

Degradazione e forme associate

A cura di S. Furlani

Argomenti

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

Processi

- Ogni processo che avviene sulla superficie della Terra può essere considerato in relazione alle forze a cui si oppone resistenza in vari modi, quindi l'efficacia dei processi in un dato luogo dipende dall'estensione alla quale, e ogni quanto, le forze eccedono la resistenza;
- Ad esempio, sui versanti, le forze agenti dipendono dalla gravità, dagli eventi climatici, dalle tempeste, e dai terremoti. La resistenza è data dalla capacità del sistema di resistere, grazie alle caratteristiche dei materiali coinvolti, dalla presenza o meno della vegetazione e dalle caratteristiche morfometriche.

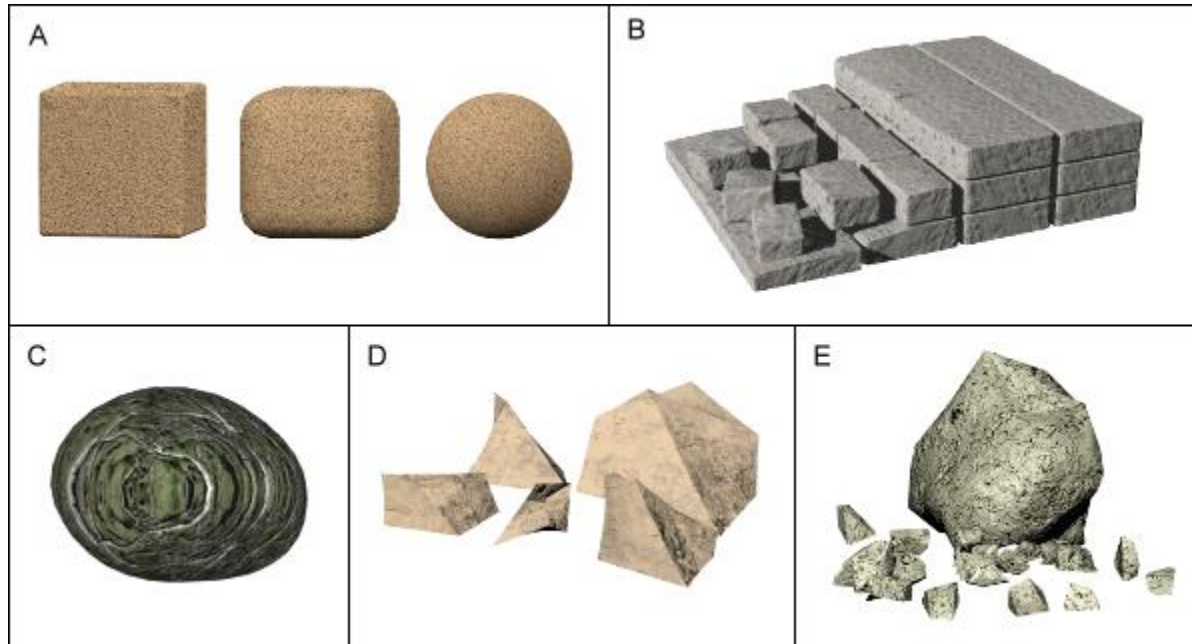
Table 4.2 MAJOR CATEGORIES OF EARTH SURFACE PROCESSES

Category of process	Examples of force and resistance (see also Table 4.4)	
	Force	Resistance
Exogenetic		
Weathering	Crystal growth, heating and cooling, tree roots	Physical and chemical bonding
Mass movement, hillslope processes, including processes of mass wasting	Gravity, increased water content, earthquake movements	Shear strength of materials, binding effects of vegetation, structures
Fluvial, drainage basin processes, hydrologic processes	Gravity, discharge reflecting precipitation stream power	Friction in fluid and between water and channel margins, obstructions in channel
Coastal processes and landforms that occur on coastal margins	Wave action, tides	Friction on coasts, strength of materials
Aeolian wind-dominated processes in hot and cold deserts and other areas such as some coastal zones	Wind action giving lift force and drag forces	Gravity, particle cohesion, friction between particles and with surface
Glacial, glaciers and ice caps, and landscapes occupied by glaciers, and those glaciated in the past	Gravity, pressure of snow and ice	Friction with bedrock
Periglacial/Nival, Cryonival, typify the processes in the periglacial zone, in some cases associated with permafrost, but also found in high altitude areas	Expansion of water on freezing	Strength of materials
Subsidence	Gravity following removal of fluids or material	Strength and cohesion of materials
Soil pedogenic processes, soil erosion	Water and wind on surface	Vegetation cover
Ecosystem dynamics	Animal burrowing	Indurated soils resist plant growth
Endogenetic		
Earthquakes and tectonic	Rock uplift	Gravity, rock strength
Volcanic processes	Magma extruded	Friction with surface

La degradazione meteorica

Weathering

Degradazione meteorica

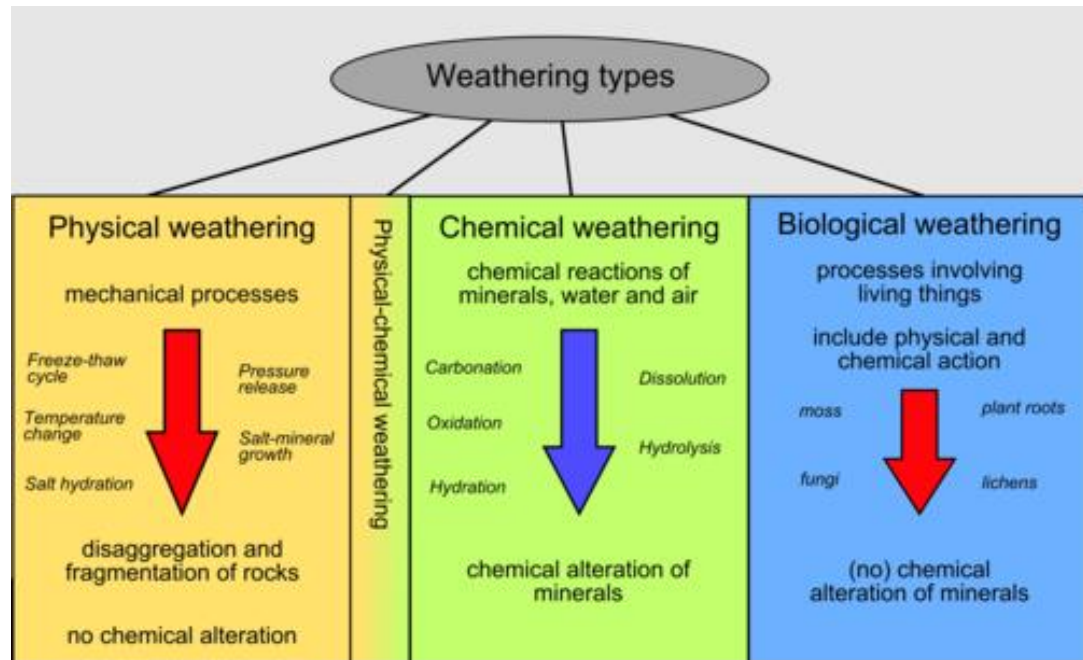


La degradazione meteorica delle rocce è l'insieme dei fenomeni che portano al disfacimento delle rocce esposte all'azione degli agenti esogeni e alla conseguente formazione di detriti.

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)

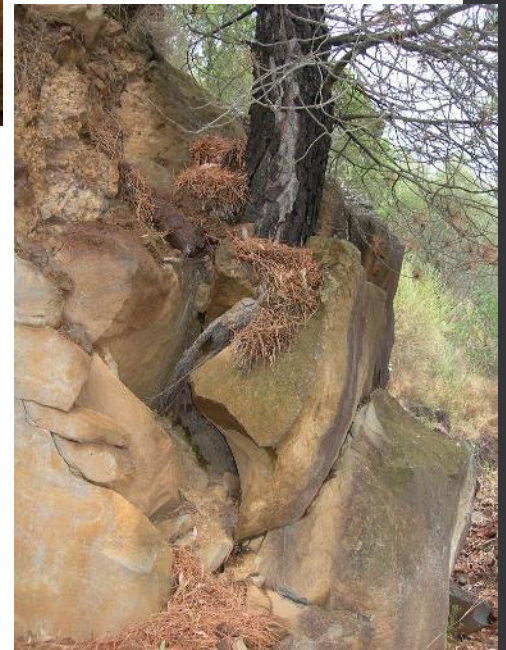
Chemical weathering
(water, acids, and gases)

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

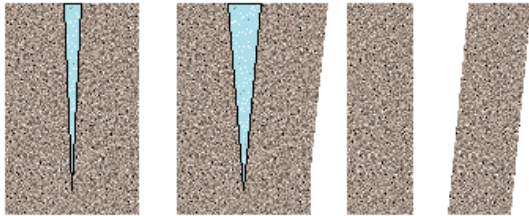


Particles of parent material

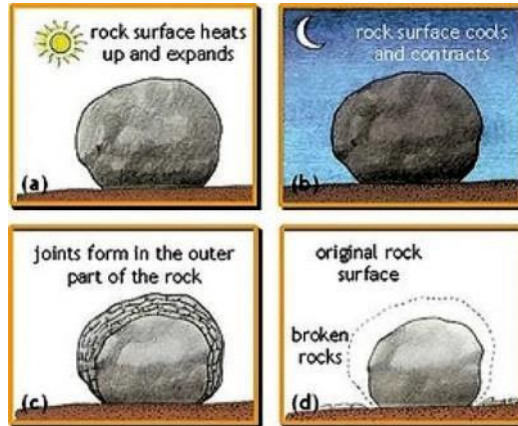
Fig. 15-6, p. 340



Frost Wedging

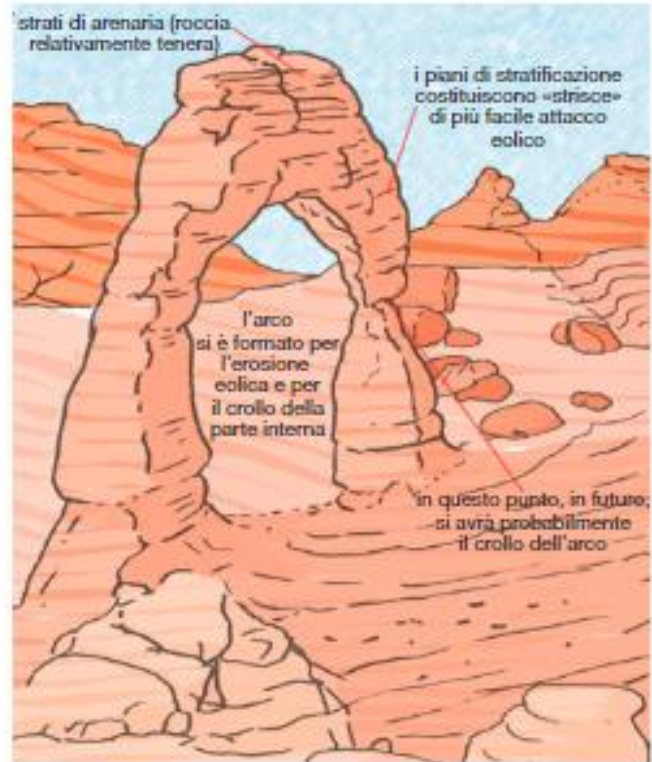
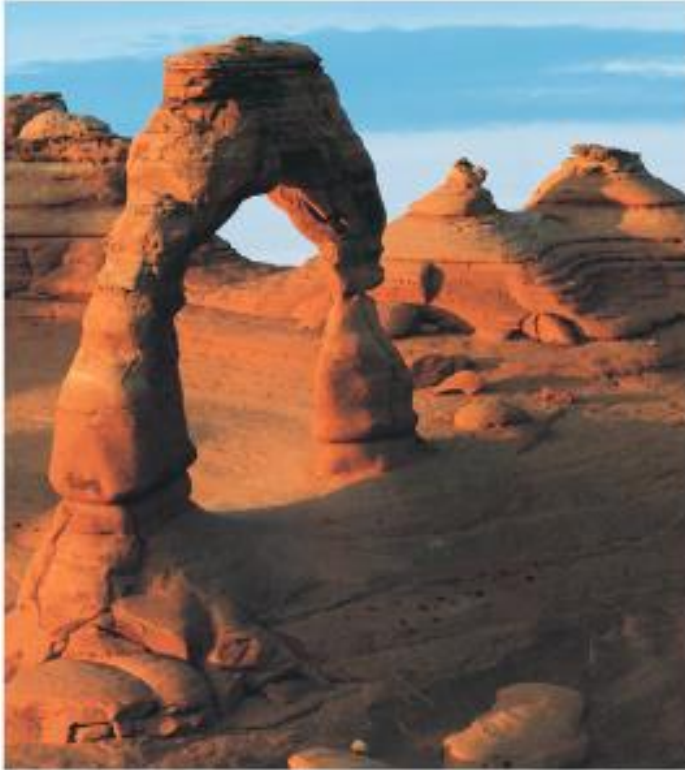


Water-filled crack Freezes to ice Breaks Rock

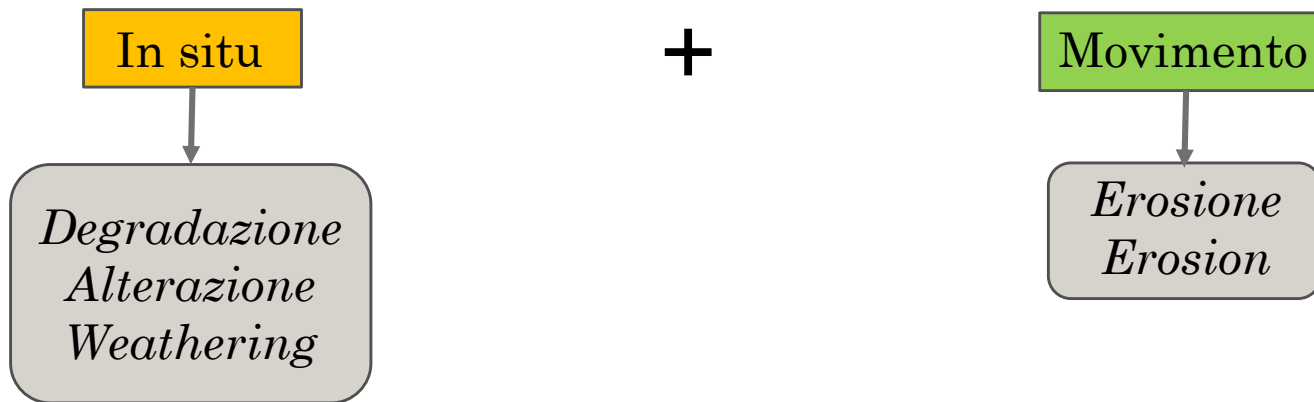


CHE COSA VEDE IL GEOMORFOLOGO

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

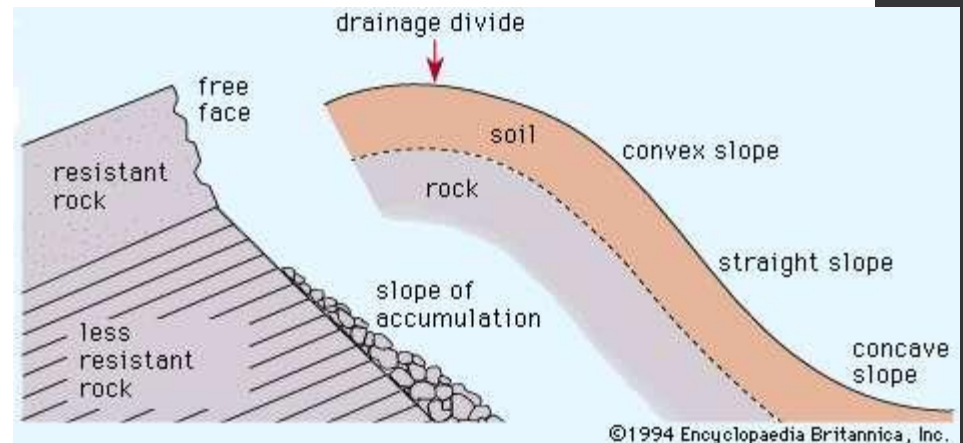
Quando prevale la degradazione e quando l'erosione?

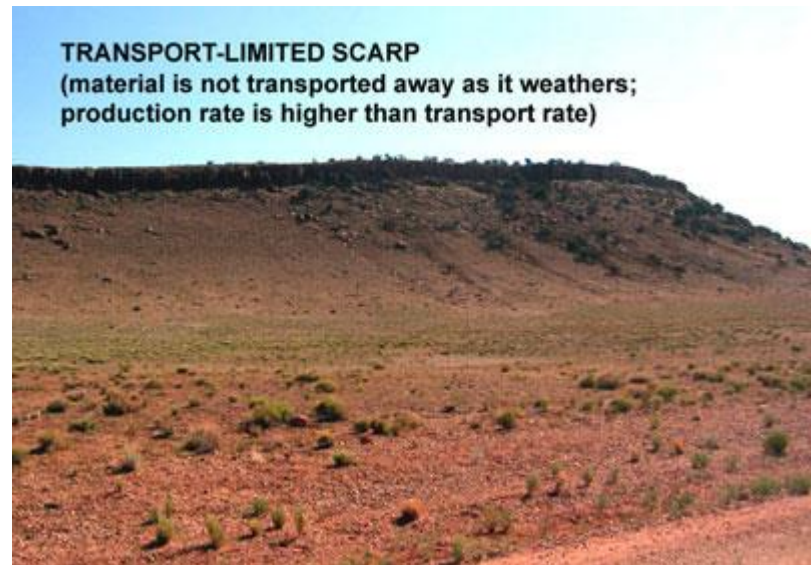
Transport-limited erosion *weathering-limited erosion*

- 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)





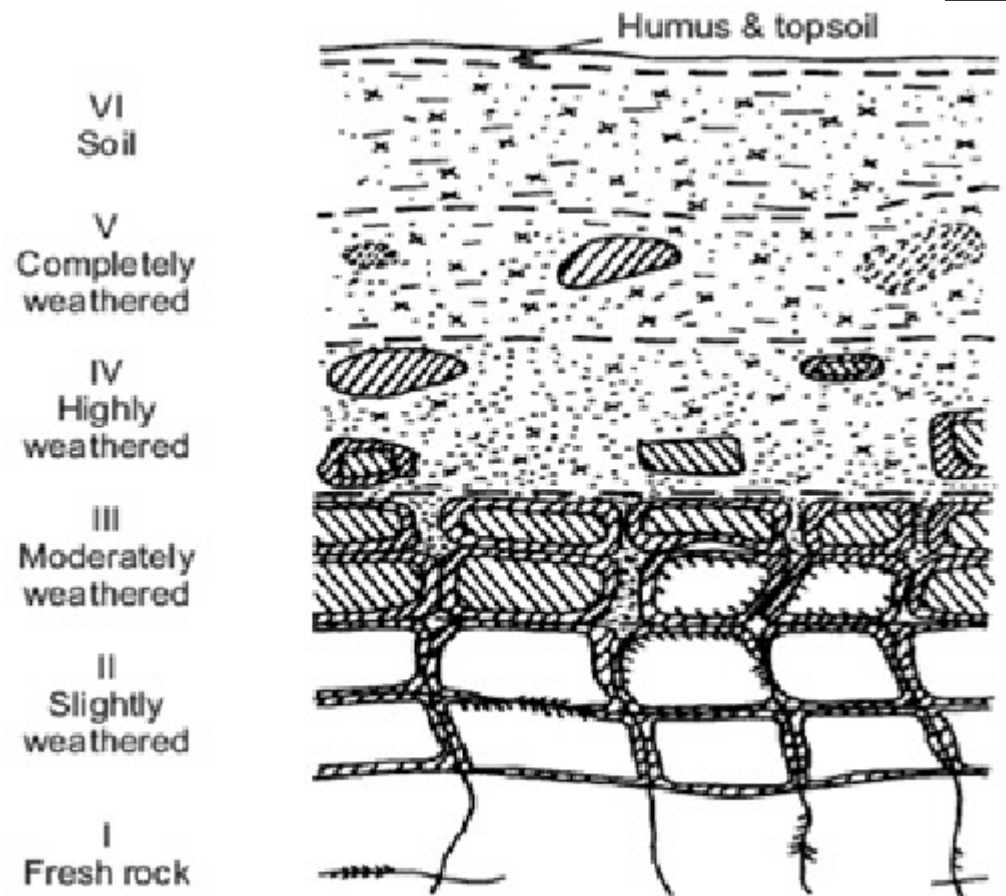
Weathering-Limited Slopes: Rates of soil/regolith production are less than rates of erosion
Transport-Limited Slopes: Rates of erosion are more rapid than rates to transport

Il profilo di degradazione

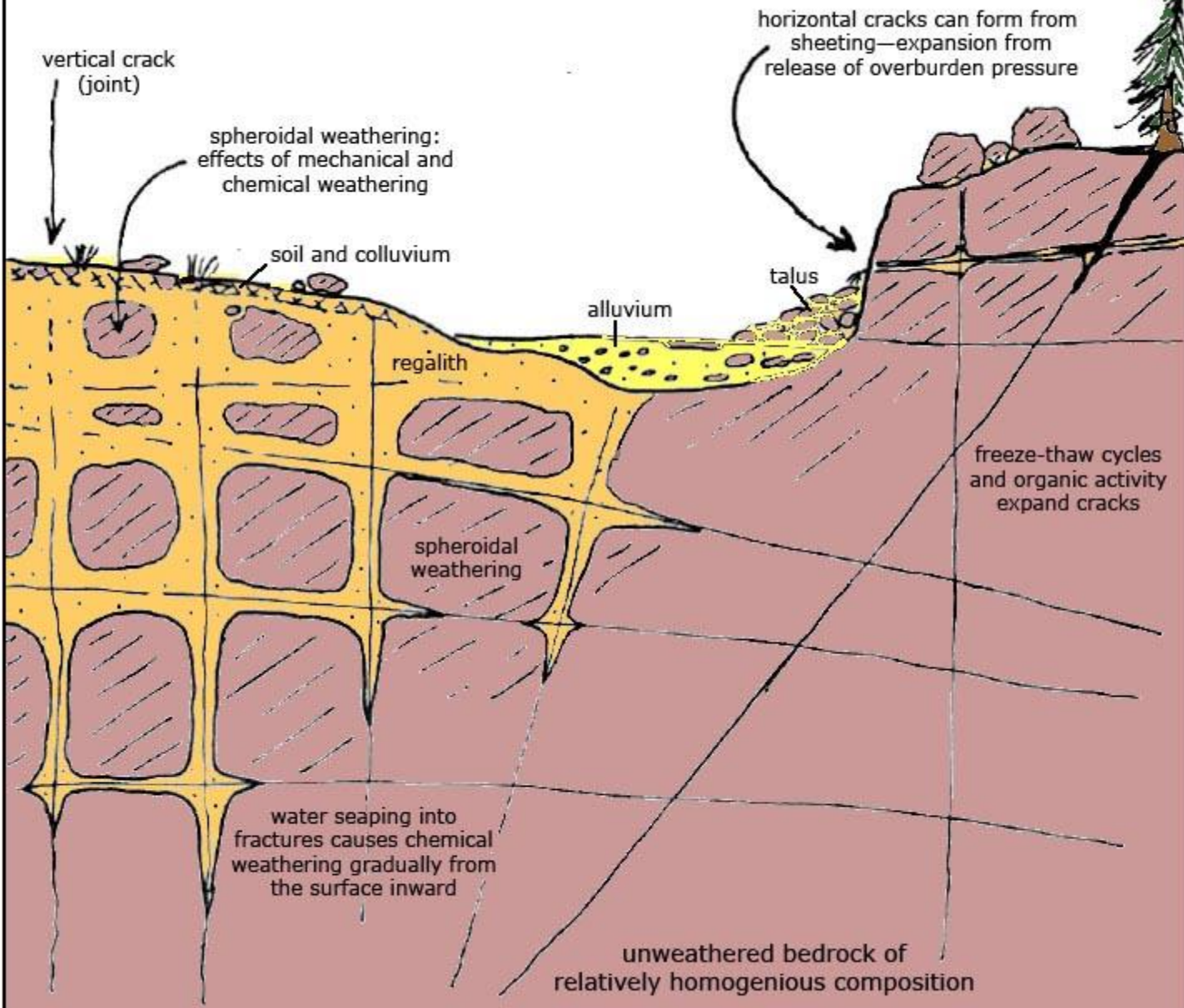
Cosa si trova sopra la roccia?

Il profilo di degradazione/alterazione

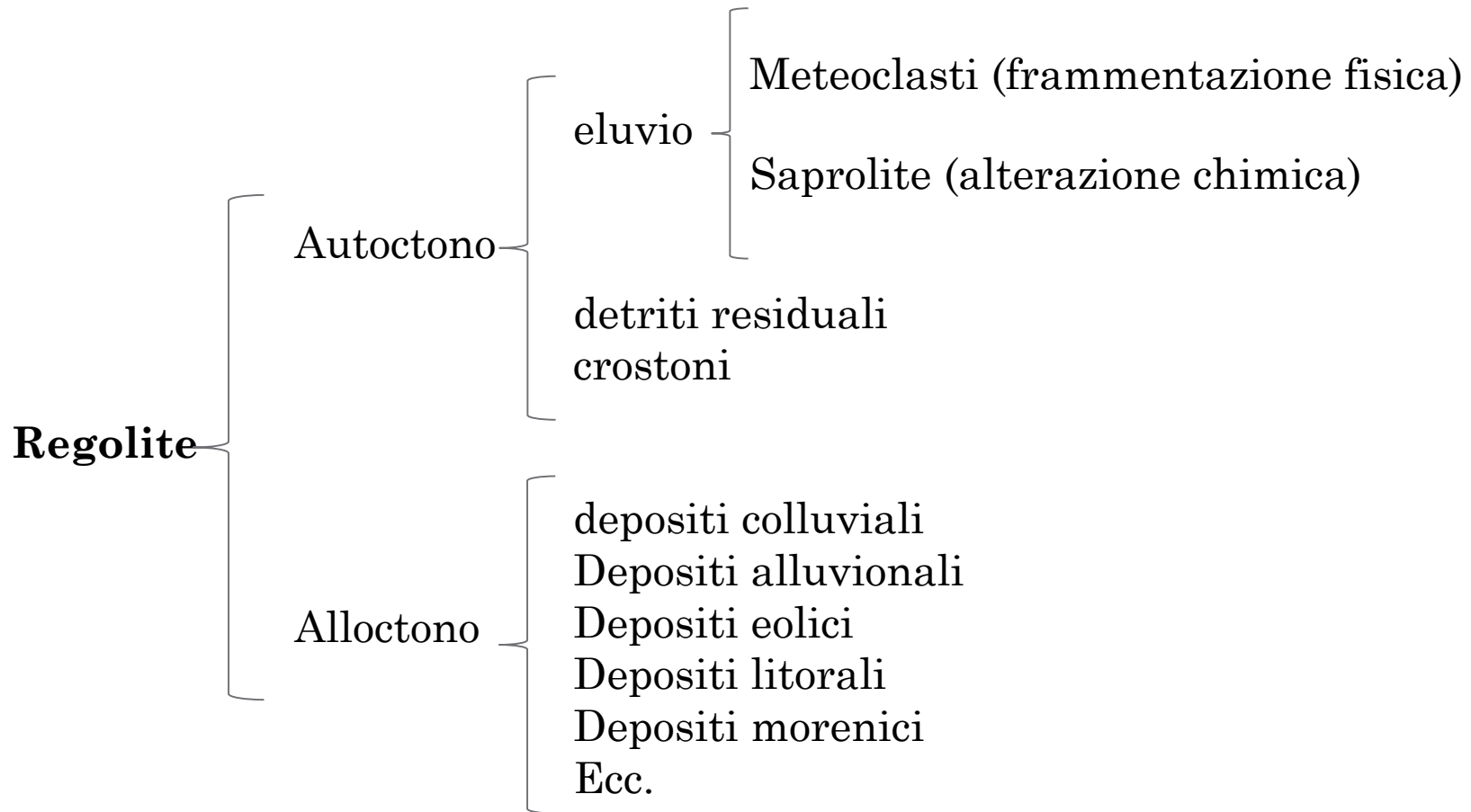
- Il profilo di degradazione rappresenta la struttura fisica in cui avvengono i processi di alterazione
- Si tratta della zona di passaggio tra l'atmosfera e la roccia non alterata;
- E' una zona fondamentale per molti processi di versante;
- Le rocce portate in superficie sono posizionate in una zona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



weathering features

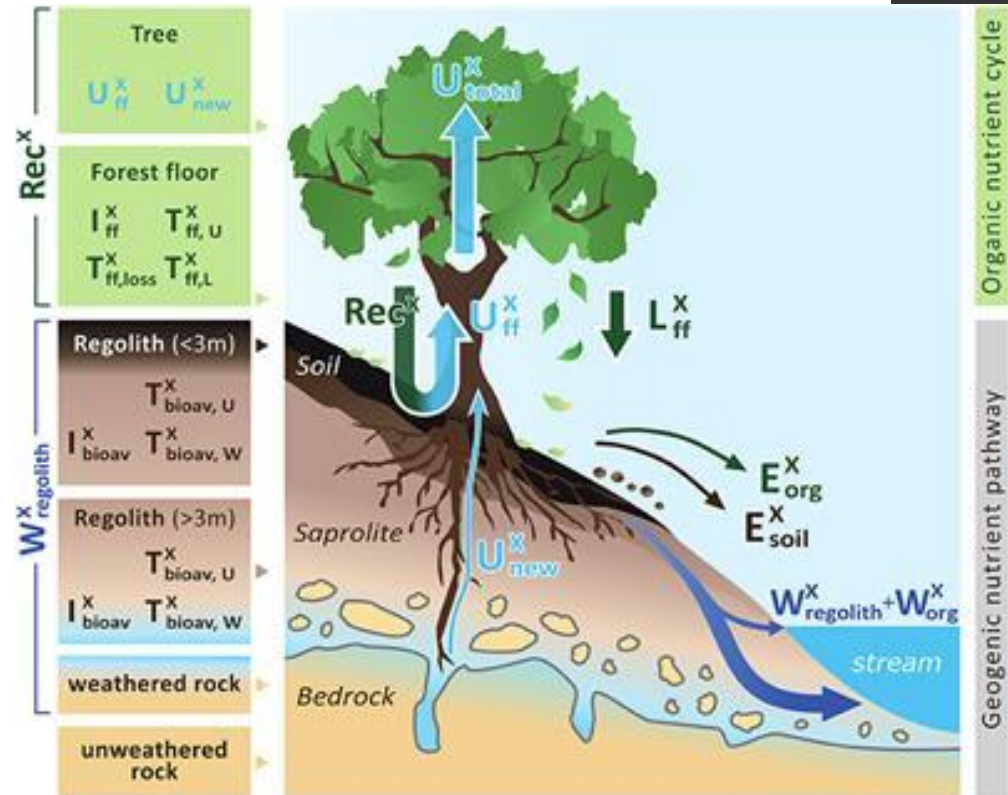


Suddivisione delle coperture detritiche



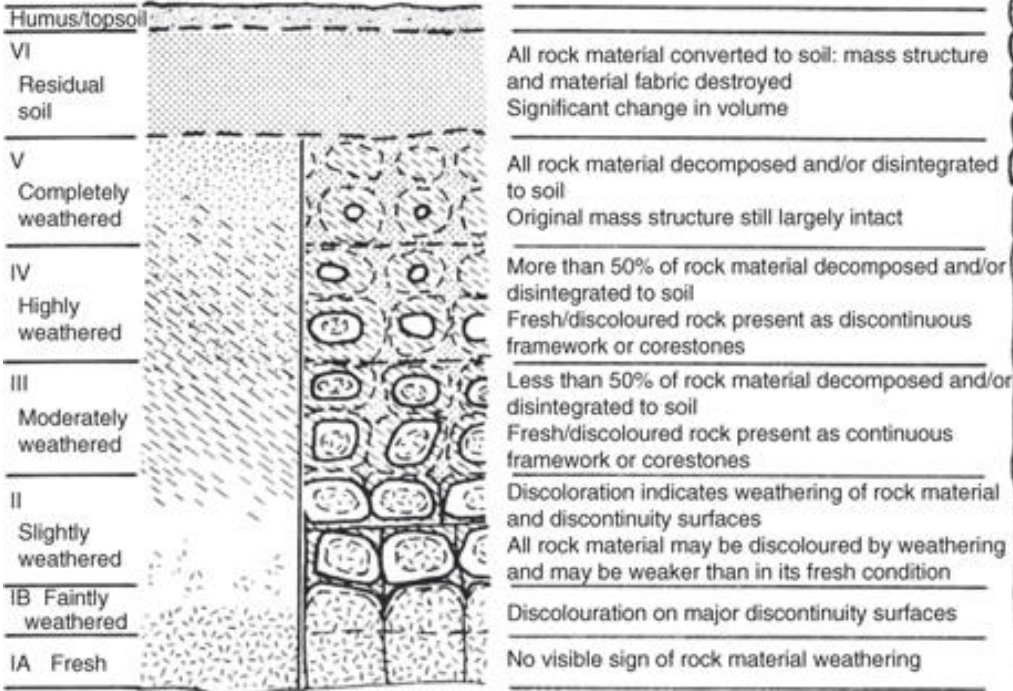
Dentro il profilo: La zona critica

- 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

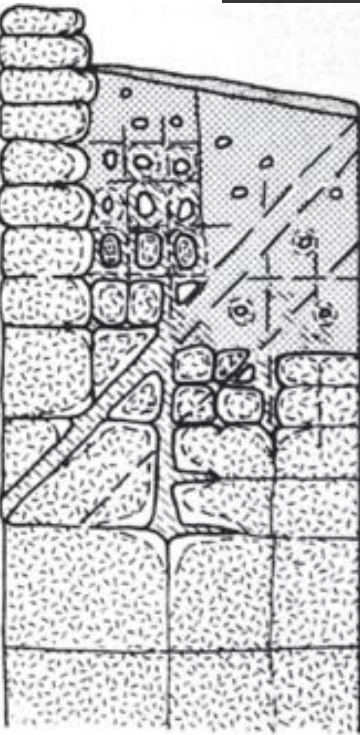
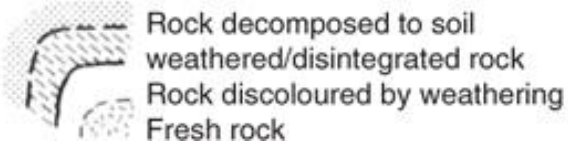




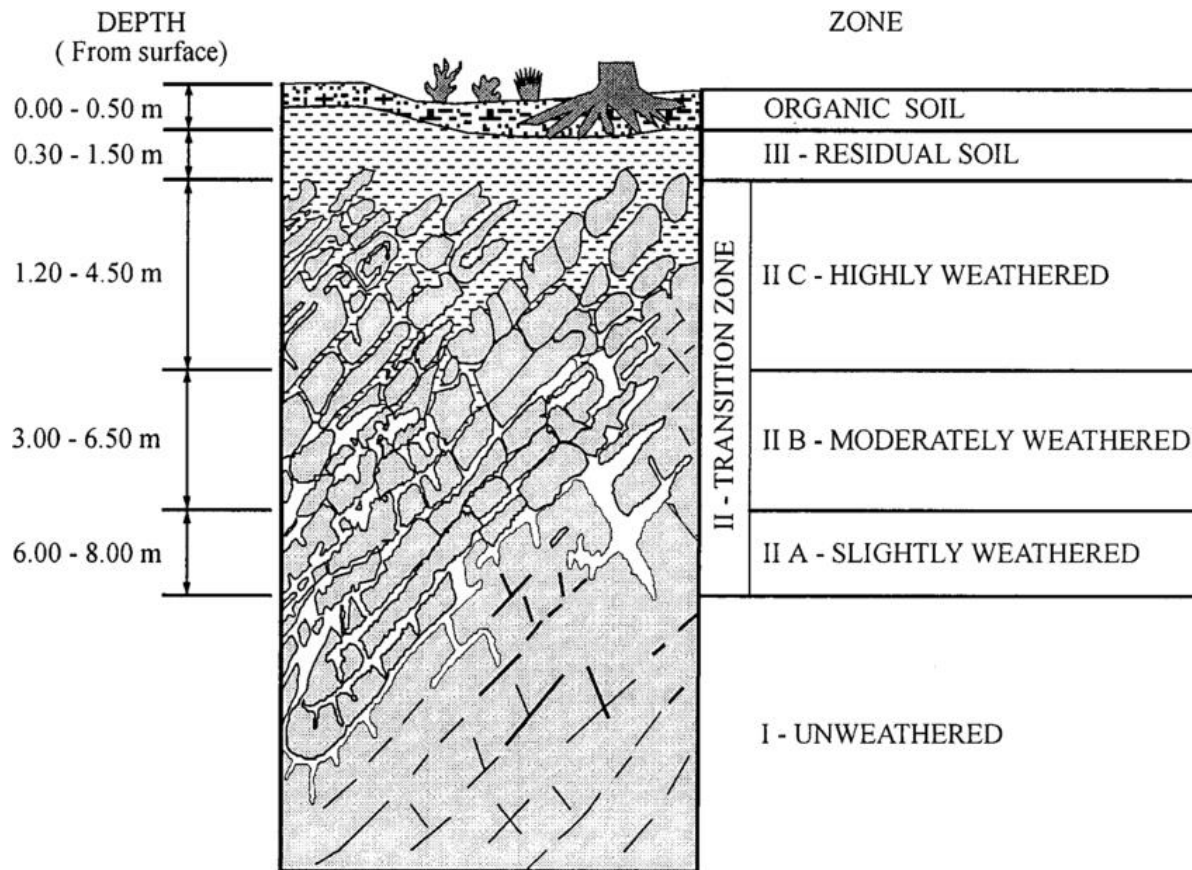
✘ La maggior parte dei minerali in questa zona si trovano in disequilibrio con le soluzioni circolanti nel profilo, innescando quindi processi di alterazione



(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

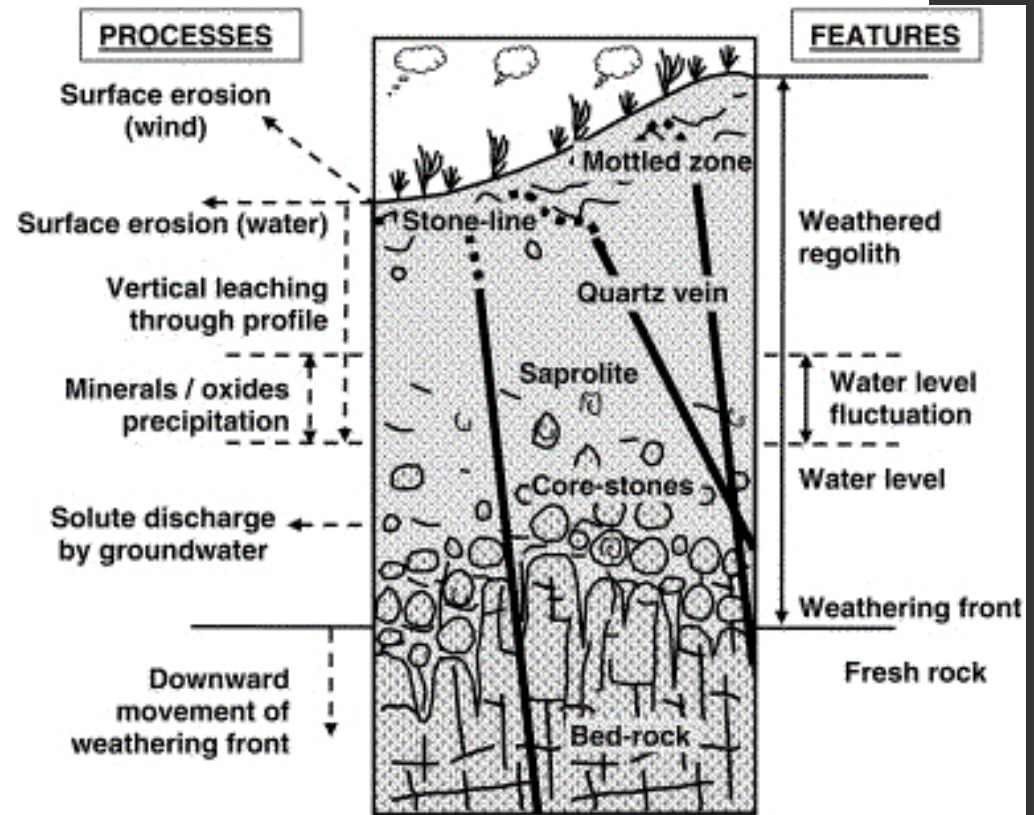
Idealized Profile	Sowers(1963) Igneous & Metamorphic	Deere & Patton (1971) All Rocks		Dearman(1976) All Rocks	Engineering Properties & Behavior	General Profile
	Soil	I Residual Soil	IA A-Horizons	VI Soil or True Residual Soil	Soil Structure Controlled	Topsoil
	Saprolite		IB B-Horizons	V Completely Weathered		Relict Discontinuity Controlled
	Partially Weathered Rock	IC C-Horizons (Saprolite)	IV Highly Weathered	Discontinuity Controlled	Weathered to Unweathered Rock Mass (Bedrock)	
	Solid Rock	II Weathered Rock	IIA Saprolite to Weathered Rock Transition			
			IIIB Partly Weathered Rock	II Slightly Weathered		
		III Unweathered Rock	I 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 volume¹
- × Varia tra 0 e 3=300%
- × Le fratture cambiano l'orientazione delle rocce nel profilo.

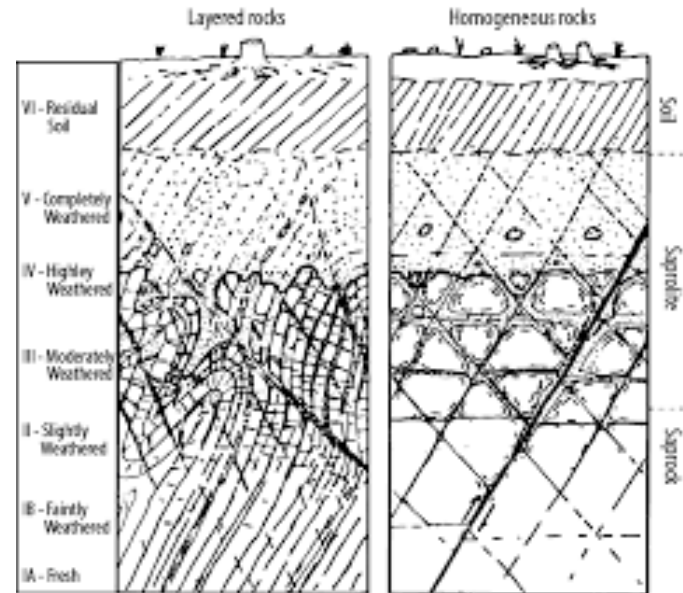


¹calcolato sulla base della concentrazione di Zr, un elemento non intaccato dai processi di alterazione ($\epsilon_{Zr, w}$).



Parametri: 2 mobilità del materiale

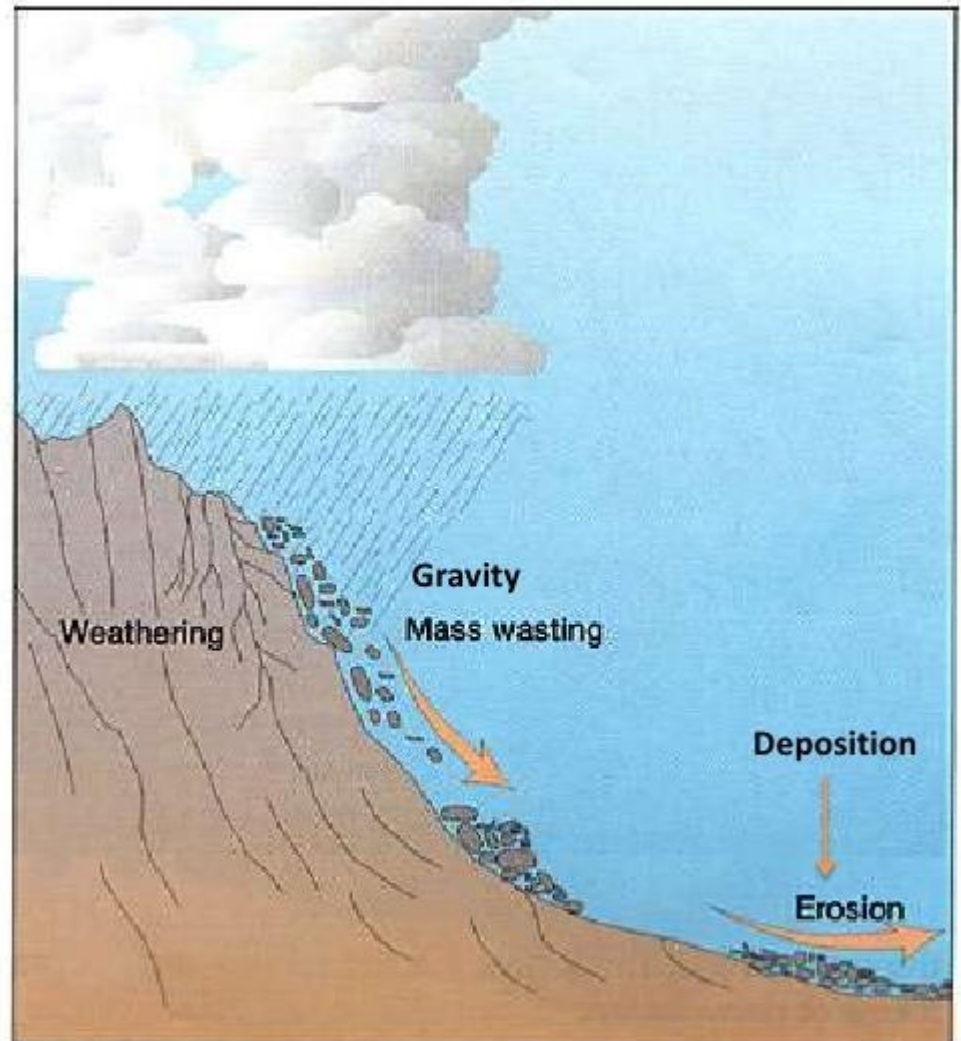
- × Le parti «reattive» più profonde del profilo sono date dalle fratture ad alto angolo, principalmente di origine tettonica;
- × Verso l'alto, le fratture sono via via più ossidate, con macchie ed aloni. Sopra il primo strato, le rocce sono ancora intatte, ma completamente ossidate;
- × La densità 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.

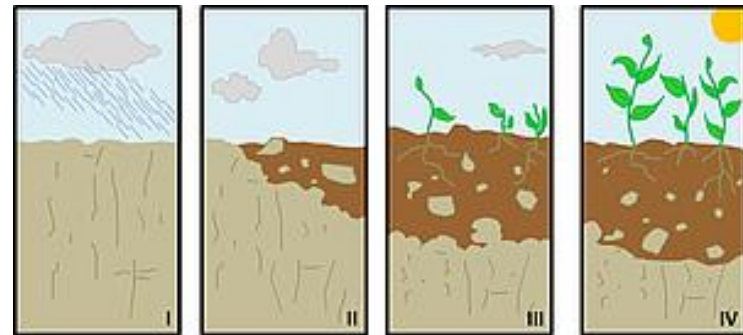


Tempo di formazione del suolo

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.



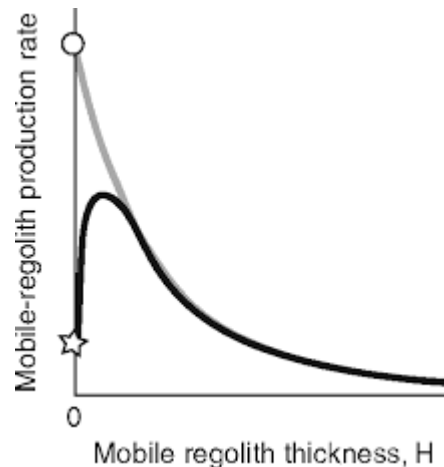
Processi sulla superficie (Suolo) - Pedogenesi

Processo	Effetto sui materiali del suolo	Descrizione
Eluviazione	Traslocazione	Asportazione di materia da uno strato di suolo
Illuviazione	Traslocazione	Deposizione di materia in uno strato di suolo
Dilavamento	Sottrazione	Allontanamento in soluzione di materiali
Arricchimento	Aggiunta	Aggiunta di materiale al suolo
Erosione superficiale	Sottrazione	Asportazione di materiale dalla superficie del suolo
Cumulazione	Aggiunta	Deposizione di materia alla superficie del suolo
Decarbonatazione	Traslocazione	Rimozione del carbonato di calcio da uno o più orizzonti di suolo
Carbonatazione	Traslocazione	Deposizione di carbonato di calcio in uno o più orizzonti di suolo
Salinizzazione	Traslocazione	Accumulo di sali solubili (solfati , cloruri) in uno o più orizzonti di suolo
Desalinizzazione	Traslocazione	Rimozione di sali solubili da uno o più orizzonti di suolo
Alcalinizzazione	Traslocazione	Aumento della percentuale di ioni sodio nel complesso di scambio
Dealcalinizzazione	Traslocazione	Rimozione di ioni sodio da un orizzonte <i>natrico</i>
Lisciviazione	Traslocazione	Movimento meccanico di particelle tra orizzonti, con la produzione di orizzonti distinti, <i>eluviale</i> e <i>illuviale</i>
Pedoturbazione	Traslocazione	Rimescolamento biologico o fisico dei materiali del suolo, con omogeneizzazione del profilo
Podzolizzazione	Traslocazione Trasformazione	Rimozione per via chimica dell'alluminio, del ferro e della sostanza organica con accumulo residuale di silice in uno strato eluviato
Desilicizzazione	Traslocazione Trasformazione	Rimozione per via chimica della silice con accumulo residuale di ferro, alluminio e minerali inalterabili, con possibile formazione di croste e strati induriti
Decomposizione	Trasformazione	Alterazione di materiali, sia minerali che organici
Sintesi	Trasformazione	Genesi di composti complessi, sia minerali che organici
Melanizzazione	Aggiunta Trasformazione	Iscurimento di un orizzonte minerale di suolo per mescolamento con sostanza organica unificata
Leucinizzazione	Trasformazione	Schiarimento di un orizzonte di suolo per rimozione della sostanza organica
Lettieramento	Aggiunta	Accumulo di residui, sia vegetali che animali, alla superficie del suolo
Umificazione	Trasformazione	Produzione di humus a partire da materiale organico grezzo
Paludizzazione o impaludamento	Trasformazione	Accumulo di sostanza organica in sedimenti profondi (torba)
Maturazione	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)
Mineralizzazione	Trasformazione	Decomposizione della sostanza organica fino a ioni minerali
Brunificazione Rubefazione Ferruginazione	Traslocazione 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>).
Gleyzzazione	Traslocazione	Riduzione del ferro, in condizioni di saturazione idrica, con produzione di suoli con colori smorti (grigio-bleu, grigio-verde)

Classificazione di Buol (1980)

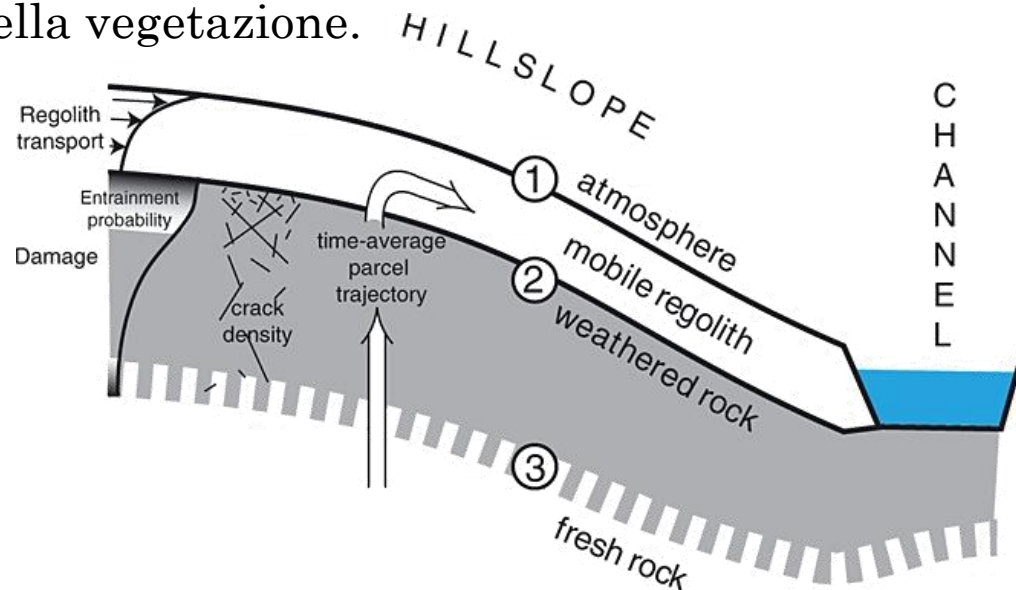
Modelli di produzione di regolite mobile

- 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)**

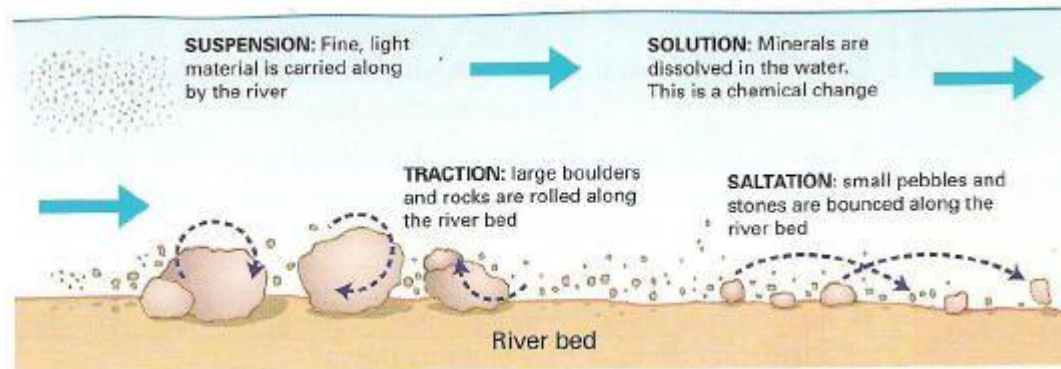
Perdita di massa

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

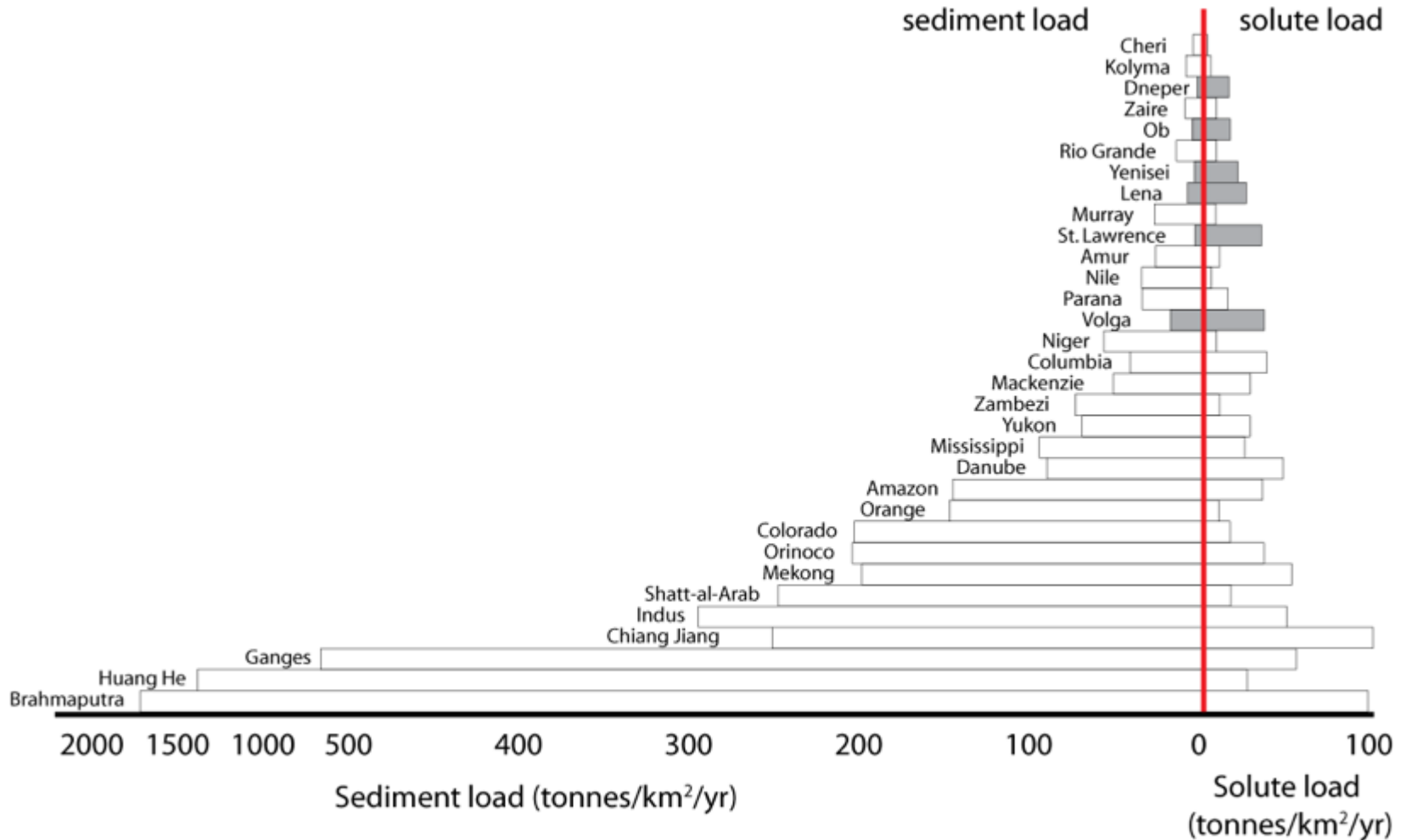
$$E_{\text{tot}} = E_{\text{diss}} + E_{\text{part}} \text{ (denudazione totale specifica)}$$

- ✘ 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 (5277×10^6 T/anno) che in forma sciolta (1383×10^6 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?

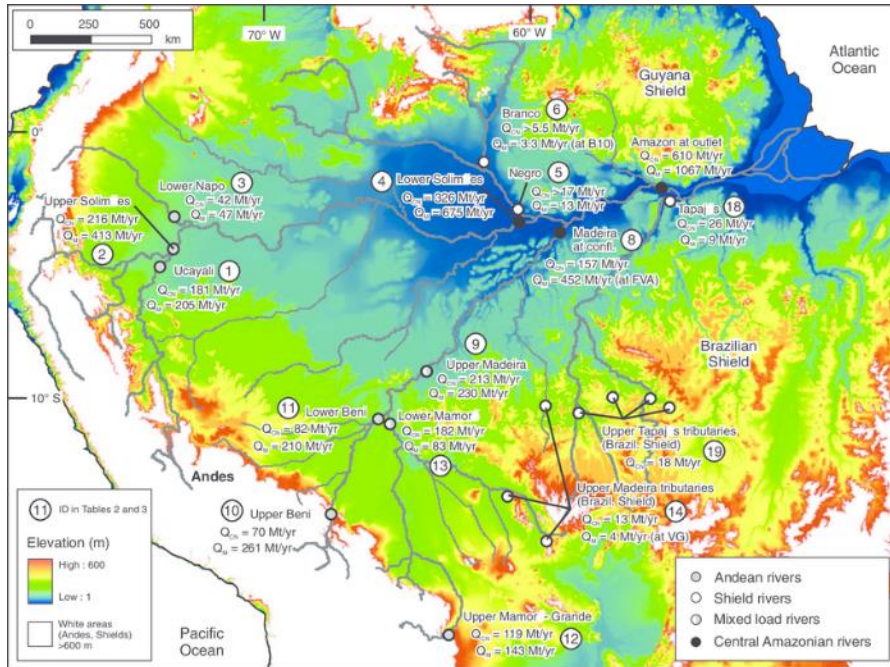


Carico sedimentario e di materiali sciolti dei principali fiumi nel mondo (Summerfield, 1991)

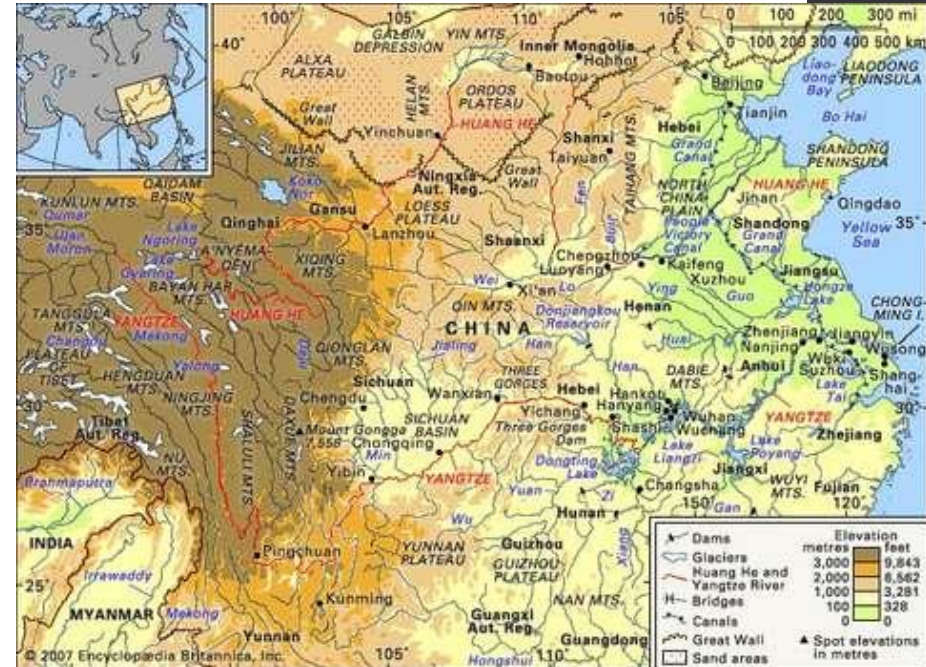
Tasso di denudazione medio totale

- 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/m³) 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)



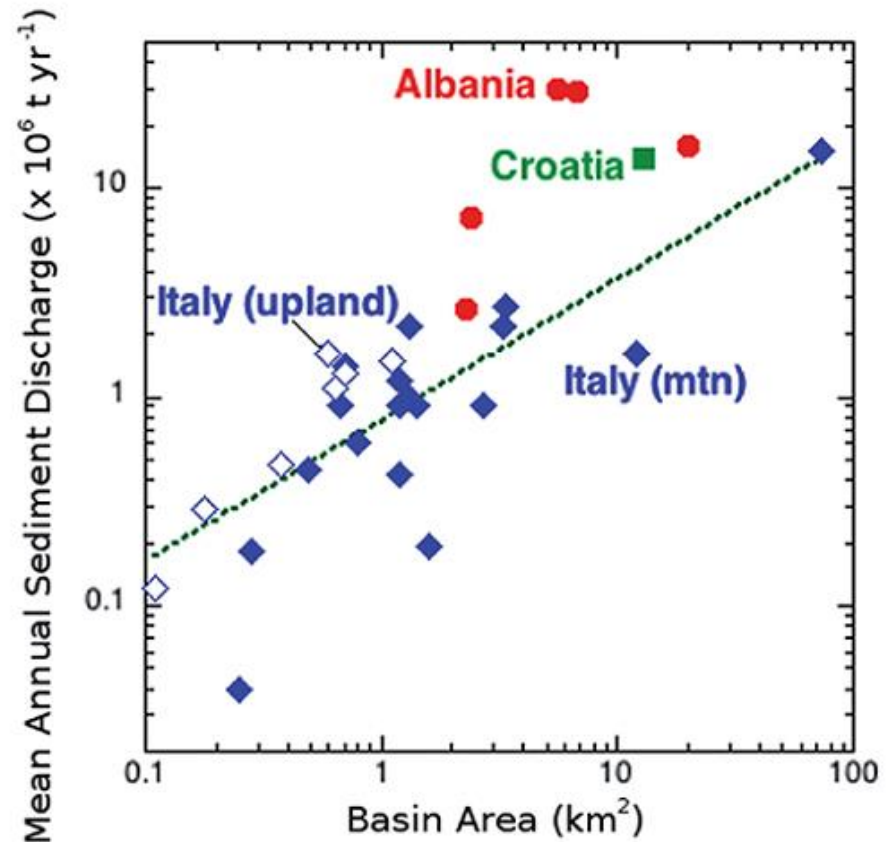
Encyclopedia Britannica

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 km² (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 ⁶ km ²)	Water discharge (km ³ /yr)	Specific discharge (m/yr)	Dissolved load (Tg/yr)	Specific dissolved flux (tonnes/km ² yr)	Suspended load (Tg/yr)	Specific suspended flux (tonnes/km ² 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
Sum		31.87	14 896		1383		5277			
Mean				0.48		60		282	1.72	129

TASSI DI MICROEROSIONE

The micro erosion meter (MEM)

- The micro erosion meter allows to collect from 1 to 3 measure for each station
- Measures must be collected for many years



The traversing micro erosion meter (TMEM)

- Many measuring points can be obtained for each station
- A statistical analysis of erosion rates can be carried out
- Data can be directly downloaded to the laptop



The automatic micro erosion meter (AMEM)

- It is completely automated
- Hundreds of data can be obtained in few time
- Data can be collected also on vertical or sub-vertical surfaces





Coastal processes

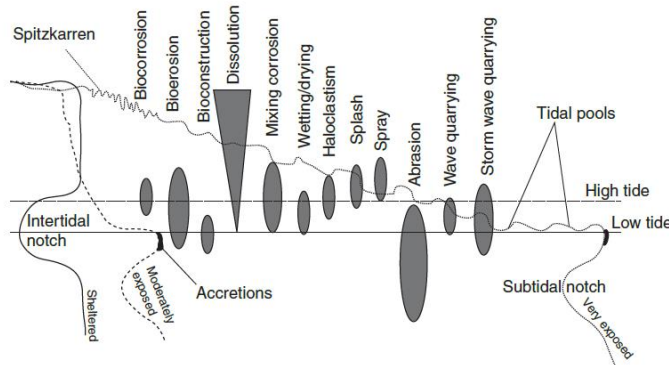


Figure 2 General scheme of the vertical zonation of geomorphic processes on a sheltered, moderately exposed, and very exposed limestone coast at middle and low latitudes.

- The littoral zone is interested both by marine processes and subaerial processes
- Subaerial processes decrease toward the sea, while marine and, on the contrary, marine processes increase

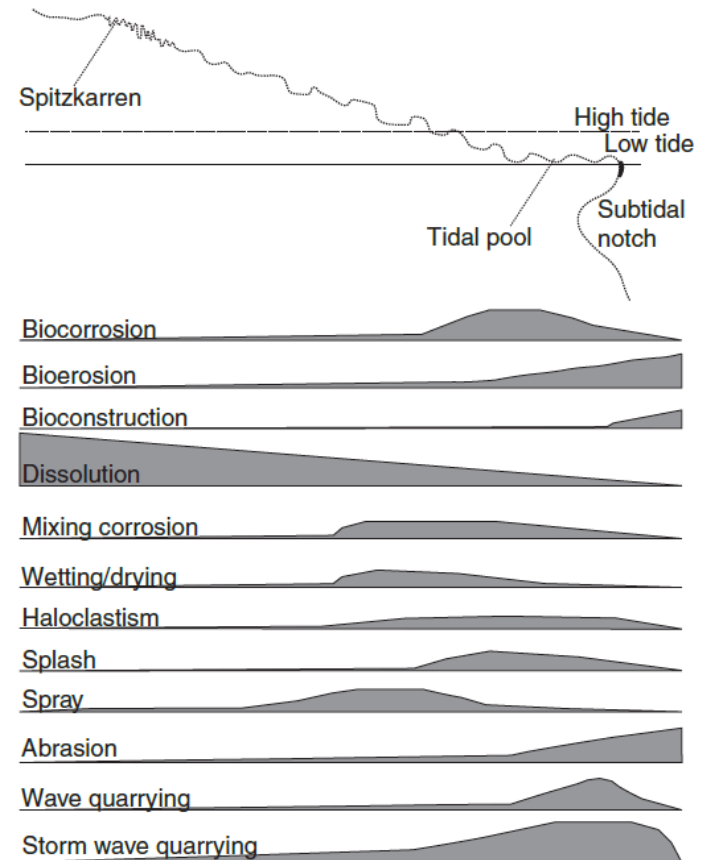
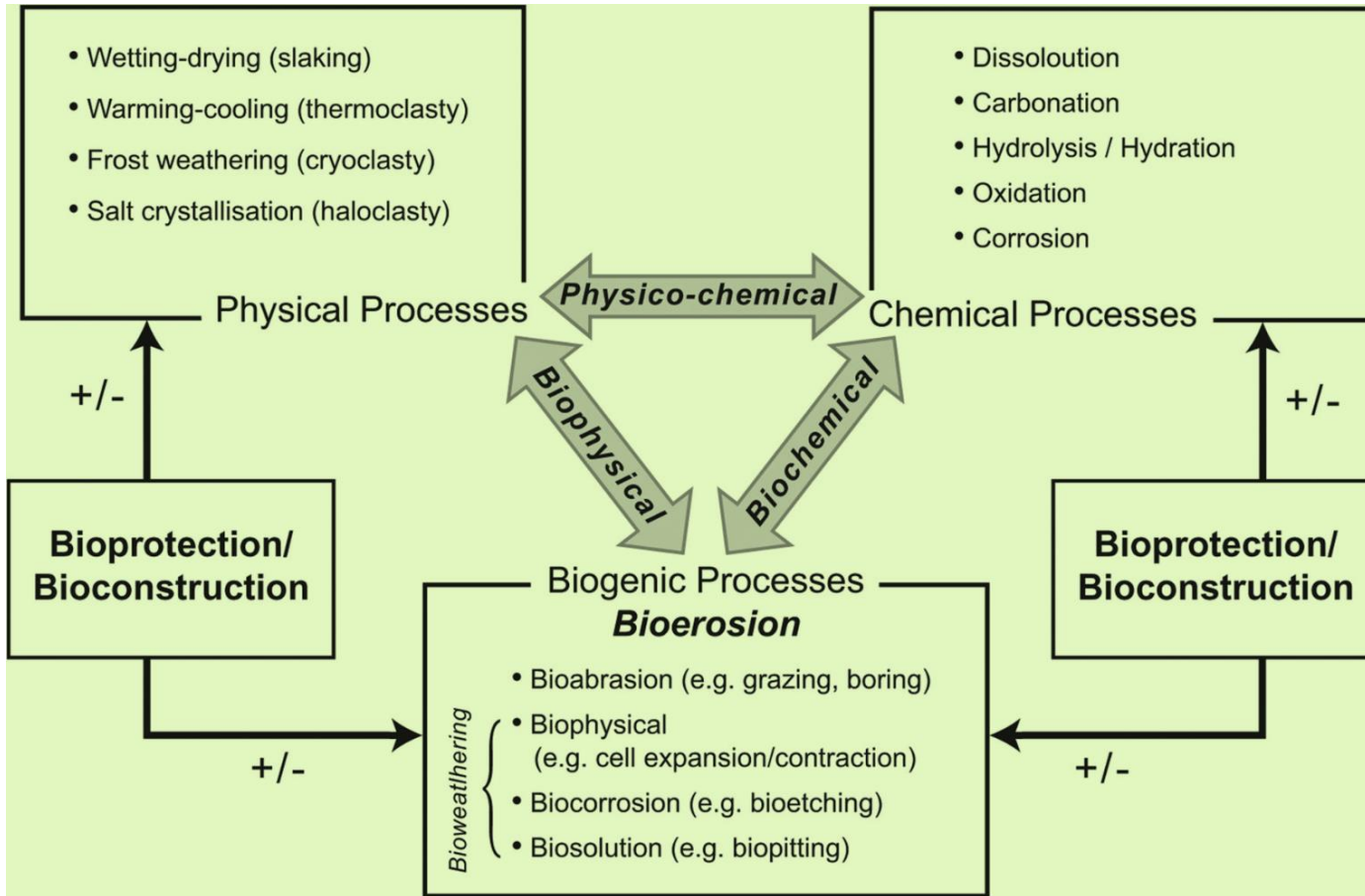
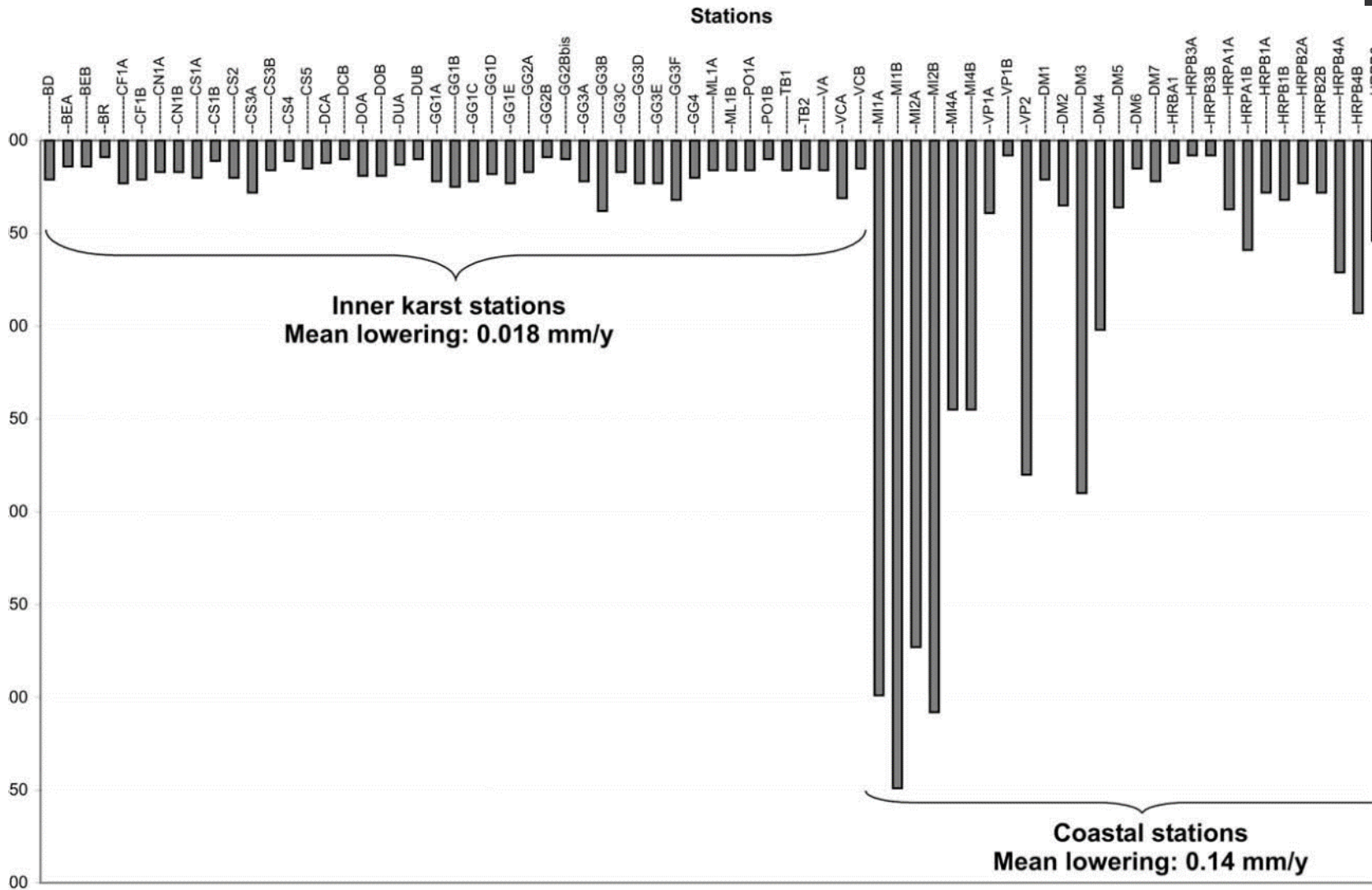


Figure 3 General scheme of the horizontal zonation of geomorphic processes on a limestone coast at middle and low latitudes. Thickness of gray horizontal bars is indicative of the importance of the process.

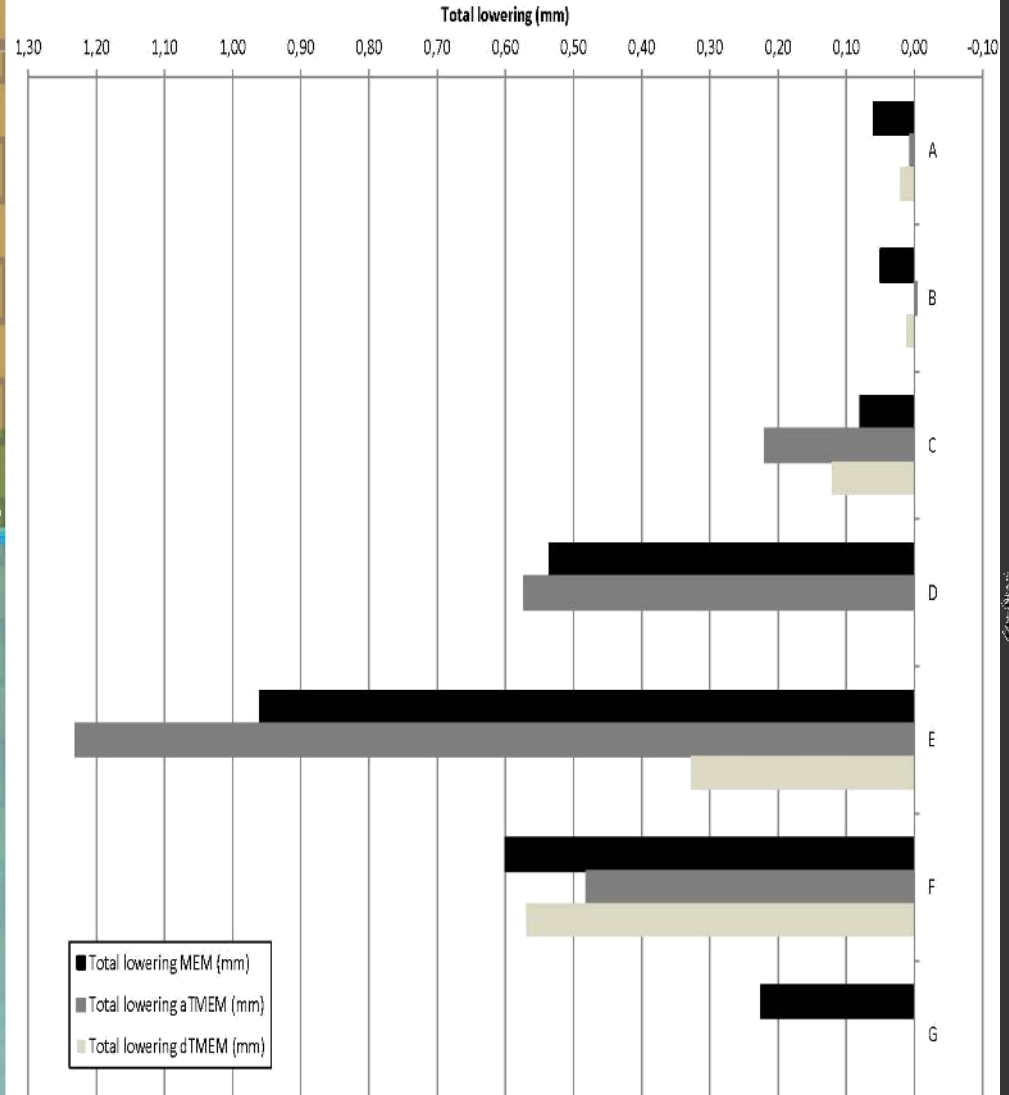
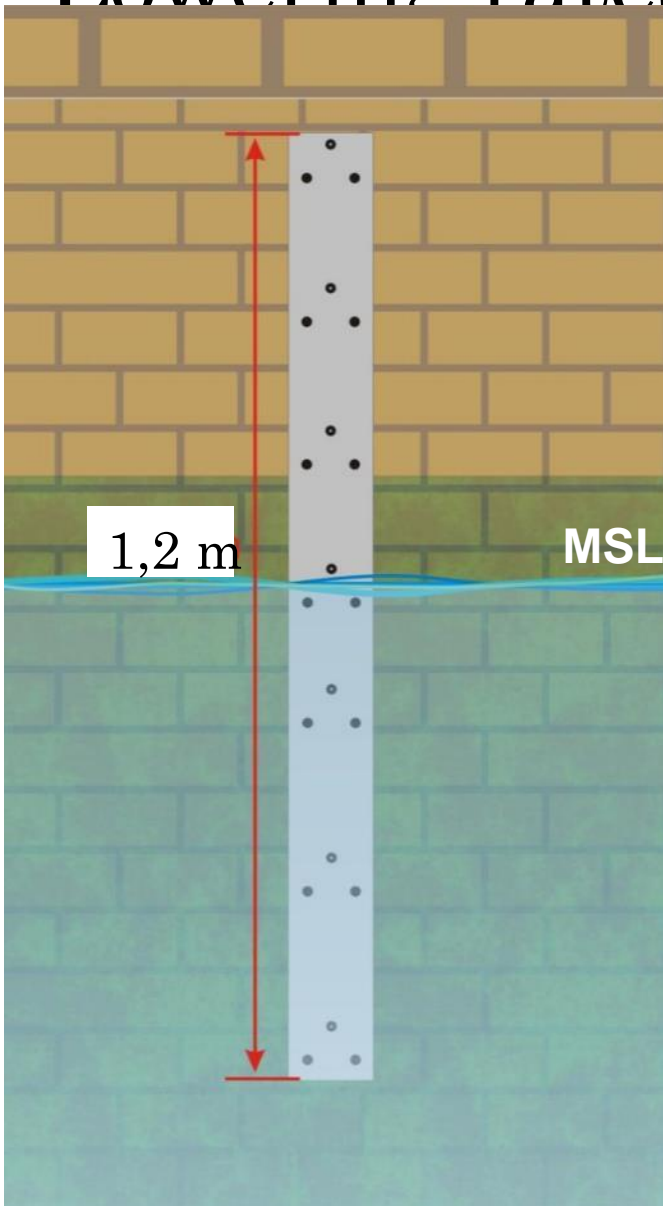


Coastal vs subaerial lowering rates



From FURLANI et al. (2009) - Geomorphology

Lowering rates in the mid-tidal zone



Inland rates and coastal rates

Table 1 Limestone lowering rates collected using MEM, TMEM, and laser scanner

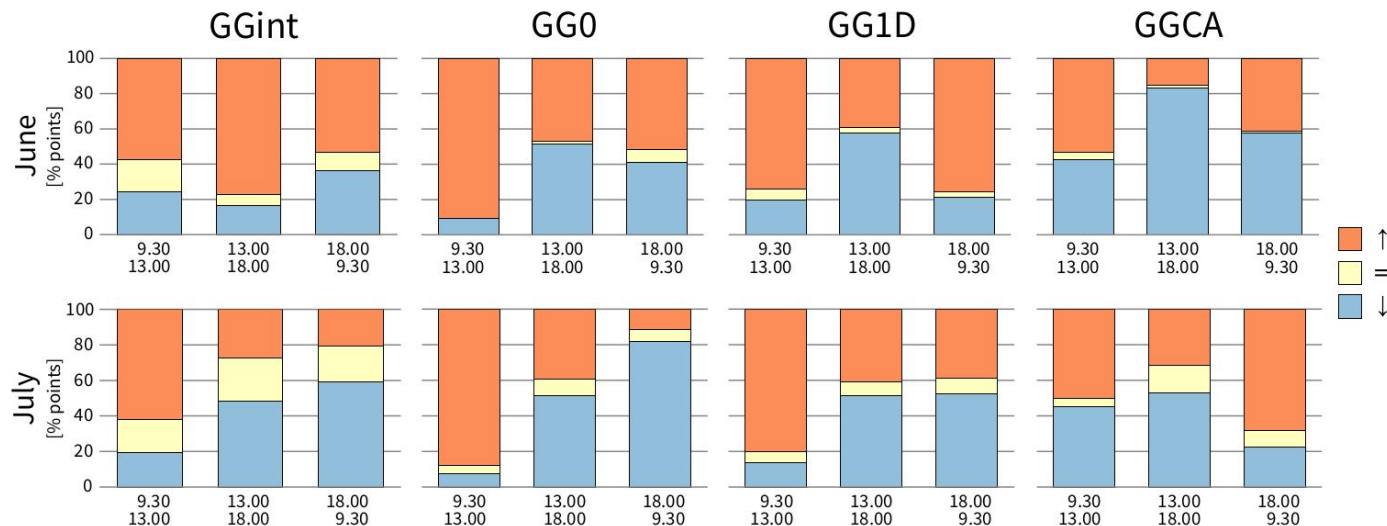
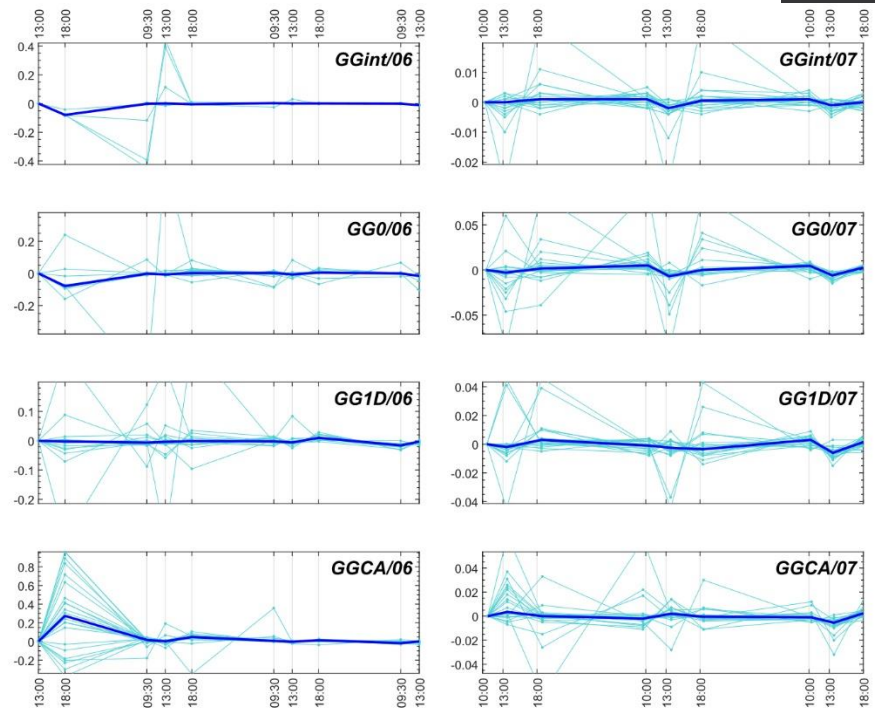
<i>Authors</i>	<i>Location</i>	<i>Mean annual rates (mm yr⁻¹)</i>
Cucchi and Forti (1989)	Coastal classical karst (Italy)	0.009–0.194 (coastal karst morphologies)
Spencer (1985)	Grand Cayman Islands	0.29–3.67 (subtidal), 0.31–3.01 (intertidal), 0.09–1.77 (surf platform)
Kirk (1977)	Kaikoura Peninsula	1.53 (shore platform)
Stephenson and Kirk (1996)	Kaikoura Peninsula	1.10 (limestone platforms)
Stephenson (1998)	Kaikoura Peninsula	0.875 (limestone platforms)
Torunski (1979)	Gulf of Piran, Slovenija	0.07–1.114 (intertidal limestones)
Trudgill et al. (1976)	Aldabra Atoll, Indian Ocean	2.0–4.0
Trudgill et al. (1981)	Country Clare (Ireland)	0.145–0.383
Viles and Trudgill (1984)	Aldabra Atoll, Indian Ocean	1.27 (Ramp edge), 2.20 (Ramp foot)
Neves et al. (2001)	Portugal	0.153 (Intertidal limestone)
Furlani et al. (2009)	Northeastern Adriatic coast	0.08–2.966 (intertidal limestones)
Furlani et al. (2010)	Northeastern Adriatic coast	(intertidal limestone manmade slab)
Swantesson et al. (2006)	Mallorca	0.090 (coastal limestone)

Source: Adapted from Stephenson, W.J., Finlayson, B.L., 2009. Measuring erosion with the micro-erosion meter – Contributions to understanding landform evolution. *Earth-Science Reviews* 95, 53–62; Furlani, S., Cucchi, F., Forti, F., Rossi, A., 2009. Comparison between coastal and inland Karst limestone lowering rates in the northeastern Adriatic Region (Italy and Croatia). *Geomorphology* 104, 73–81, and Furlani, S., Cucchi, F., Odorico, R., 2010. A new method to study microtopographical changes in the intertidal zone: one year of TMEM measurements on a limestone removable rock slab (RRS). *Zeitschrift für Geomorphologie N.F.* 54, 137–151.

From De Waele & Furlani (2013) – *Treatise on Geomorphology*

Variazioni giornaliere

- Le variazioni di quota, sull'ordine del centesimo di millimetro, sono legate alle variazioni giornaliere di temperatura e umidità
- Le variazioni microtopografiche sono maggiori con temperature maggiori



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?