefazione<br/>Ferruginazione</b> | Traslocazione<br>Trasformazione | Liberazione del ferro in seguito all'alterazione dei minerali primari, sua dispersione e successiva ossidazione e idratazione. Con livelli di ossidazione e idratazione crescenti, si producono nel suolo colori bruni ( <i>brunificazione</i> ), rosso-bruni ( <i>rubefazione</i> ) e rossi ( <i>ferruginazione</i> ). |
| <b>Gleyzzazione</b>                                      | Traslocazione                   | Riduzione del ferro, in condizioni di saturazione idrica, con produzione di suoli con colori smorti (grigio-bleu, grigio-verde)   |

Classificazione di Buol (1980)

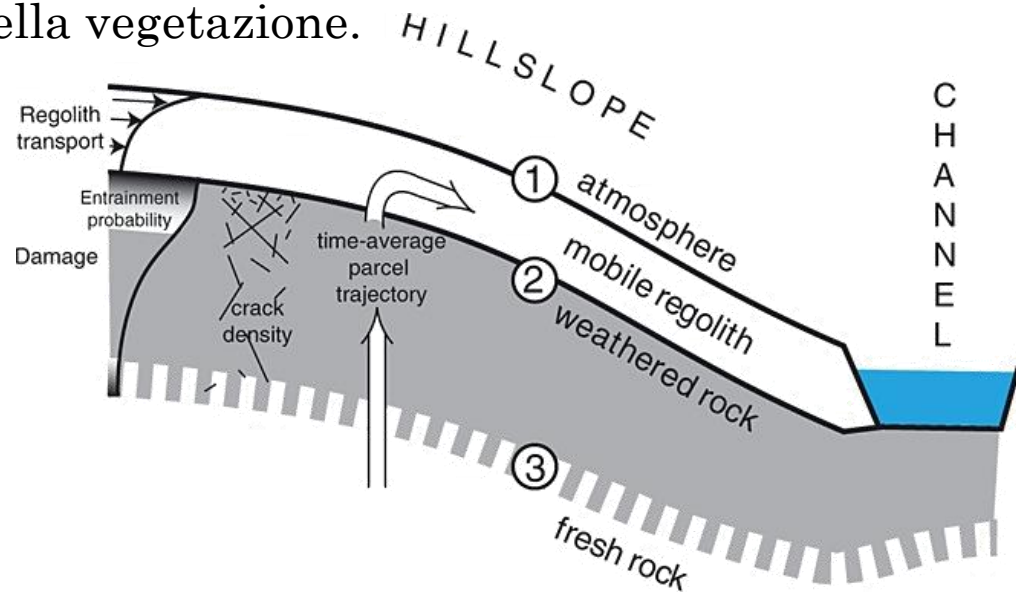
# Modelli di produzione di regolite mobile

- Ci sono due modelli per spiegare la produzione di regolite mobile:
  - Dietrich (1995) ha proposto che la produzione di regolite mobile cala esponenzialmente con l'aumento della profondità.
  - Carson e Kirkby (1972) propongono il modello a «gobba», con un massimo ad una determinata profondità



# Da roccia a regolite

- Affinché il materiale sia trasportato verso il basso del versante, il materiale disponibile deve essere di dimensioni adatte ai processi di trasporto (Anderson e Humphrey, 1989);
- Il punto cardine non è la trasformazione chimica o la fratturazione meccanica, ma il trasporto del materiale. Il confine identifica la profondità alla quale i processi di trasporto operano sulla base del bedrock, del clima e della vegetazione.











**O** - Mostly organic material - humus, leaf litter. Not always present

**A** - Topsoil; a mix of organic and mineral material derived from altered parent sediment or rock. The primary rooting layer and home for macro-microorganisms.

**B** - Parent material at varying degrees of alteration; usually discoloured

**C** - Parent material - the original sediment or bedrock

A typical soil profile is made up of three or four layers: This example is a silty loam (relatively high silt content, with lesser sand and clay), formed on volcanic ash (Waikato, New Zealand).

# Processi di denudazione

# Quali problemi?

- 1) Comparazione di tassi di erosione misurati con metodi diversi
- 2) Tendenza ad eseguire misure in zone molto dinamiche, o viceversa sovrastimare processi perché ritenuti importanti; c'è un pregiudizio a fare misure dove i tassi sono bassi
- 3) Difficoltà a comparare tassi provenienti da misure specifiche di erosione con misure di drenaggio dei bacini (Jansson, 1982)
- 4) all'interno del bacino ci potrebbero essere notevoli differenze nelle modalità in cui lavorano i processi, per cui potrebbero essere richieste misure molto dettagliate (es. tassi di abbassamento superfici in roccia)
- Variazioni notevoli anche nel tempo (processi lenti e continui, o improvvisi e catastrofici) – comparazione con storia, archeologia, misure isotopiche, ecc

- La degradazione interessa tutti quei processi che fratturano e dissolvono la roccia, producendo strati di roccia alterata o regolite.

# COME POSSIAMO MISURARE I TASSI DI ALTERAZIONE?



# Denudazione

- La denudazione (*denudation*) è la somma dei processi erosivi e di degradazione;
- rappresenta il logorio del terreno ad opera del weathering, dell'erosione, dell'acqua e del ghiaccio in movimento e delle onde.
- La denudazione coinvolge tre tipi di processi:
  - **1. Weathering (alterazione, degradazione)**
  - **2. Mass wasting (deposizione di materiali altrove)**
  - **3. Erosion (erosione)**

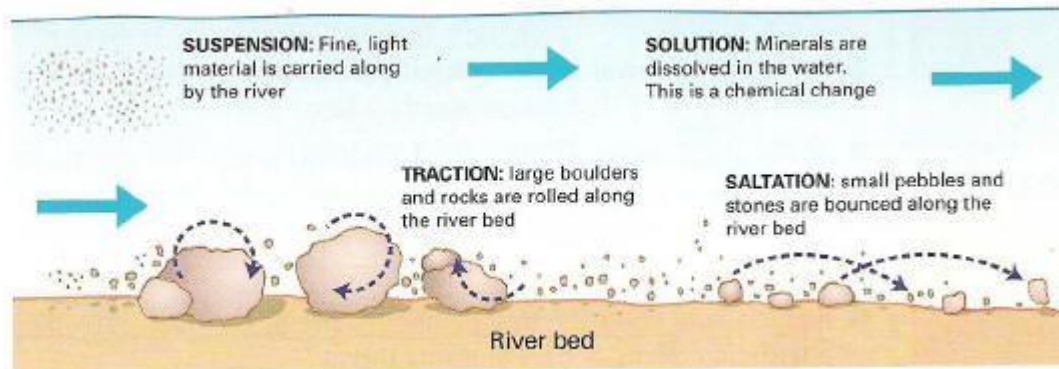
# Perdita di massa

- × La denudazione connota una perdita di massa;
- × La massa è persa sia in termini di sedimenti che di materiali disciolti

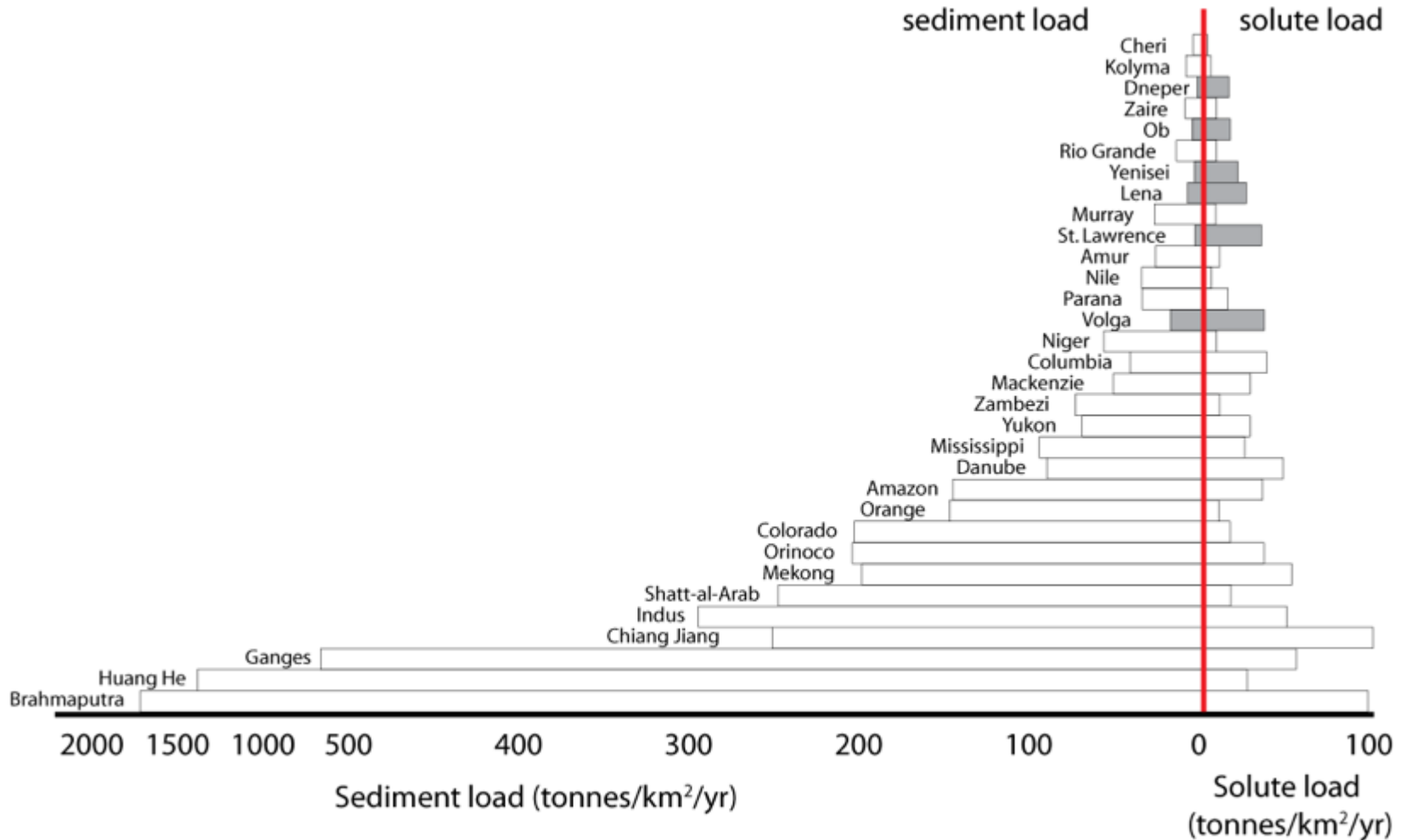
$$E_{\text{tot}} = E_{\text{diss}} + E_{\text{part}} \text{ (denudazione totale specifica)}$$

- × Più facile misurarla in termini di carico fluviale
- × Monitoraggio del materiale rimosso dai corsi d'acqua;

- Le particelle solide dominano il trasporto dalle montagne agli oceani
- I fiumi trasportano circa 4 volte più materiale sotto forma di particolato ( $5277 \times 10^6$  T/anno) che in forma sciolta ( $1383 \times 10^6$  T/anno);
- Questi dati non comprendono il materiale trasportato sul fondo perché più difficile da misurare, quindi il particolato totale è ancora più alto.



# Quale dei due tipi di carichi (solido o sciolto) prevale?



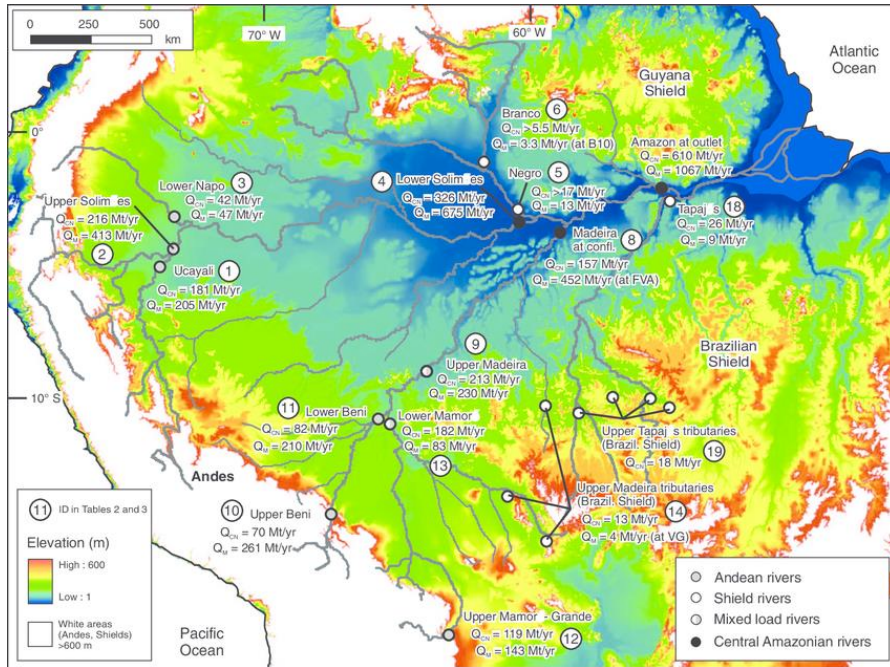
Carico sedimentario e di materiali sciolti dei principali fiumi nel mondo (Summerfield, 1991)



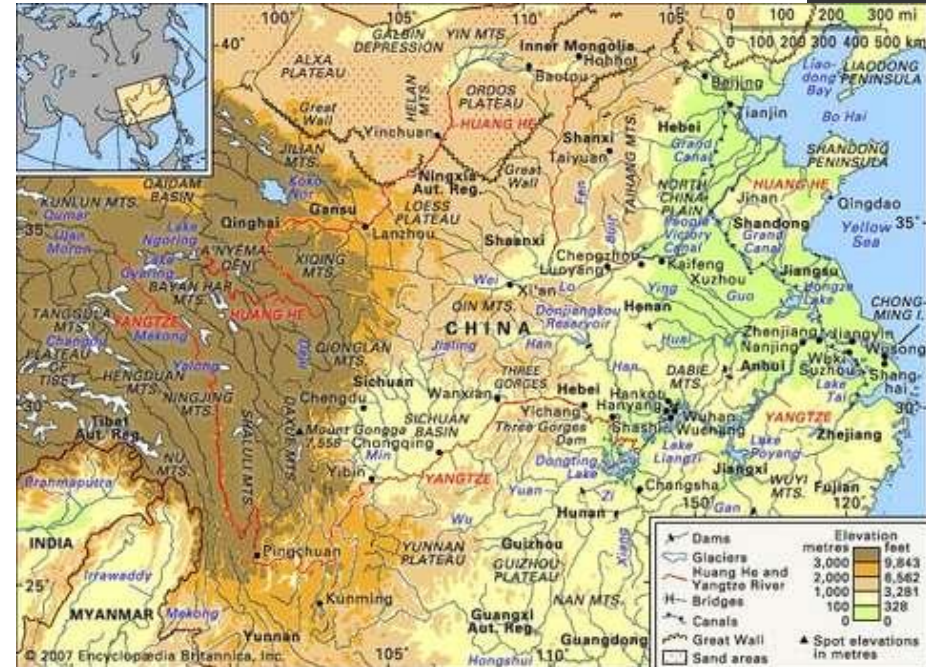
# Tasso di denudazione medio totale

- Il tasso di denudazione medio totale è la somma del carico sospeso e disciolto diviso per l'area di drenaggio e la densità della roccia (media=2650 kg/m<sup>3</sup>) e si aggira su 129 μm/anno (0,129 mm/anno);
- Il rapporto tra carico sciolto e particellato varia notevolmente a seconda del fiume (es. tra 0.02 a 11.3);
- La maggior parte dei fiumi con carico sciolto/particellato >1 si trovano nell'Artico (a causa di bassa pendenza e paludi della tundra)

- Il Fiume Giallo ed il Rio delle Amazzoni portano circa il 50% del carico sospeso totale



Wittmann et al. (2011)



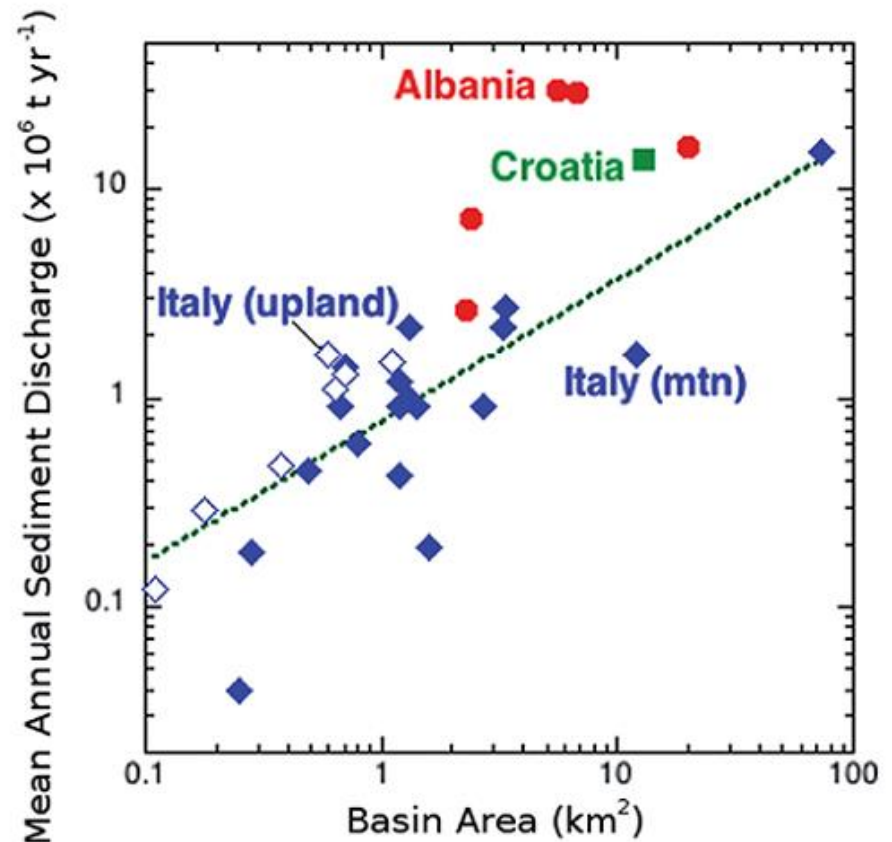
Encyclopedia Britannica

# Carico solido dei fiumi

I fiumi piccoli, in particolare quelli che nascono su terreni montani, scaricano quantità sproporzionate di sedimenti negli oceani;

Siccome i fiumi più piccolo sono più soggetti agli eventi catastrofici, essi tendono a scaricare i loro sedimenti in periodi di tempo molto brevi, ad esempio durante le piene;

L'impatto dei piccolo fiumi di montagna è particolarmente evidente sulle coste, come in Adriatico, dove il 75% dei 145 milioni di tonnellate del carico sedimentario proviene da fiumi con bacini con aree minori di 7000 km<sup>2</sup> (Milliman et al., 2016).



Milliman et al. (2016)

Table 7.1 Major rivers, and their water, sediment and solute discharges (after Berner and Berner, 1996)

| River            | Location      | Drainage area (10 <sup>6</sup> km <sup>2</sup> ) | Water discharge (km <sup>3</sup> /yr) | Specific discharge (m/yr) | Dissolved load (Tg/yr) | Specific dissolved flux (tonnes/km <sup>2</sup> yr) | Suspended load (Tg/yr) | Specific suspended flux (tonnes/km <sup>2</sup> yr) | <u>dissolved</u> / <u>suspended</u> | Total denudation rate (µm/yr) |
|------------------|---------------|--|---------------------------------------|---------------------------|------------------------|---|------------------------|---|-------------------------------------|-------------------------------|
| Amazon           | South America | 6.15   | 6300                                  | 1.02                      | 275                    | 45  | 1200                   | 195   | 0.23                                | 90                            |
| Zaire            | Africa        | 3.82   | 1250                                  | 0.32                      | 41                     | 11  | 43                     | 11  | 0.95                                | 8                             |
| Orinoco          | South America | 0.99   | 1100                                  | 1.11                      | 32                     | 32  | 150                    | 152   | 0.21                                | 69                            |
| Yangtze          | Asia          | 1.94   | 900                                   | 0.46                      | 247                    | 127   | 478                    | 246   | 0.53                                | 141                           |
| Brahmaputra      | Asia          | 0.58   | 603                                   | 1.04                      | 61                     | 105   | 540                    | 931   | 0.11                                | 391                           |
| Mississippi      | North America | 3.27   | 580                                   | 0.18                      | 125                    | 38  | 400                    | 122   | 0.60                                | 60                            |
| Yenisei          | Asia          | 2.58   | 560                                   | 0.22                      | 68                     | 26  | 13                     | 5   | 5.20                                | 12                            |
| Lena             | Asia          | 2.49   | 525                                   | 0.21                      | 49                     | 20  | 18                     | 7   | 2.70                                | 10                            |
| Mekong           | Asia          | 0.79   | 470                                   | 0.59                      | 57                     | 72  | 160                    | 203   | 0.36                                | 104                           |
| Ganges           | Asia          | 0.98   | 450                                   | 0.46                      | 75                     | 77  | 520                    | 533   | 0.14                                | 230                           |
| St. Lawrence     | North America | 1.03   | 447                                   | 0.43                      | 45                     | 44  | 4                      | 4   | 11.30                               | 18                            |
| Parana           | South America | 2.60   | 429                                   | 0.16                      | 16                     | 6   | 79                     | 30  | 0.20                                | 14                            |
| Irrawaddy        | Asia          | 0.43   | 428                                   | 0.99                      | 92                     | 214   | 265                    | 616   | 0.35                                | 313                           |
| Mackenzie        | North America | 1.81   | 306                                   | 0.17                      | 64                     | 36  | 42                     | 23  | 1.50                                | 22                            |
| Columbia         | North America | 0.67   | 251                                   | 0.37                      | 35                     | 52  | 15                     | 22  | 3.50                                | 28                            |
| Indus            | Asia          | 0.98   | 238                                   | 0.24                      | 79                     | 81  | 250                    | 256   | 1.30                                | 127                           |
| Huanghe (Yellow) | Asia          | 0.77   | 59                                    | 0.08                      | 22                     | 29  | 1100                   | 1429  | 0.02                                | 550                           |
| <b>Sum</b>       |               | <b>31.87</b>                                     | <b>14 896</b>                         |                           | <b>1383</b>            |   | <b>5277</b>            |   |                                     |                               |
| <b>Mean</b>      |               |  |                                       | <b>0.48</b>               |                        | <b>60</b>   |                        | <b>282</b>  | <b>1.72</b>                         | <b>129</b>                    |

# Bibliografia aggiuntiva

- Ollier C.D. 1969. Weathering. Oliver & Boyd, Edinburgh
- Ollier C.D. 1974. Weathering and Landforms. Macmillan Education,, Houndmills Basingstock Hampshire.
- Trudgill S.T. 1983. Weathering and Landforms. Butterworths, London.



# Domande

- Nella vostra area, quali sono le forme di degradazione prevalenti? In quale forma e grado il paesaggio è determinato dai processi di alterazione?
- Entra in un cimitero ed osserva se la degradazione delle rocce è dovuta a: a) tipo di roccia, b) età, c) orientazione, d) altezza sul livello del mare
- Esamina i muri sugli edifici del Campus di San Giovanni e compara i tassi di degradazione del a) cemento, b) pietre, c) mattoni
- Come pensi i tassi di degradazione saranno influenzati dai tassi di erosione? Qual è il rapporto tra i due processi?
- Quali processi prevalgono nei differenti climi?
- Quali fattori possono determinare lo sviluppo di una grotta?