



Università
degli Studi
di Ferrara

Dipartimento di Studi
Umanistici



Evoluzione del Paesaggio

Prof. Marco Peresani

A.A. 2020-2021

Lezione 3

I minerali



L'ametista, una varietà di quarzo (SiO_2)



*Fetta di agata rossa (Quarzo
criptocristallino SiO_2)*

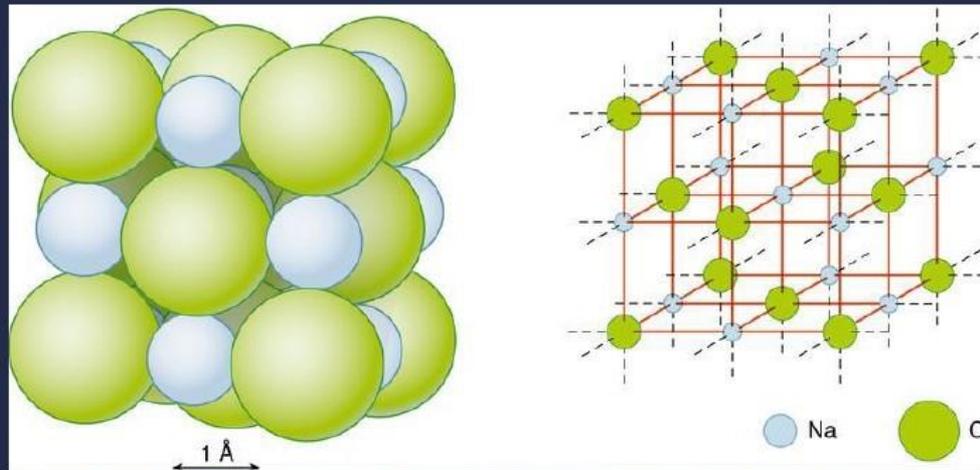
<http://it.wiki/File:/>

Evoluzioni

Un minerale è una sostanza naturale solida, con due caratteristiche fondamentali: una **composizione chimica** ben definita (o variabile entro ambiti ristretti) e una **disposizione ordinata** e regolare degli atomi che la costituiscono, fissa e costante per ogni tipo di minerale. I minerali che costituiscono la crosta terrestre sono formati dalla combinazione degli stessi elementi chimici che si ritrovano in tutto l'Universo. Alcuni minerali, come l'oro e l'argento, sono formati da un solo tipo di elemento, ma la maggior parte sono il risultato della combinazione di più elementi, legati tra loro in un composto chimico.

Quasi tutti i minerali hanno una **struttura cristallina**, cioè un'«impalcatura» di atomi regolare e ordinata. Da questa struttura invisibile si origina la forma esterna del minerale, che è invece ben visibile e altrettanto regolare e che viene chiamata abito cristallino o cristallo. La struttura interna di un cristallo di un qualunque minerale è quindi caratterizzata da una disposizione degli atomi nello spazio che si ripete a intervalli regolari lungo più direzioni. La struttura tridimensionale che così si realizza viene genericamente chiamata **reticolo cristallino** e si presenta come allineamenti regolari di atomi.

Filmato:
La struttura
cristallina
dei minerali
(Zanichelli)



http://ebook.scuola.zanichelli.it/lupia_globoblu/i-minerali#21

Struttura del salgemma. Qui a lato, la posizione nello spazio degli ioni Na^+ e Cl^- è indicata in modo schematico da sferette che occupano i vertici di cubi ideali, alternandosi regolarmente lungo i filari. A sinistra, le sfere rappresentano le corrette dimensioni relative dei due tipi di ioni (1 \AA , ångström = 10^{-10} m). (Il tratteggio mette in evidenza i filari ideali lungo i quali gli atomi si allineano con regolarità.)

I minerali sono il risultato di una serie di reazioni chimico-fisiche che hanno come esito il **processo di cristallizzazione**, cioè il passaggio da un insieme di atomi disordinati a porzioni di materia rigorosamente ordinata.

- **Cristallizzazione** per raffreddamento di un materiale fuso. Gli atomi o i gruppi di atomi si aggregano per formare i reticoli cristallini tipici dei composti chimici che possono formarsi a seconda della natura del fuso.

- **Precipitazione** da soluzioni acquose calde in via di raffreddamento. Al diminuire della temperatura, si formano via via cristalli di specie mineralogiche diverse, a seconda della composizione chimica della soluzione.

- **Sublimazione** di vapori caldi. Le esalazioni vulcaniche, per esempio, possono determinare la formazione di cristalli su superfici relativamente fredde vicine alla zona di fuoriuscita dei vapori.

- **Evaporazione** di soluzioni acquose, soprattutto acque marine.

- **Attività biologica**, che porta alla costruzione di gusci o apparati scheletrici.

- **Trasformazioni** allo stato solido di minerali già esistenti prodotte da variazioni di temperatura o di pressione (o di entrambe).

Le rocce

Per **rocce** si intendono gli **aggregati naturali di minerali**. Tuttavia, al contrario dei minerali, le rocce non possono essere espresse o definite mediante formule chimiche in quanto non presentano una composizione chimica definita. Le rocce sono frequentemente costituite da più minerali, quindi sono eterogenee. Le rocce omogenee, invece, contengono un unico tipo di minerale. In questo particolare caso la distinzione tra roccia e minerale diventa molto sottile (esempio: dolomia – dolomite).

Con il termine **struttura** si indica la disposizione dei singoli minerali e delle particelle componenti una roccia, il modo di aggregarsi e le reciproche relazioni.

Con il termine **tessitura** si indica la dimensione delle particelle di una roccia, in genere visibili a scala microscopica o con l'aiuto di una lente d'ingrandimento, in taluni casi può essere definita anche ad occhio nudo.

Le masse rocciose di cui è costituita la crosta si originano ed evolvono in condizioni molto varie. È possibile individuare tre principali processi litogenetici, cioè «generatori di rocce»:

- il processo **magmatico**,
- il processo **sedimentario**,
- il processo **metamorfico**.

Essi sono tra loro chiaramente distinti, anche se non mancano passaggi e sovrapposizioni.

Il **processo magmatico** è caratterizzato dalla presenza iniziale di un magma che risale dall'interno della Terra ad alta temperatura, da parecchie centinaia al migliaio di gradi, in condizioni di pressione molto varie. La progressiva diminuzione della temperatura porta alla **crystallizzazione del magma** e quindi alla formazione di aggregati di minerali che costituiscono le rocce magmatiche, anche chiamate ignee.



Gerðuberg - Islanda

*Lave basaltiche
colonnari. La
fessurazione che isola
le «colonne» è dovuta
al processo di
raffreddamento.*

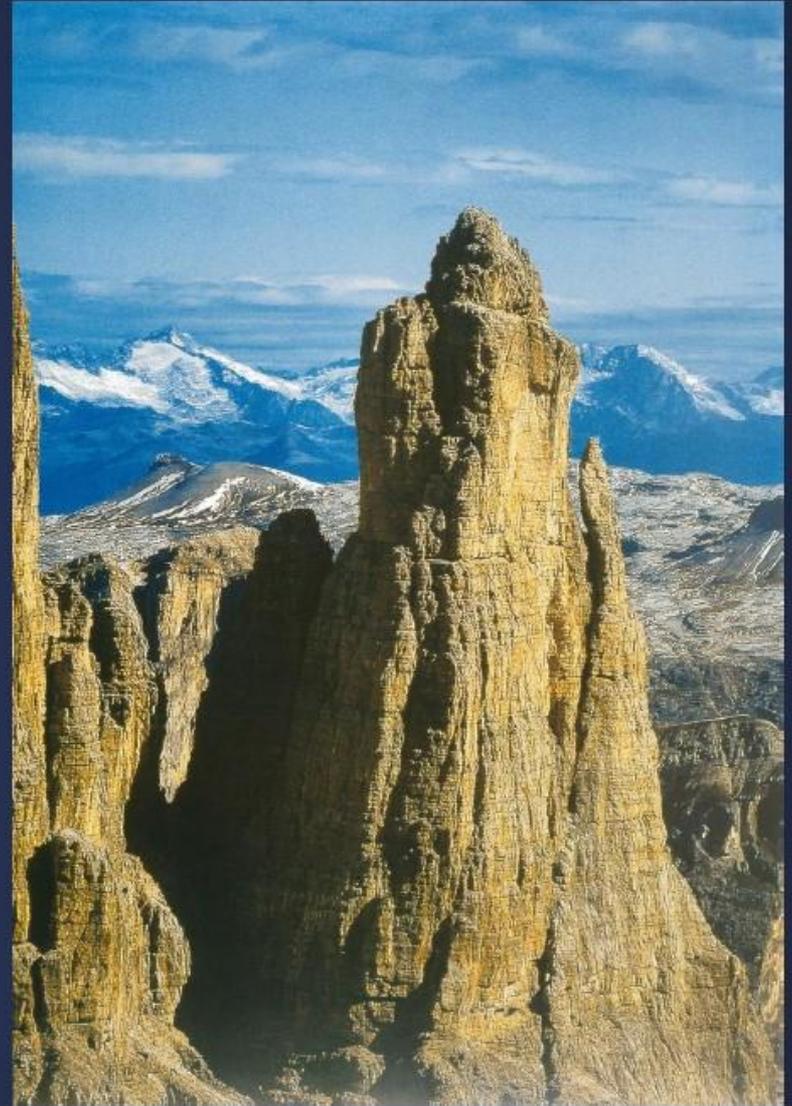


Gabbro

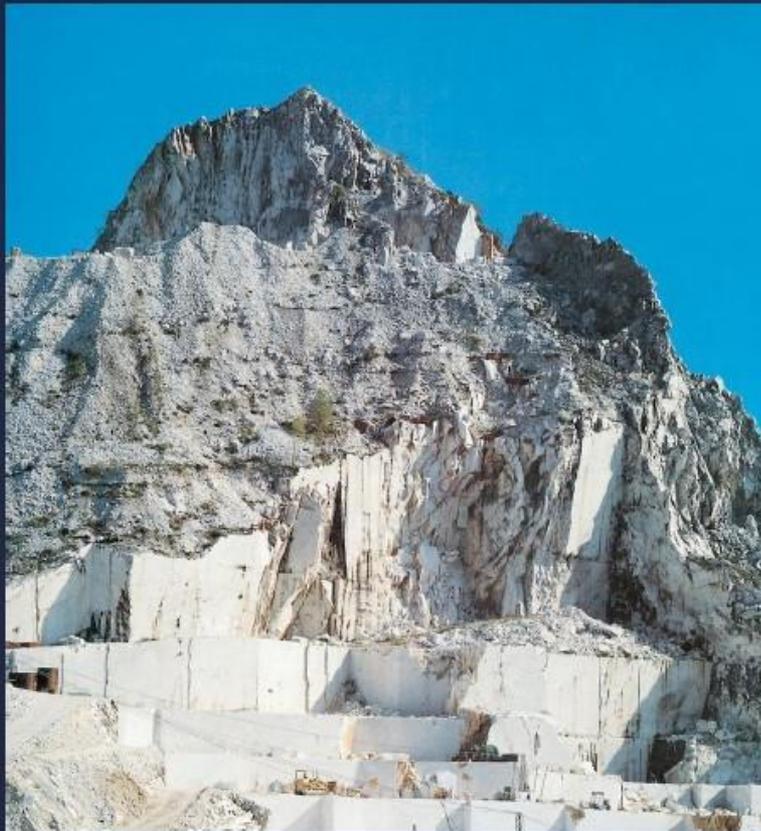


Il **processo sedimentario** inizia con l'alterazione e l'erosione dei materiali rocciosi che affiorano in superficie ad opera dei cosiddetti agenti esogeni (acqua, vento, ghiaccio) e si completa con il trasporto e l'accumulo dei materiali erosi.

Si giunge così alla formazione delle rocce sedimentarie. Il processo sedimentario si svolge sulla superficie terrestre o a modesta profondità, per cui è caratterizzato da basse temperature (all'incirca tra 0 e 150 °C) e da bassa pressione.



La guglia del Daint de Mesdi, nelle Dolomiti (Gruppo del Sella).



Le cave del famoso marmo di Carrara sono tagliate in calcàri che sono stati trasformati in rocce metamorfiche, attraverso la ricristallizzazione della calcite. Il colore chiaro e la trasparenza del marmo indicano che i calcàri originari erano molto puri.

Il **processo metamorfico** ha come caratteristica fondamentale la trasformazione di rocce preesistenti (magmatiche, sedimentarie, metamorfiche) che vengono a trovarsi in condizioni ambientali diverse da quelle di origine.

Tale trasformazione avviene all'interno della Terra allo stato solido. I minerali preesistenti, non più stabili, vengono distrutti e se ne formano altri, in equilibrio con le nuove condizioni; si originano così le rocce metamorfiche. Le temperature sono comprese tra 300 e 800 °C, quindi tra quelle tipiche del processo sedimentario e quelle proprie del processo magmatico, mentre le pressioni sono quasi sempre elevate.

<http://ebook.scuola.zanichelli.it/lupiagloboblu/volume-minerali-e-rocce-vulcani-terremoti/la-crosta-terrestre-minerali-e-rocce/le->

Rocce magmatiche

Le rocce **magmatiche o ignee** sono tutte le rocce che derivano da un magma, cioè da una roccia fusa.

Il raffreddamento dei magmi in risalita può avvenire, all'interno della crosta terrestre, dando origine a rocce **intrusive**, oppure all'esterno di essa producendo manifestazioni vulcaniche con la formazione di rocce **effusive**.

Da un punto di vista chimico, i minerali che compongono le rocce magmatiche appartengono essenzialmente a **silicati** riunibili in due gruppi di minerali:

minerali sialici: vi prevalgono Si, Al, sono più ricchi di SiO₂ (silice), e sono per lo più di colore chiaro.

minerali femici: vi prevalgono Fe e Mg, sono per lo più di colore scuro (bruno, verde o nero).

Se le caratteristiche cromatiche permettono pertanto una prima indicazione sulle caratteristiche chimiche, la quantità di silice permette di distinguere le rocce magmatiche in:

Rocce acide: rocce con un contenuto di silice superiore o uguale al 63%

Rocce intermedie: rocce con un contenuto di silice tra 52% e 63%

Rocce basiche: rocce con un contenuto di silice tra 45% e 52%

Rocce ultrabasiche: rocce con un contenuto di silice inferiore al 45%



Granito



Sienite



Diorite



Gabbro



Riolite (porfido)



Trachite



Andesite



Basalto

Rocce intrusive (sopra) e corrispondenti rocce effusive (sotto), derivanti dallo stesso tipo di magma

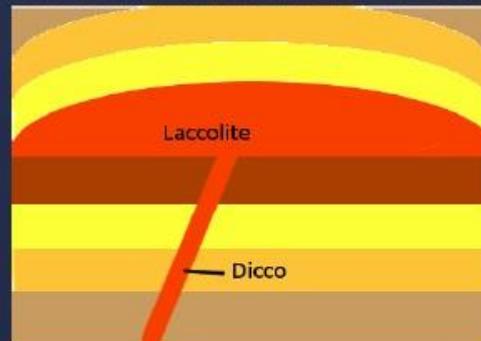


Promontorio di Capo Testa (Sardegna)



Cima d'Asta - Trentino

Colli Euganei (PD)





Il selciato dei giganti – Irlanda del nord

Basalto colonnare



Gole dell'Alcantara - Sicilia

Pomice Rocca vulcanica vetrosa vescicolata, di colore chiaro, estremamente porosa, caratterizzata da una densità inferiore a 1 g/cm_3 , che viene emessa durante un'attività vulcanica altamente esplosiva accompagnata da emissione di gas sotto forte pressione.

Campo de Piedra Pomez – Puna Argentina

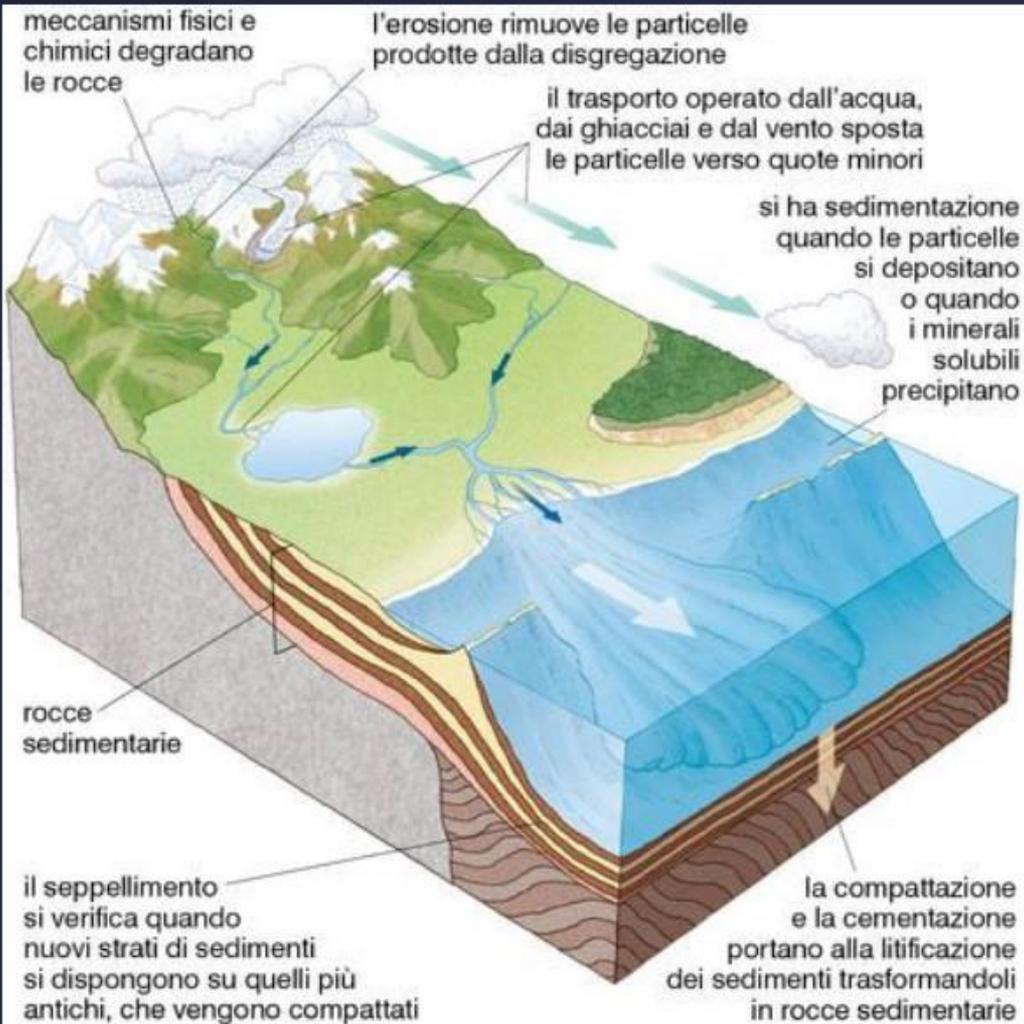


Rocce sedimentarie

Mentre le rocce magmatiche sono la traccia concreta di un'incessante attività interna del pianeta, le **rocce sedimentarie** sono il segno delle continue trasformazioni in atto da tempi lunghissimi sulla superficie della Terra. Sono rocce molto diffuse, anche se con modesti spessori – arrivano appena al **5%** della composizione della crosta superiore – e sono estremamente eterogenee. Questa eterogeneità riflette i numerosi modi in cui tali rocce possono formarsi, pur essendo tutte esogene, cioè prodotte da processi attivi in superficie. Il termine sedimentazione indica la deposizione e l'accumulo, su terre emerse o sul fondo di bacini acquei (fiumi, laghi, mari), di materiali di origine inorganica od organica.

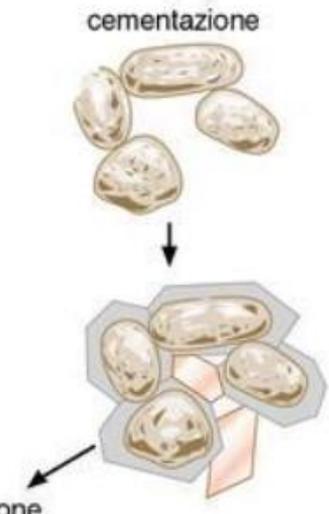
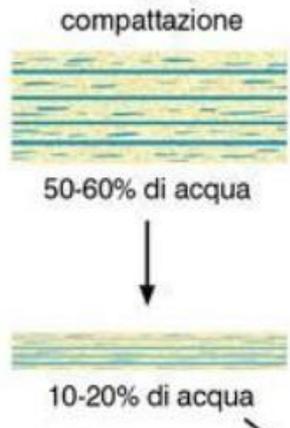
Questi materiali sono stati in genere trasportati più o meno a lungo dai cosiddetti «**agenti esogeni**»: acque, venti, ghiacci. Il processo avviene quotidianamente sotto i nostri occhi in diverse aree:

- sul fondo delle valli (depositi fluviali),
- ai piedi delle montagne, dove cadono i frammenti rocciosi che si staccano dalle masse sovrastanti (detriti di falda),
- nel deserto (sabbia eolica),
- sul fondo dei laghi (fanghi argillosi o calcarei) o delle paludi (torba),
- in riva al mare (depositi sabbiosi o ciottolosi),
- in pieno oceano (argille e calcàri).



La compattazione che segue il seppellimento «spreme fuori» l'acqua

La precipitazione o l'aggiunta di minerali di nuova formazione cementa le particelle sedimentarie



Le rocce sedimentarie sono le più comuni e diffuse rocce sulla superficie della Terra. Il loro spessore è di alcune centinaia di metri sul fondo dei mari e può essere di alcuni chilometri sulle terre emerse. A seconda della loro origine vengono divise in quattro gruppi principali:

- Rocce clastiche
- Rocce piroclastiche (rocce ignee)
- Rocce chimiche
- Rocce organogene (biochimiche)



Le **rocce sedimentarie clastiche** o rocce detritiche derivano da sedimenti i cui elementi costituenti a loro volta derivano principalmente dall'accumulo di frammenti litici di altre rocce degradate, trasportati in genere da agenti esogeni diversi (corsi fluviali, correnti marine, venti, ecc.).

	Tipo di roccia	d (mm)
Ciottoli (pebbles)	Conglomerato (puddinga, breccia) (conglomerate, breccia)	> 60 (64)
Ghiaia (gravel)	Conglomerato (puddinga, breccia) (conglomerate, breccia)	2 – 60 (64)
Sabbia (sand)	Arenaria (sandstone)	(0.75) 0.60 (0.64) – 2
Limo (silt)	Siltite (siltstone)	0.002 (0.006) – 0.60 (0.64) (0.75)
Argilla (clay)	Argillite (mudstone)	< 0.002 (0.006)



NADIA LUCISANO ph.

Paesaggio con rocce conglomeratiche in Calabria (Pentedattilo – Reggio Calabria)



Arenarie degradate ed erose
dagli agenti atmosferici



L' **argillite** è una roccia sedimentaria con tessitura clastica a grana finissima che si forma per litificazione di un sedimento argilloso. Può contenere una percentuale ridotta di sedimenti fini costituiti da quarzo e minerali non silicei quali carbonati, ossidi di ferro, delle dimensioni granulometriche del silt. Spesso è caratterizzata da una tipica fissilità.



Argilliti dell'Appennino emiliano - romagnolo



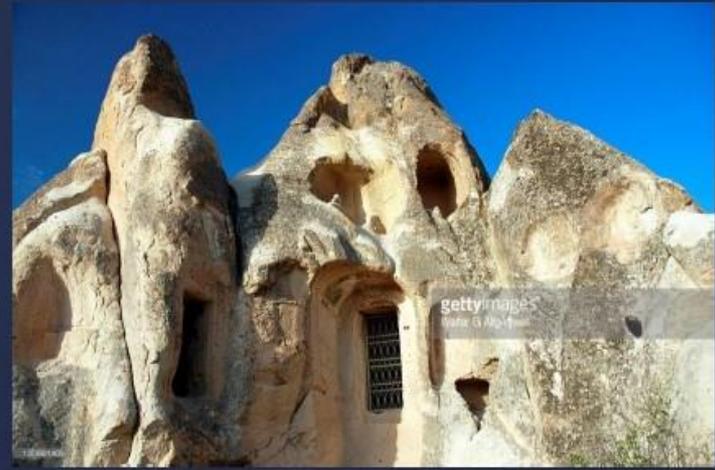
Le scogliere di Gay Head nell'isola di Martha's Vineyard sono composte interamente di argille.

Le **rocce piroclastiche** presentano una genesi intermedia fra quella delle rocce ignee e quella delle rocce sedimentarie: sono rocce detritiche, formate dalla sedimentazione di materiali solidi proiettati in aria dai vulcani (detti piroclasti) durante esplosioni violente. I materiali più grossolani si distribuiscono a minore distanza dal cratere, mentre quelli più fini possono essere trasportati, con il favore del vento, anche a centinaia di chilometri.



Il **tufo**,
abbondantissimo
nei distretti
vulcanici del Lazio

Cappadocia (Turchia)



Rocce chimiche

Sono le rocce che si sono deposte, e si depongono tuttora, per fenomeni chimici. Il più evidente tra questi è la precipitazione, sul fondo di bacini acquei, di composti chimici che si trovano sciolti nell'acqua del mare o dei laghi. Se la quantità dei sali disciolti raggiunge la saturazione, essi **precipitano**, formando nel tempo, per processi diagenetici, le rocce chimiche.

Rocce evaporitiche

Le evaporiti si formano per evaporazione di ristrette masse d'acqua sulla superficie della Terra.



Rocce organogene

Sono rocce formate quasi solamente dall'accumulo di sostanze legate a un'attività biologica. Sulla base del modo in cui si è formato l'accumulo si distinguono in tre categorie, che riflettono diversi ambienti di origine.

- **Rocce bioclastiche**, formate da semplici accumuli di gusci e apparati scheletrici (ad esempio gli ammassi di conchiglie che si osservano anche oggi lungo le coste).
- **Rocce biocostruite**, formate da ammassi di organismi «costruttori», i cui apparati scheletrici esterni possono saldarsi l'uno all'altro (ad esempio le scogliere e gli atolli costruiti da spugne e coralli in mari tropicali).
- **Depositi organici**, formati da accumuli di sostanza organica vera e propria, vegetale o animale, in mare o su terre emerse, dalla cui trasformazione nel tempo prendono origine depositi (carboni e idrocarburi) e rocce particolari (lignite).





Le Dolomiti sono scogliere coralline del Triassico (circa 180 milioni di anni fa) e sono costituite principalmente dalla **dolomite**, ottenuta dal calcare per sostituzione di un atomo di calcio con un atomo di magnesio. Tale sostituzione ha cancellato completamente ogni traccia di fossili.

Rocce organogene silicee.

L'accumulo di gusci di organismi che utilizzano la silice per costruirsi il guscio invece della calcite, porta alla formazione di rocce organogene silicee. Tra queste la più diffusa è la **selce**, una roccia dura, formata da SiO_2 (silice amorfa), che può presentarsi in strati regolari, in genere di modesto spessore, o può essere contenuta entro masse calcaree in forma di lenti, noduli e masserelle sferoidali.



Livelli di selce all'interno di uno strato di calcare. La selce, di colore scuro, è molto dura e si rompe con una frattura scagliosa e lucente (grandezza naturale). In questo caso il tipo di frattura non ne avrebbe consentito l'utilizzo da parte degli uomini preistorici per fare strumenti

Calcarea

Il **calcarea** è una roccia sedimentaria, da cristallina a microcristallina, il cui componente principale è rappresentato dal minerale calcite. Le rocce calcaree sono più o meno compenstrate da impurità argillose o quarzitiche.

La parte prevalente delle rocce calcaree va inclusa nei **sedimenti organogeni**, una parte minore si è formata per precipitazione da soluzioni acquose soprassature come **sedimenti chimici**. Infine, possono anche formarsi **sedimenti calcarei clastici**, qualora le rocce formatesi originariamente per via chimica o organogena vengano distrutte fisicamente e poi ricomposte in altro luogo.



Vette Feltrine (BL), gruppo del Cimònega



La Pietra di Bismantova, a Castelnuovo ne' Monti (RE), è una tipica formazione di calcarenite (roccia clastica derivante da roccia chimica)

Hugo Sona



Appennino calcareo (Campania)



Baunei – Ogliastro (Sardegna)



*Paesaggio
carsico, Francia*

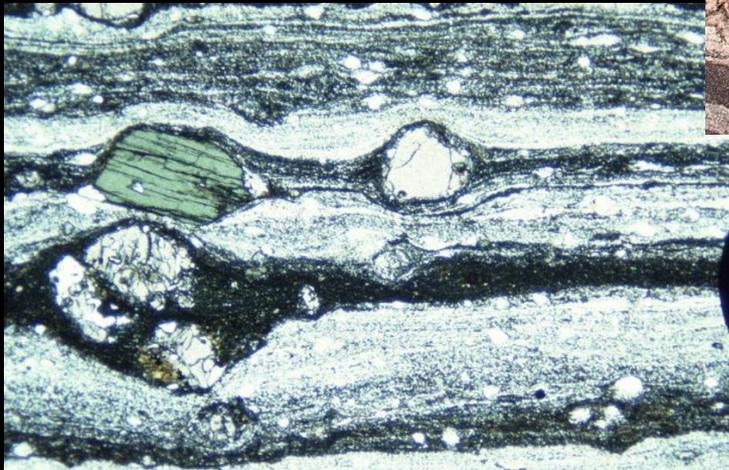


Il **travertino** è una roccia biancastra e porosa, di carbonato di calcio, depositata in formazioni stratificate sub-aeree, da acque sorgive calde e fredde. La varietà compatta di travertino viene usata come pietra da costruzione fin dai tempi dei romani, mentre quella porosa è oggi usata per rivestire pareti interne. Grandi depositi di travertino si trovano in Italia (presso Tivoli) e negli Stati Uniti (Wyoming, California e Colorado)



Rocce metamorfiche

Sono rocce che hanno subito modificazioni nella composizione mineralogica o nella struttura e nella tessitura in seguito a mutamenti di temperatura e pressione (**metamorfismo**).

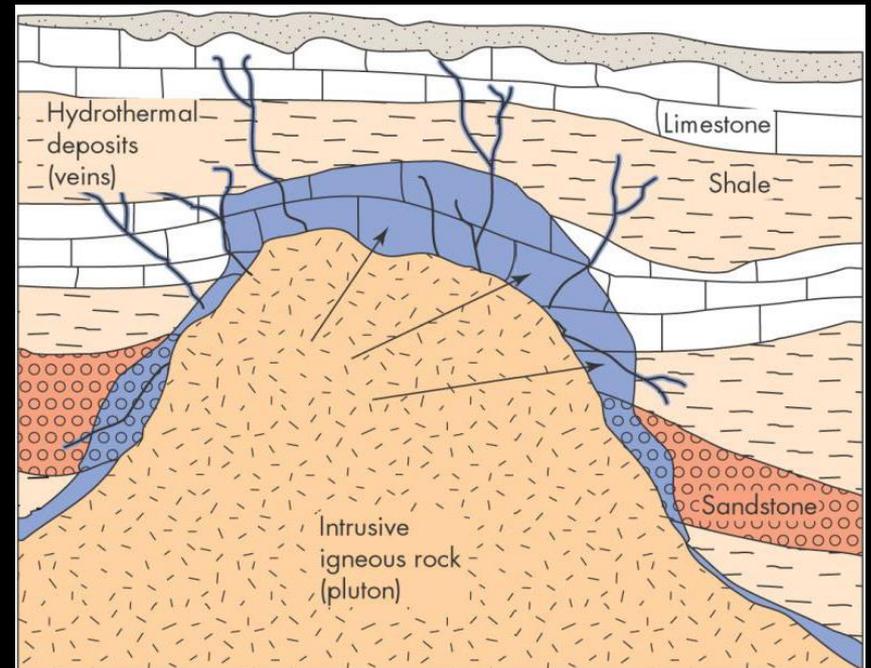
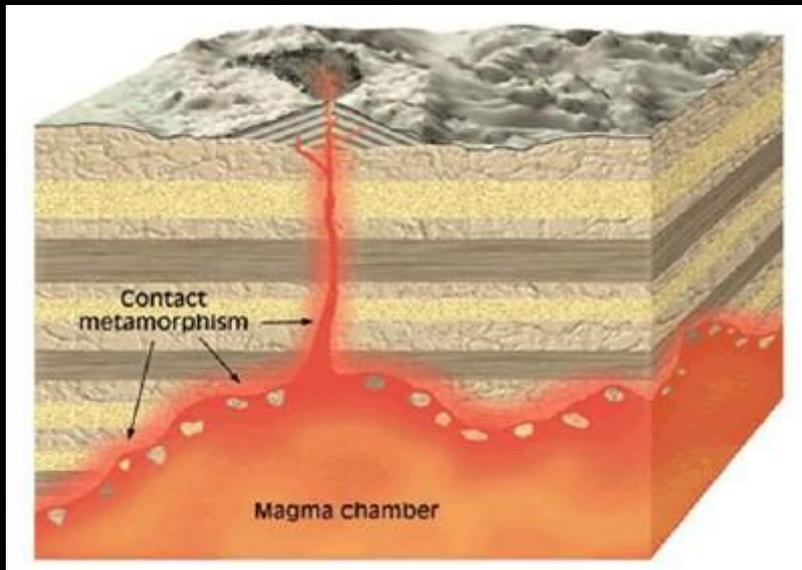


Metamorfismo

Si tratta di un processo che avviene in profondità, all'interno della crosta terrestre, senza che si arrivi alla fusione del materiale coinvolto (se ciò avviene, si origina un magma e si possono formare rocce magmatiche). Le **trasformazioni** riguardano sia i minerali (i cui atomi si riordinano secondo un diverso reticolo cristallino, dando origine a minerali nuovi), sia la struttura e la tessitura della roccia. Esistono due tipi fondamentali di metamorfismo:

- il **metamorfismo di contatto**, che interessa le rocce venute a contatto con un magma;
- il **metamorfismo regionale**, che interessa invece grandi aree in profondità nella crosta.

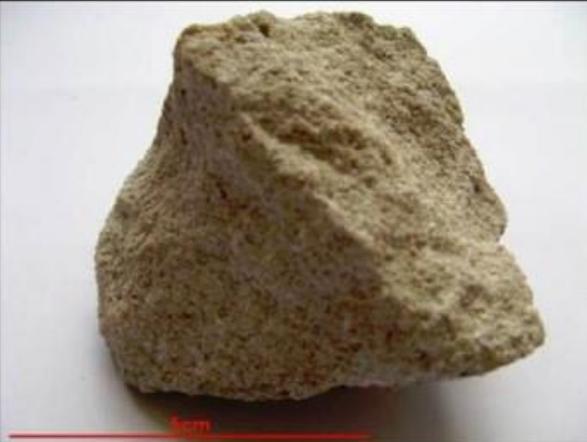
Il **metamorfismo di contatto** è un particolare tipo di metamorfismo che avviene quando un magma, risalendo da zone profonde di crosta e mantello, intrude e staziona in zone meno profonde della crosta. Il magma, che si trova a temperatura più alta rispetto alle rocce incassanti, inizia a cedere calore innescando quindi reazioni di metamorfismo nelle rocce incassanti. Intorno ai plutoni si ha quindi una zona che ha subito metamorfismo e che prende il nome di **aureola di contatto**. Il grado di metamorfismo non è costante in tutta l'aureola ma diminuisce concentricamente dalla zona di contatto con il magma verso la zona più esterna.



L'estensione e il grado di metamorfismo raggiunto nell'aureola dipende da alcuni fattori:

- **Temperatura**, poiché magmi basaltici forniranno temperature nell'ordine dei 1200 °C, magmi acidi daranno invece temperature nell'ordine dei 700 °C.
- **Profondità**, poiché intrusioni a maggiore profondità tenderanno a mantenere più a lungo la temperatura iniziale.
- **Presenza di fluidi**, che nel sistema facilita lo scambio di calore.
- **Grado di fratturazione** delle rocce incassanti che, facilitando la circolazione dei fluidi facilita lo scambio di calore e le dimensioni dell'aureola. Tenendo conto di questi fattori si può quindi vedere come in presenza di intrusioni acide (ricchi in fluidi) avremo, tendenzialmente, aureole con grandi spessori e temperature relativamente basse, mentre in caso di intrusioni basiche avremo aureole con spessori ridotti ma elevate temperature iniziali.

**CONTACT
(HEAT)**



Sandstone



Quartzite



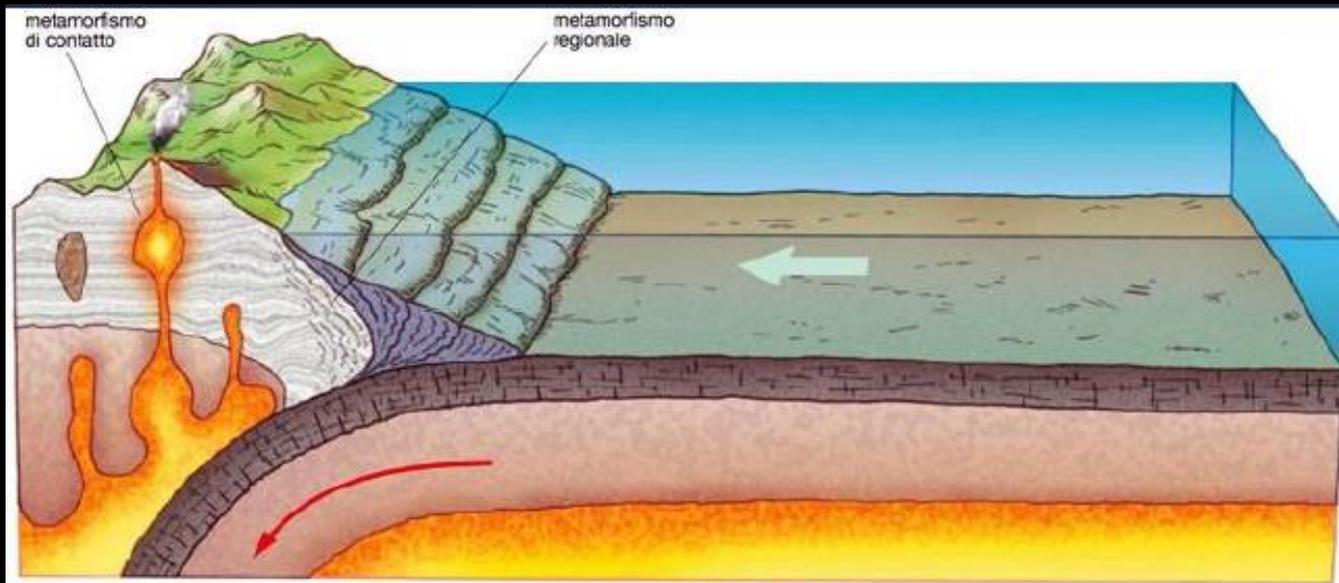
Limestone



Marble

Il metamorfismo regionale

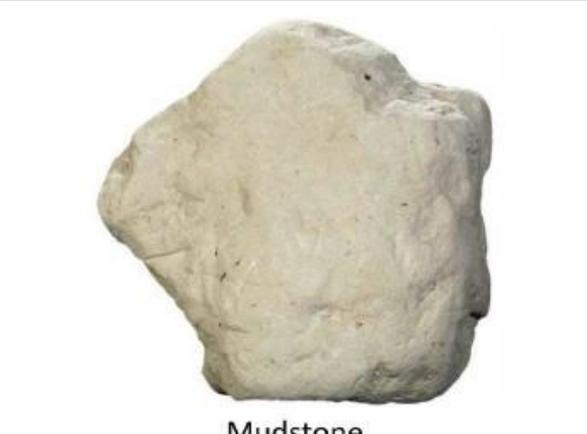
Il processo più imponente per volume di rocce coinvolte è il metamorfismo regionale, che avviene quando movimenti della crosta terrestre fanno sprofondare per chilometri masse di rocce sedimentarie o magmatiche, o anche metamorfiche, che vengono sottoposte non solo ad alte temperature ma anche a forti pressioni. Queste pressioni sono dovute sia al peso delle rocce sovrastanti (**pressione di carico**), sia a spinte tra masse rocciose contigue (**pressione orientata**).



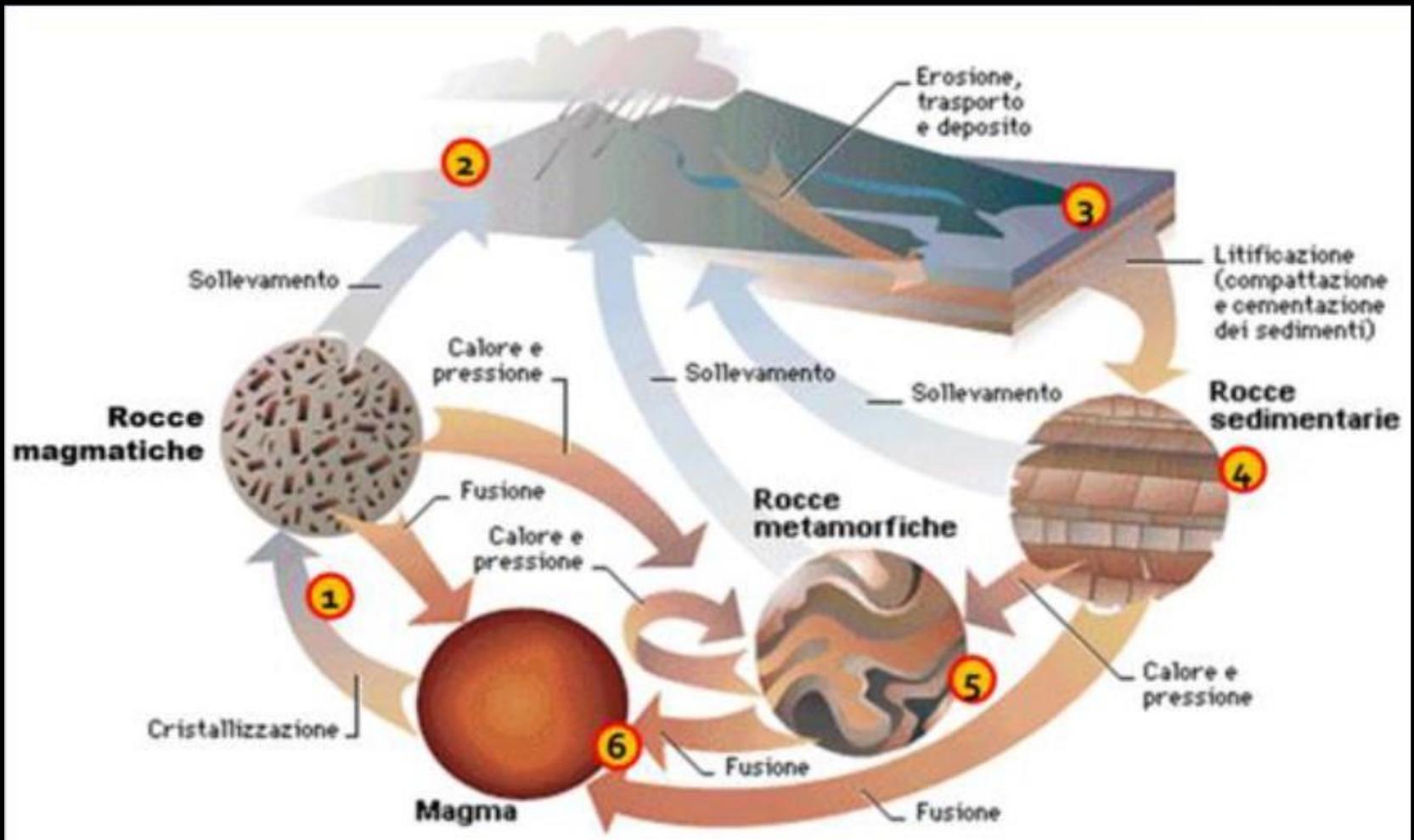
Man mano che sprofondano, i minerali continuano a **modificarsi**, per adattarsi a nuovi valori di temperatura e pressione. Le **trasformazioni metamorfiche** risultano, perciò, più o meno forti a seconda della profondità raggiunta.

Il metamorfismo non può proseguire in modo indefinito: oltre certi valori di temperatura e di pressione si può arrivare alla fusione di una parte del materiale della roccia che si sta trasformando.

Quindi se il processo avanza, la parte fusa aumenta sempre più e si passa ai magmi anatettici, dalla cui cristallizzazione derivano grandi batoliti granitici. Questi processi di ultrametamorfismo segnano perciò un collegamento tra rocce metamorfiche e rocce ignee.

Type of Metamorphism	Mother Rock		Metamorphic Rock
<p>REGIONAL</p> 	 <p data-bbox="687 651 794 682">Granite</p>		 <p data-bbox="1493 651 1586 682">Gneiss</p>
	 <p data-bbox="668 1146 813 1178">Mudstone</p>		 <p data-bbox="1499 1146 1580 1178">Shale</p>

Ciclo delle rocce



I processi magmatico, sedimentario e metamorfico fanno parte di un **unico ciclo litogenetico**, del quale rappresentano diversi stadi successivi. Un **primo stadio** comprende l'intero processo magmatico, con l'intrusione e l'effusione di materiali fusi in risalita nella crosta. Uno **stadio successivo** si individua nel processo sedimentario, che porta all'accumulo di sedimenti. Il trasferimento di rocce dalla superficie in profondità e il loro coinvolgimento nei movimenti della crosta porta a un **terzo stadio**, quello del processo metamorfico, che, attraverso i fenomeni di fusione (anatessi), ci riporta al processo magmatico. Nella realtà intervengono però numerosi elementi di complicazione. Ad esempio, una roccia intrusiva o effusiva può venire metamorfosata senza prima essere demolita dal processo sedimentario; una roccia sedimentaria può venire esposta in superficie subito dopo la sua formazione; una roccia metamorfica può venire sollevata ed esposta in superficie, senza prima subire fenomeni di rifusione.

Il tempo geologico

La scala dei tempi geologici rappresenta un modo per suddividere il tempo trascorso dalla formazione della Terra, condiviso dalla comunità scientifica internazionale e in continua evoluzione. Esiste un organismo internazionale delegato alla formalizzazione e quindi alla nomenclatura di questa scala, la Commissione Internazionale di Stratigrafia. Concettualmente ogni suddivisione raggruppa una fase della storia della Terra caratterizzata da determinati organismi spesso estinti al termine dell'Era geologica di appartenenza. L'età della Terra è stimata in circa **4570 milioni** di anni (4570 Ma). Differenti livelli della scala temporale sono spesso delimitati da grandi eventi geologici o paleontologici, come le estinzioni di massa. Per esempio, il limite tra il periodo Cretacico e il periodo Paleogene è definito dall'evento della estinzione dei dinosauri e di molte specie marine. Altri periodi, precedenti le rocce contenenti fossili guida, sono definiti in maniera assoluta da età radiometriche. Dato che le unità di tempo geologico (Età) vengono usate in tutte le parti del mondo, possono assumere nomi diversi a seconda dei diversi fossili che contengono, identificando anche uno stesso periodo cronologico con diversi nomi a seconda della località nella quale lo si utilizza.

Datazione delle rocce

Le rocce hanno età differenti. Alcune si sono formate nei primi stadi di evoluzione del pianeta; altre sono molto più recenti. Le rocce sono le testimonianze di eventi che si sono verificati in un passato lontano. Attraverso il loro studio e la loro datazione (stabilendone l'età) è possibile ricostruire la storia del pianeta e la sequenza di eventi che ne hanno modificato l'aspetto fino a quello attuale. La datazione delle rocce può avvenire in due modi:

- si può stabilire se una roccia è più antica o più recente di altre (**datazione relativa**), anche senza sapere quanto tempo fa si sono formate;
- si può attribuire alla roccia un'età in anni (**datazione assoluta**).

La **Stratigrafia** è quella parte delle scienze geologiche che ha come obiettivo la ricostruzione della storia della Terra attraverso la ricostruzione dell'ordine in cui si sono formate nel tempo le rocce della crosta. Essa si prefigge due obiettivi principali:

- risalire alla natura e all'estensione geografica dei singoli ambienti fisici che hanno originato (nel tempo) i tipi di rocce che formano la crosta;
- ricostruire l'ordine in cui si sono formate nel tempo tali rocce.

Datazione relativa delle rocce

Una datazione relativa stabilisce l'ordine di una sequenza di eventi, cioè non dà un'età in anni ma definisce la maggiore o minore antichità di una roccia rispetto ad un'altra.

Lo studio delle rocce sedimentarie, che contengono tracce degli eventi passati, consente una datazione relativa grazie a **tre criteri**: stratigrafico, litologico e paleontologico.

Questo è reso possibile considerando il **principio dell'attualismo**, formulato alla fine del 1770 da J. Hutton, il quale afferma che **“il presente è la chiave del passato”**, cioè i processi geologici del passato sono simili a quelli che si possono osservare oggi.

