

Minerali e rocce

Imparare a leggere la storia del pianeta Terra



Cristian Biagioni – Dipartimento di Scienze della Terra, Università di Pisa



*We came all this way to explore
the moon, and the most important
thing is that we discovered the
Earth*

(William Anders)



William Anders (1933 – 2024)

24 dicembre 1968 – Apollo 8



Harrison Schmitt (n. 1935), Ronald Evans (1933–1990), Eugene Cernan (1934–2017)

“Blue Marble”

*7 dicembre 1972 – Apollo 17
Distanza dalla Terra: 45000 km*

Cosa è un minerale?

In general terms, a mineral is an element or chemical compound that is normally crystalline and that has been formed as a result of geological processes. This statement suffices to include the vast majority of substances that are generally accepted as minerals

The Canadian Mineralogist
Vol. 33, pp. 689-690 (1995)

THE DEFINITION OF A MINERAL

ERNEST H. NICKEL*

Division of Exploration & Mining, CSIRO, Wembley, WA 6014, Australia



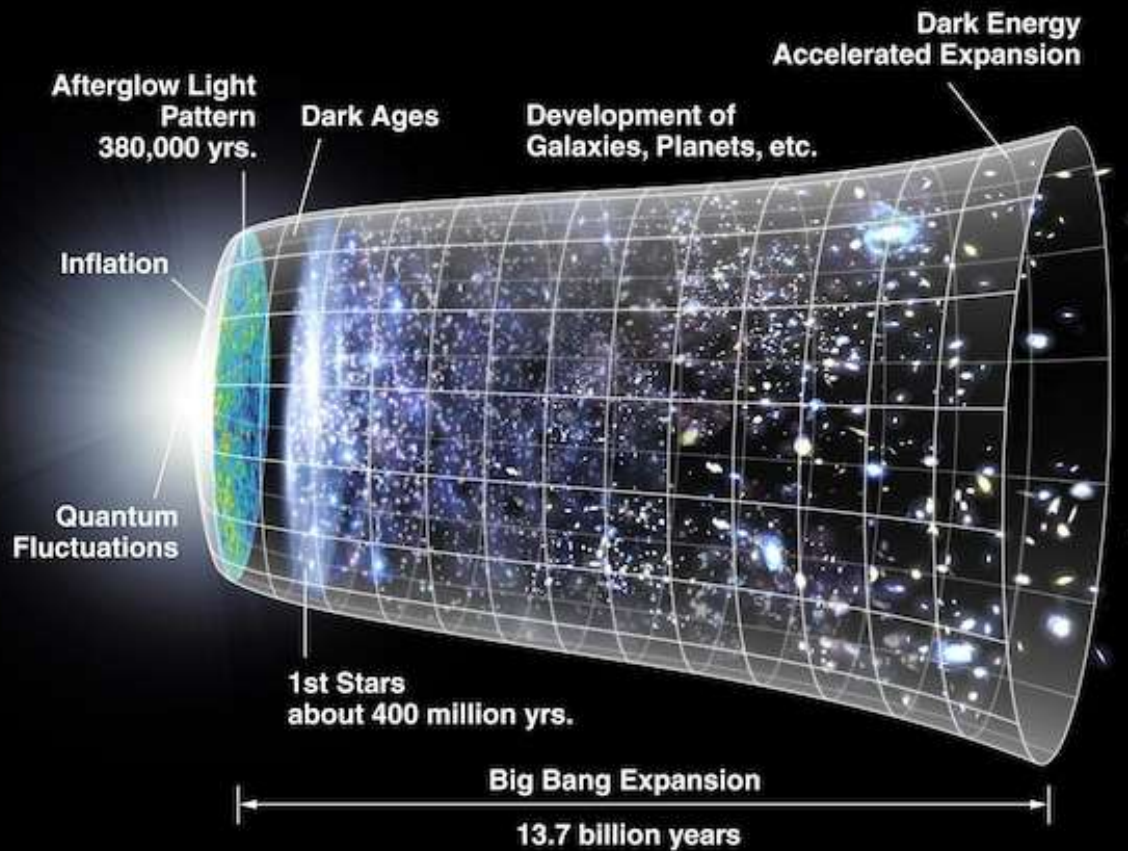
Ernest Henry Nickel (1925–2009)

Cosa è una roccia?

A rock is an aggregate of one or more minerals, or a body of undifferentiated mineral matter. Common rocks include granite, basalt, limestone, and sandstone.



Dal Big Bang...



Secondo le attuali teorie cosmologiche, circa 20 minuti dopo il Big Bang l'Universo era popolato principalmente da H (75%) e He (~25%), con tracce di Li.

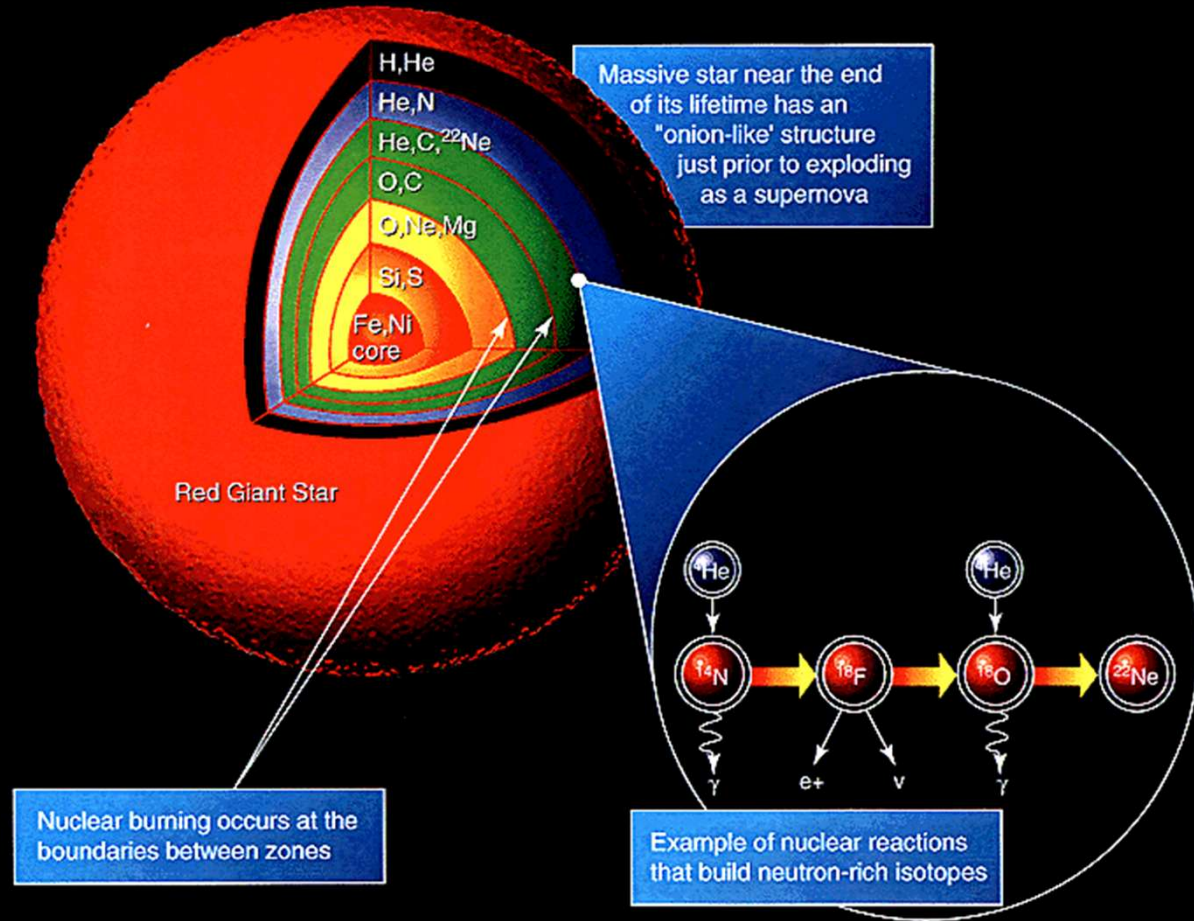
Queste specie chimiche si formano nella cosiddetta nucleosintesi primordiale.

... all'accensione delle stelle



Pleiadi (M 45)

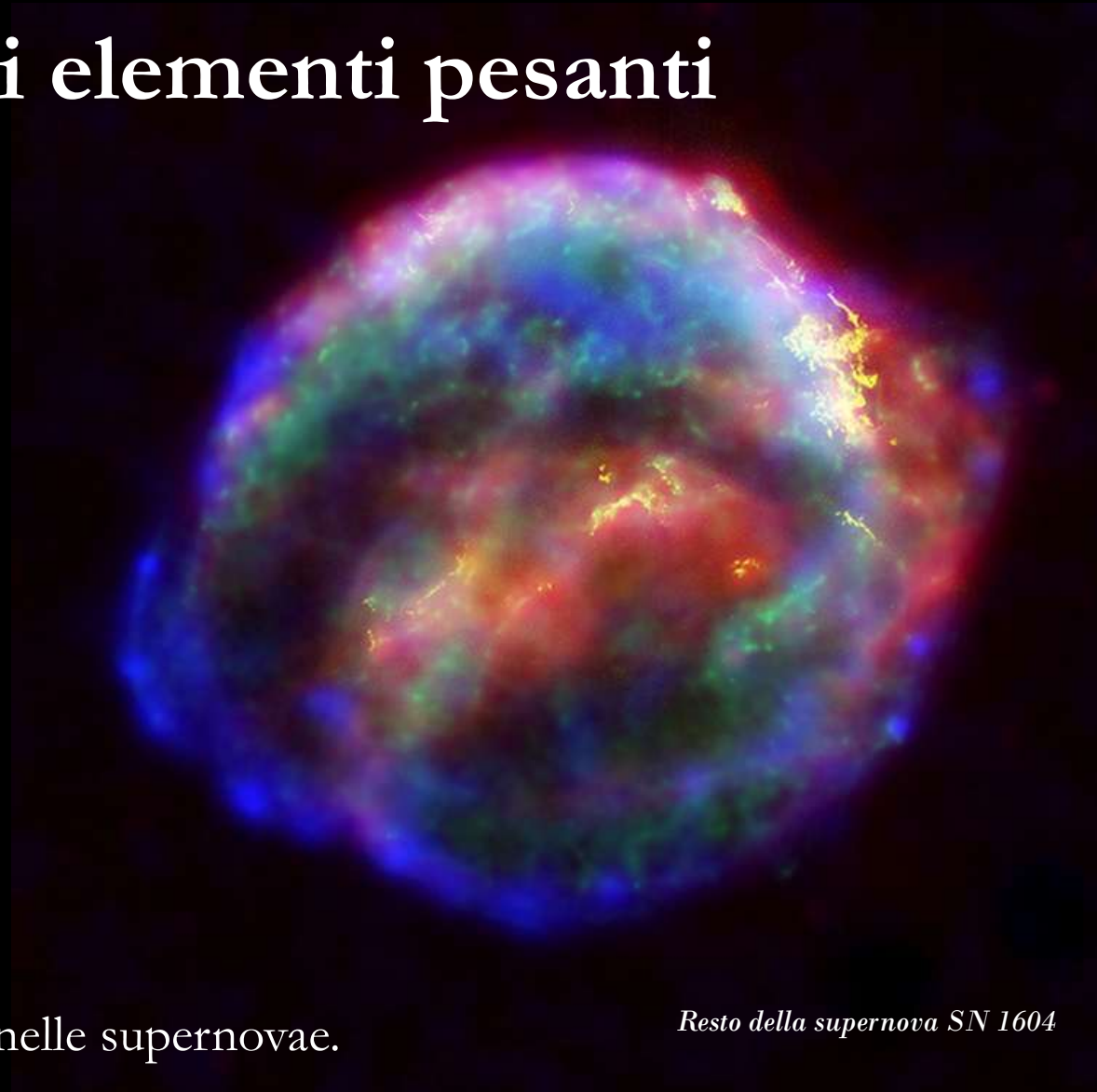
Le specie chimiche con Z fino a 28 possono prodursi nelle reazioni di nucleosintesi stellare.



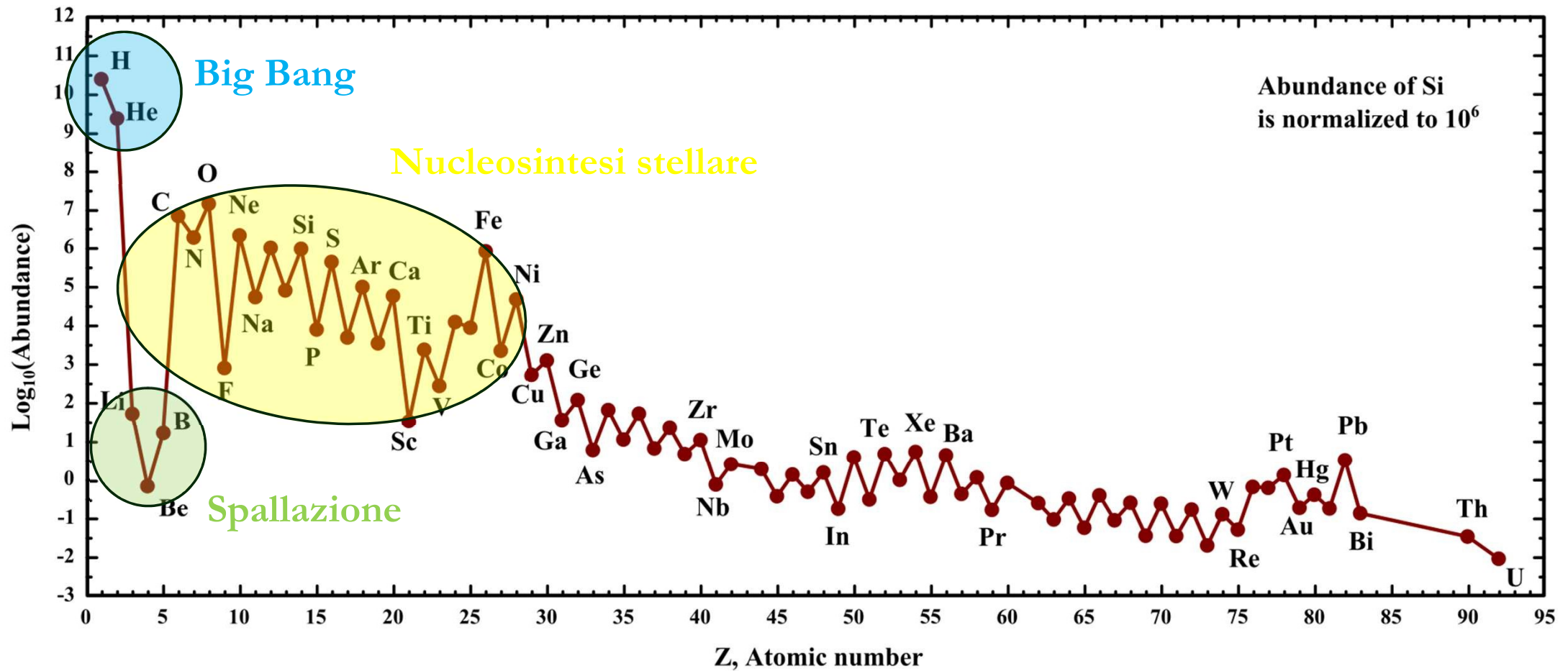
Le fucine degli elementi pesanti

Z	Elemento	ppm ($\mu\text{g/g}$)	%
1	H	739.000	73.97
2	He	240.000	24.02
8	O	10.400	1.04
6	C	4600	0.46
10	Ne	1340	0.13
26	Fe	1090	0.11
7	N	960	0.07
14	Si	650	0.07
12	Mg	580	0.06
16	S	440	0.04
	Totale	999.060	

Elementi con $Z > 28$ si generano tipicamente nelle supernovae.



Resto della supernova SN 1604

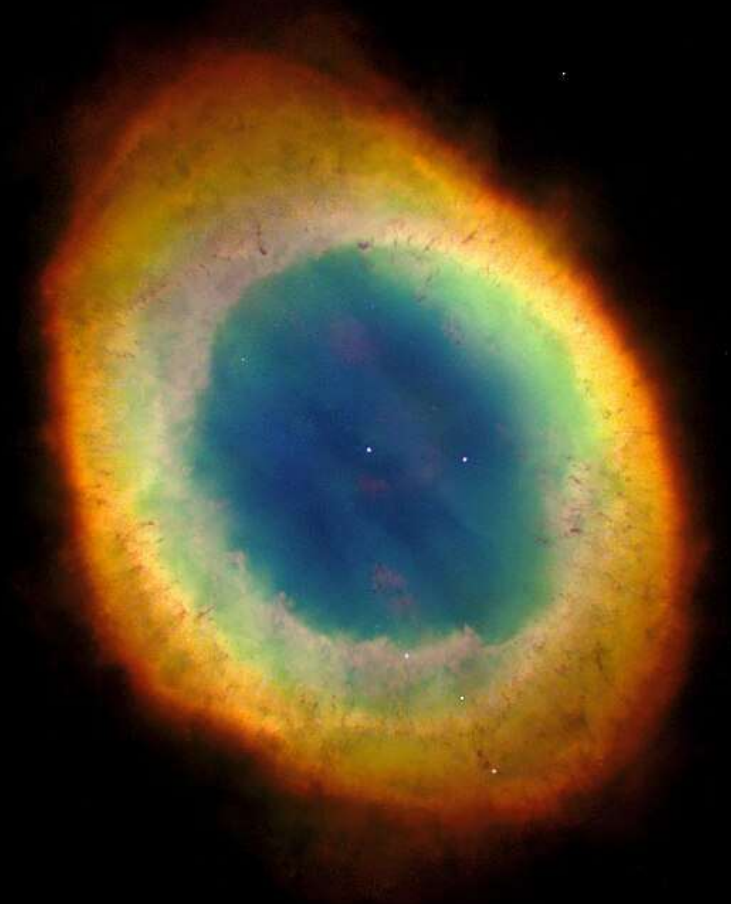


Regola di Oddo-Harkins: elementi con Z pari sono più abbondanti degli elementi adiacenti con Z dispari.

La chimica dell'Universo evolve

In astronomia, il termine «metallo» indica qualunque elemento diverso da H e He. Pertanto la «metallicità» di una galassia indica attività stellare dopo il Big Bang.

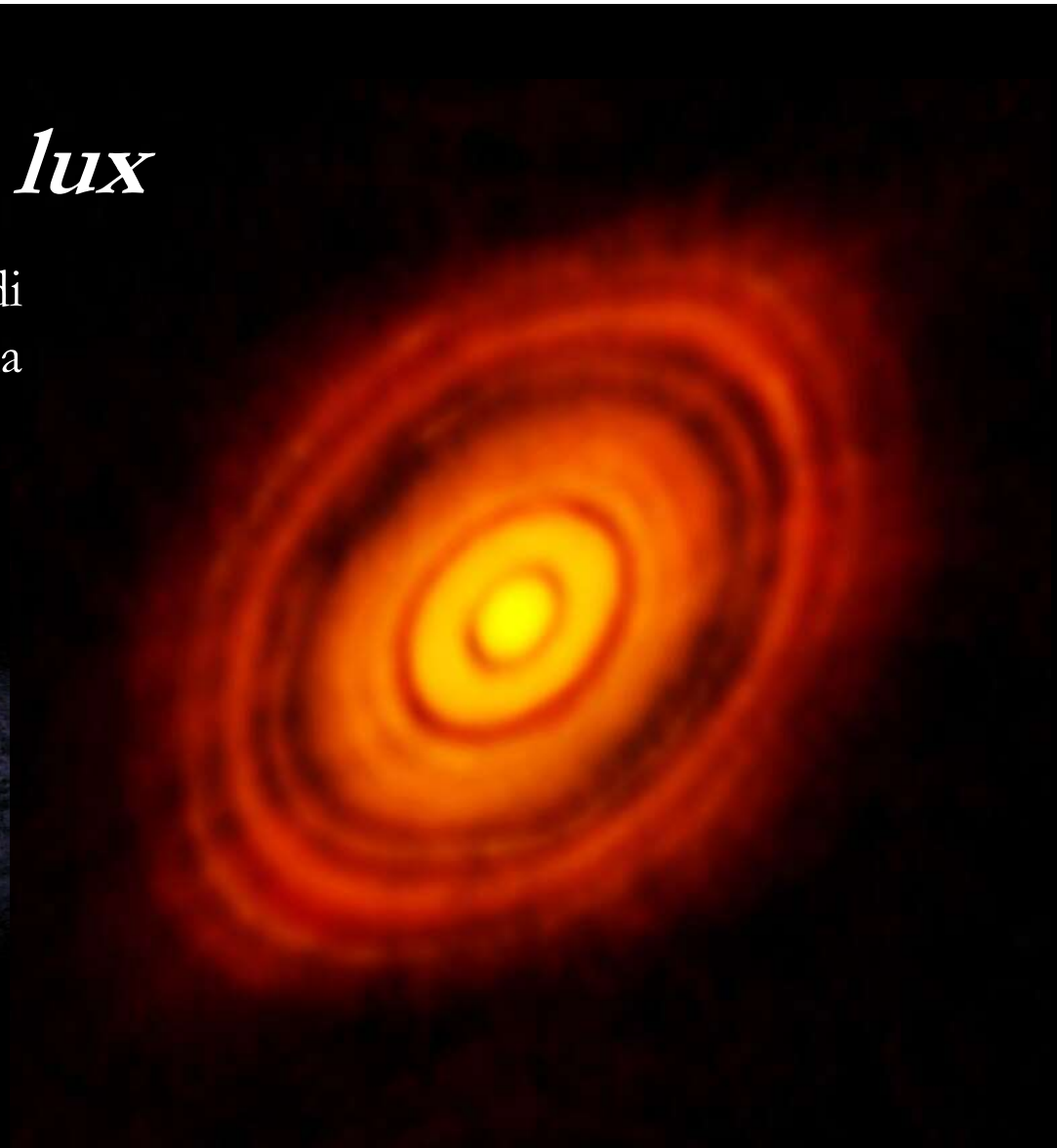
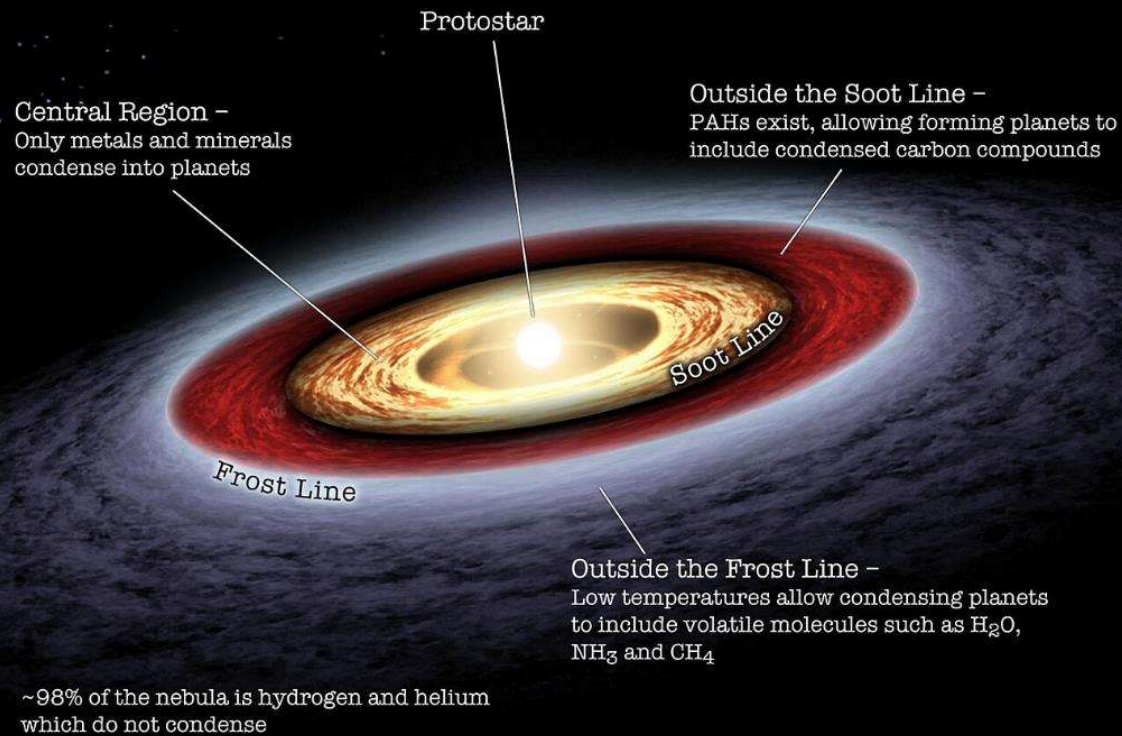
Evoluzione dell'Universo da stelle con bassa metallicità (popolazione II) a stelle con più alta metallicità (popolazione I).



Nebulosa Anello (M57 o NGC6720)

Fiat lux

Il Sistema solare si sarebbe formato per collasso di una nebulosa a seguito dell'esplosione di una vicina supernova attorno a 4.6 Ga.



Disco protoplanetario HL Tauri

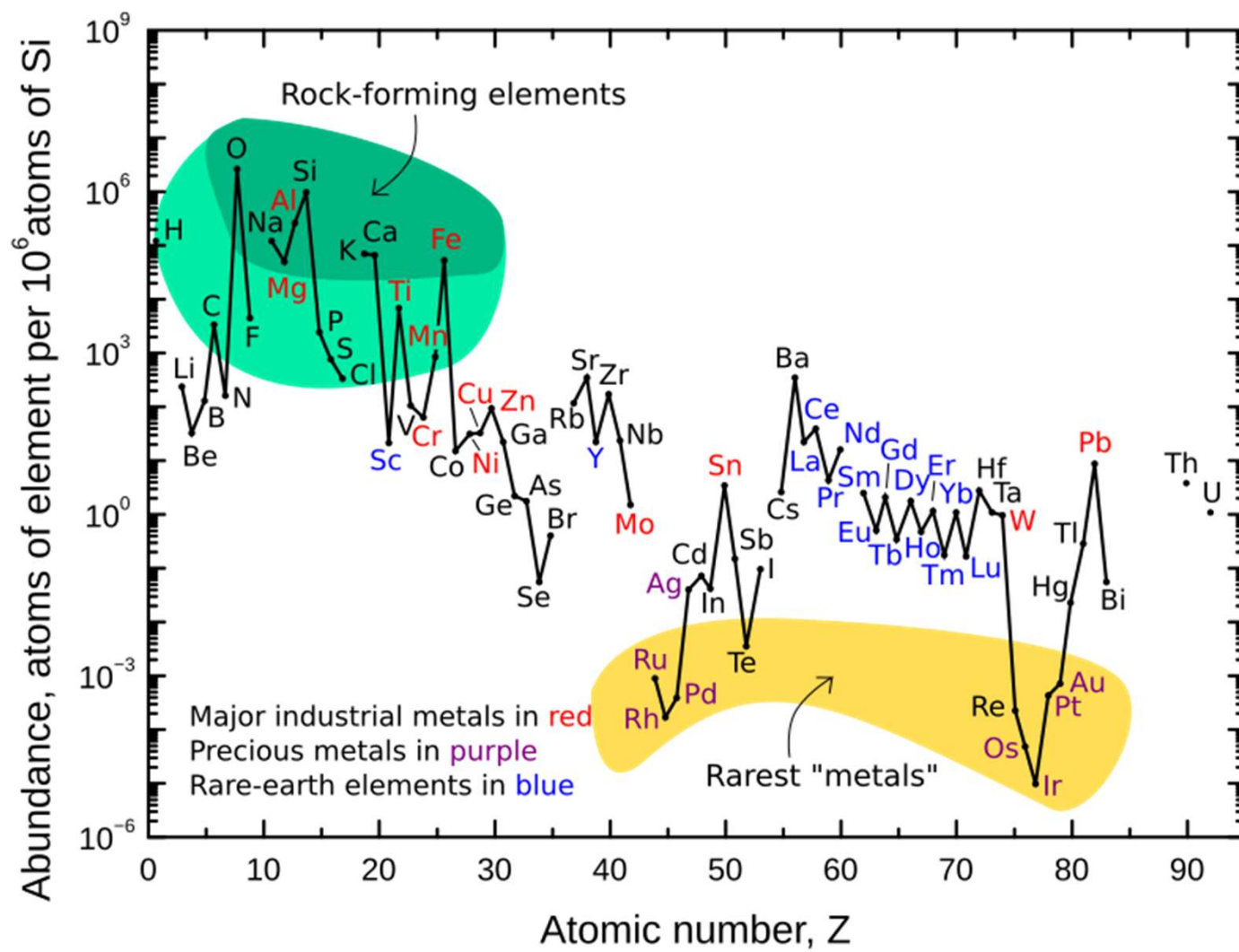
Messaggeri del tempo profondo

La nebulosa protoplanetaria è costituita da H e He e da polveri interstellari che sono costituite da minerali refrattari (carburi, nitruri, ossidi, silicati).

Lo studio del sistema solare primordiale è possibile tramite l'esame delle condriti, meteoriti rocciose indifferenziate che dovrebbero avere la stessa composizione dei planetesimi.

Condrite NWA 869





Elementi e loro comportamenti

Victor Goldschmidt (1888 – 1947) ha classificato gli elementi in funzione della loro affinità:

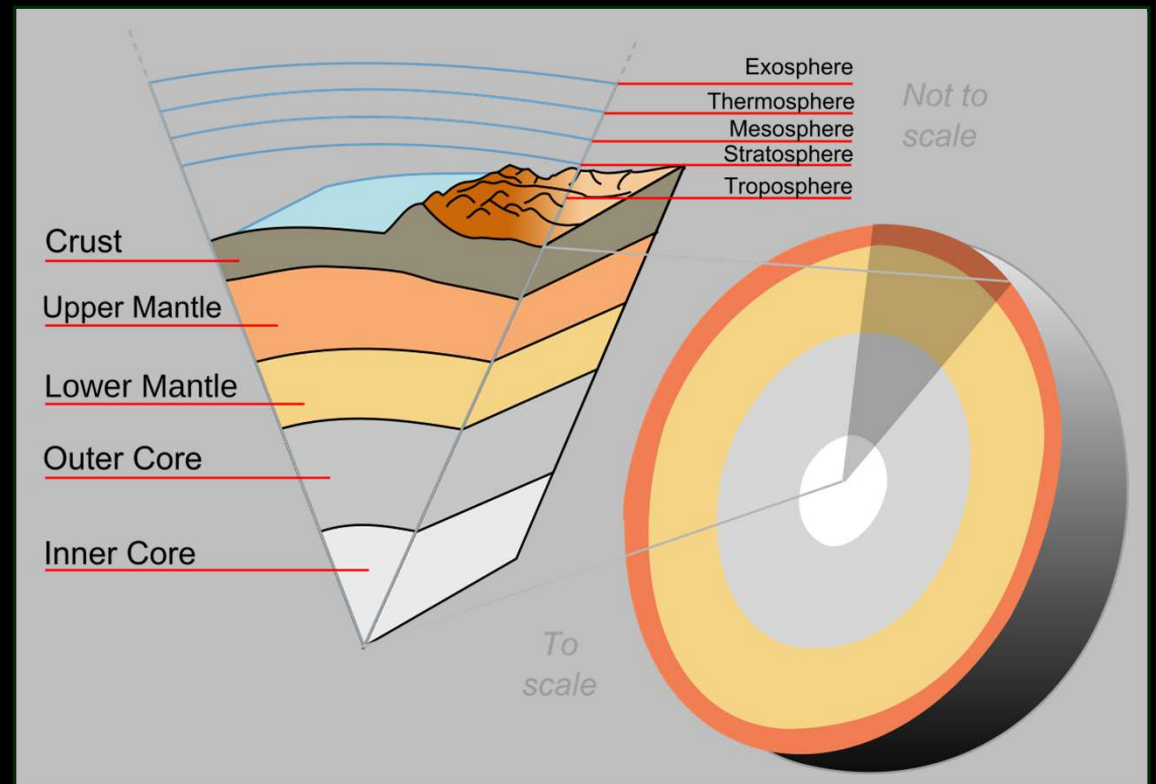
- Litofili: si combinano prevalentemente con l'O e si combinano a formare i minerali delle rocce
- Siderofili: hanno affinità con il ferro e tendono a ripartirsi nel nucleo terrestre
- Calcofil: si combinano prevalentemente con lo S.
- Atmosfili: tendono a ripartirsi nelle fasi liquide e/o gassose.

[illegible]

Verso corpi differenziati

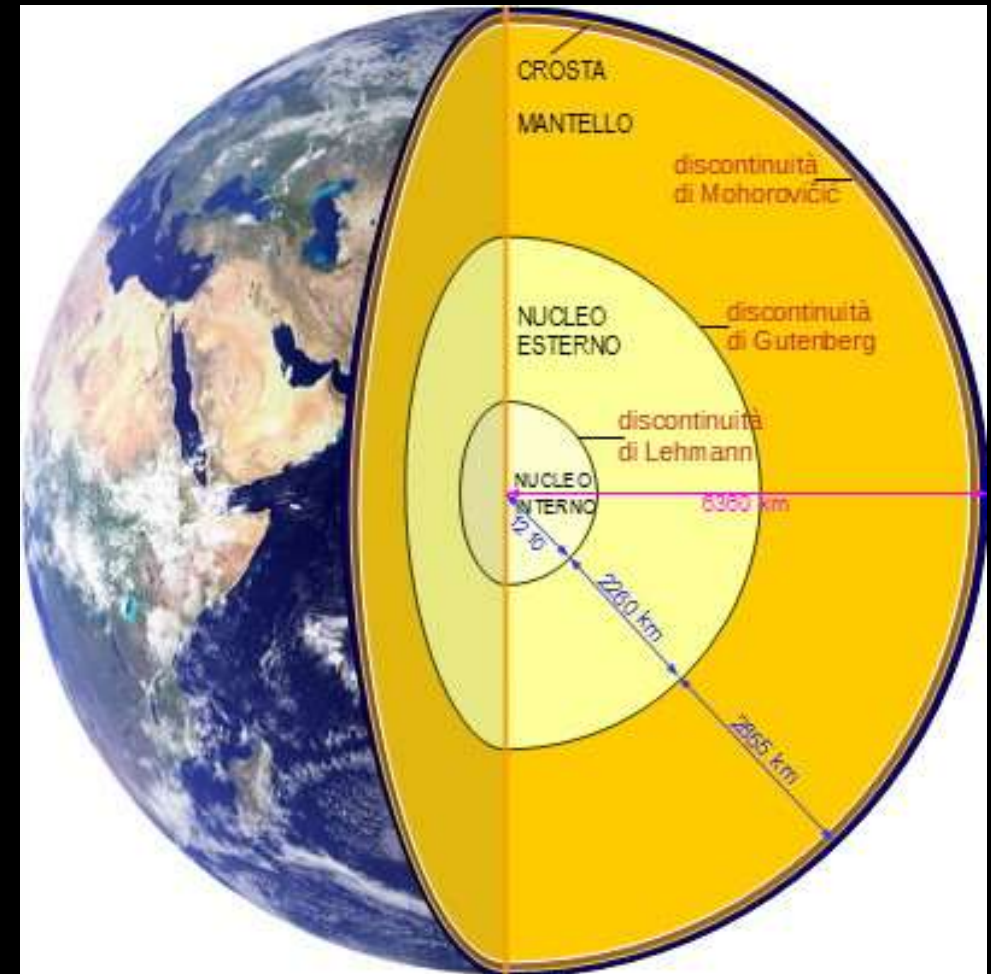
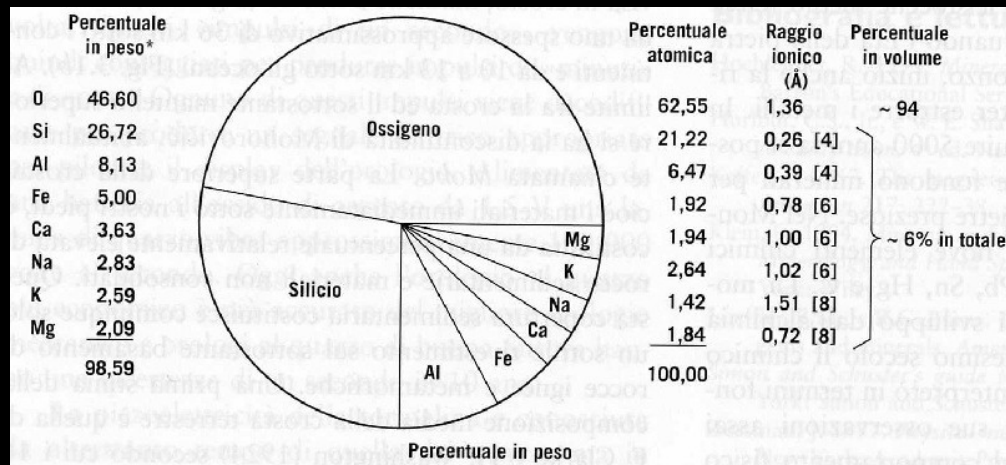
Corpi celesti con diametri superiori a 200 km sono andati incontro a fenomeni di differenziazione durante i quali gli elementi chimici si sono accumulati in differenti zone del corpo, in virtù delle loro proprietà chimico-fisiche.

La differenziazione avviene tramite processi di fusione parziale con calore derivante da decadimento radioattivo e dall'accrezione planetaria.



Un pianeta a gusci

Minerali composti da O e Si (**silicati**) saranno i più comuni costituenti del pianeta (elementi litofili).



Rock-forming minerals

Oggi sono noti oltre 6500 specie mineralogiche ma descrivere le principali rocce del pianeta Terra ci basta un numero decisamente minore di specie (~ 100).



50 milioni di anni dopo

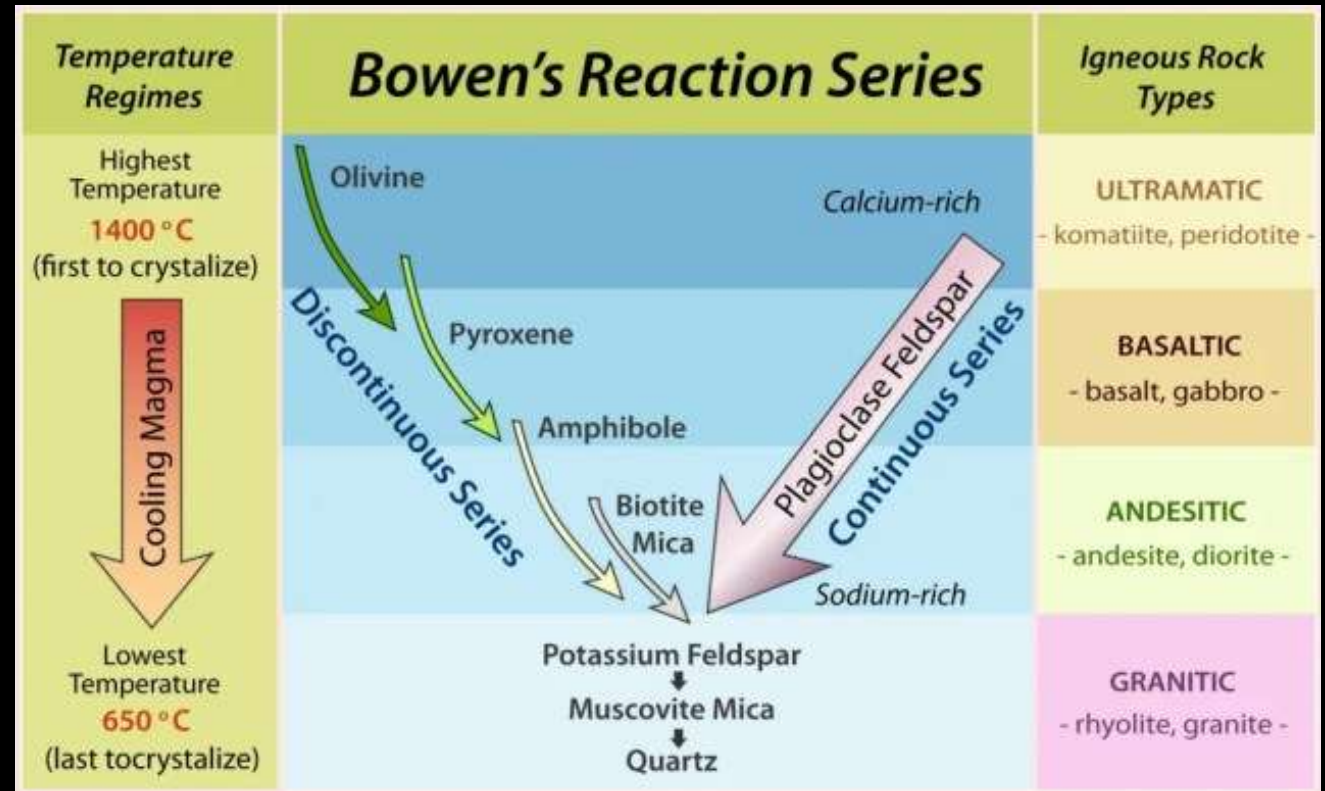
Nell'Adeano, dopo l'impatto con Theia e la formazione della Luna, iniziò a formarsi una sottile crosta basaltica. Tuttavia, tre meccanismi mantenevano l'oceano di magma:

- 1) continui impatti meteoritici;
- 2) Forza mareale della Luna (distante solo 25.000 km)
- 3) Decadimento di elementi radioattivi



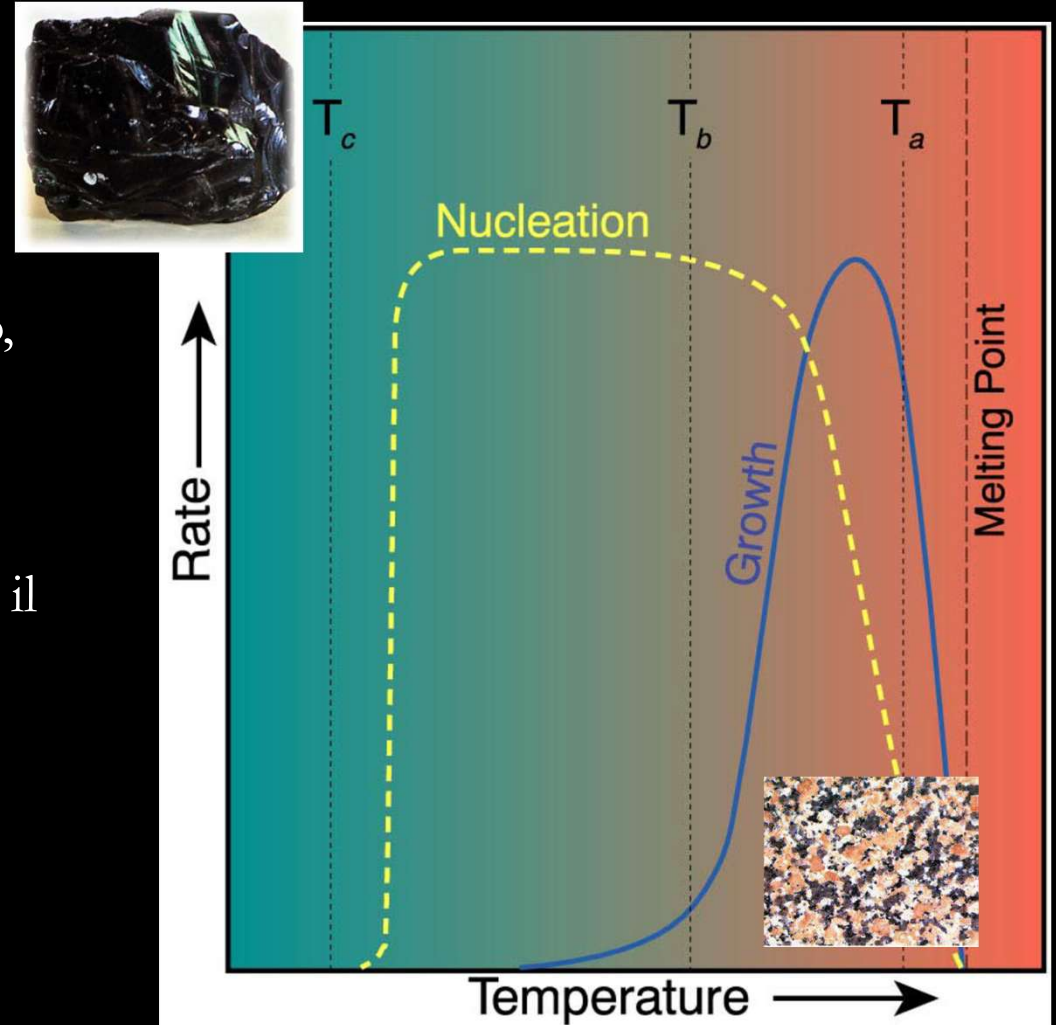
La cristallizzazione del magma

Magma: materiale naturale ad alta T , dotato di rilevante mobilità, che costituisce un sistema chimico-fisico complesso nel quale prevale una fase liquida di composizione generalmente silicatica.



Gli elementi costituenti il liquido magmatico possono passare nello stato solido ordinandosi in reticoli cristallini (= **minerali**) oppure conservando una struttura simile a quella del liquido e formando così del materiale amorfo (= **vetro**).

L'evoluzione del sistema è controllata essenzialmente dalla velocità di raffreddamento, dalla viscosità e dalle caratteristiche termodinamiche del magma. Il processo di cristallizzazione inizia con la **nucleazione** di germi cristallini e procede con la loro **crescita**: il ruolo combinato di nucleazione e crescita determina il tipo di struttura della roccia.



I primi cristalli terrestri

Quando l'oceano di magma scese a una temperatura sotto i 1500°C, iniziarono a nucleare e a crescere cristalli di olivina ricca in Mg. Essendo più densi del magma, essi iniziarono ad affondare formando rocce peridotitiche.



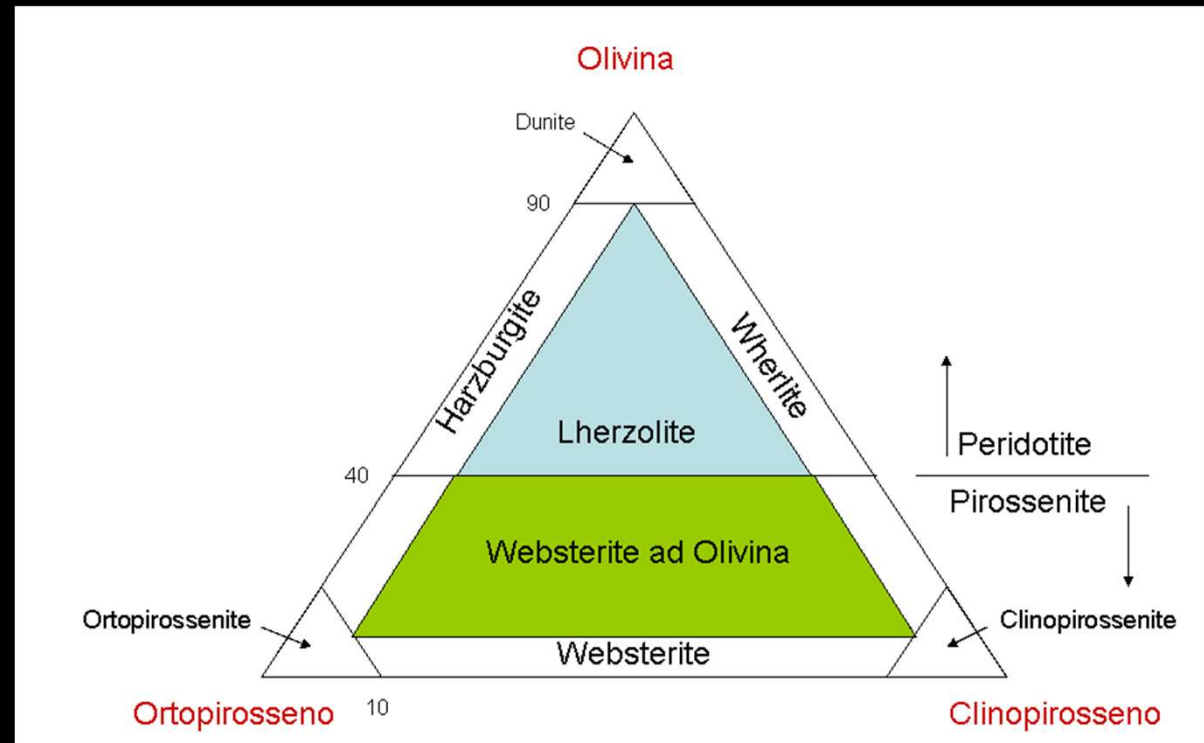
Serie dell'olivina

Mg_2SiO_4 (forsterite) – Fe_2SiO_4 (fayalite)

Le prime rocce

Il mantello terrestre è formato prevalentemente da peridotiti, rocce costituite da olivina, pirosseni e da una fase alluminifera (plagioclasio, spinello o granato). Sono rocce ultrabasiche.

La fusione parziale di queste rocce peridotitiche genera magmi impoveriti in Mg e più ricchi in Ca e Al che formano rocce basaltiche.



Un po' di nomenclatura chimica

Elementi maggiori: elementi contenuti in quantità $> 0.5-1 \text{ wt}\%$.

Acidità: contenuto in $\text{wt}\%$ di SiO_2

Ultrabasiche $\text{SiO}_2 < 43\%$

Basiche $43 < \text{SiO}_2 < 52\%$

Intermedie $52 < \text{SiO}_2 < 65\%$

Acide $\text{SiO}_2 > 65\%$

Saturazione in SiO_2

Sovrasature Quarzo-normative o modale

Sottosature Olivina e/o feldspatoidi

Sature Non contengono né qtz, né ol, né F

Basalto

Il basalto è una roccia magmatica effusiva, basica, composta da plagioclasio e pirosseno.





Fingal's cave, Scozia

Serie dei plagioclasì

Formula chimica

$\text{CaAl}_2\text{Si}_2\text{O}_8$ (anortite)

$\text{NaAlSi}_3\text{O}_8$ (albite)

Formula generale

$(\text{Na}_{1-x}\text{Ca}_x)(\text{Al}_{1+x}\text{Si}_{3-x}\text{O}_8)$

dove $0 \leq x \leq 1$



Pirosseni

La formula generale dei pirosseni può essere espressa come



dove

[VI-VIII]**X** = Na^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , Fe^{2+} , Mn^{2+} , Li^+

[VI]**Y** = Mg^{2+} , Fe^{2+} , Mn^{2+} , Al^{3+} , Fe^{3+} , Cr^{3+} , Ti^{4+}

[IV]**Z** = Si^{4+} , Al^{3+} .

Nei basalti i pirosseni hanno $\text{X} = \text{Ca}$, Mg , Fe ; $\text{Y} = \text{Mg}$, Fe (augiti).

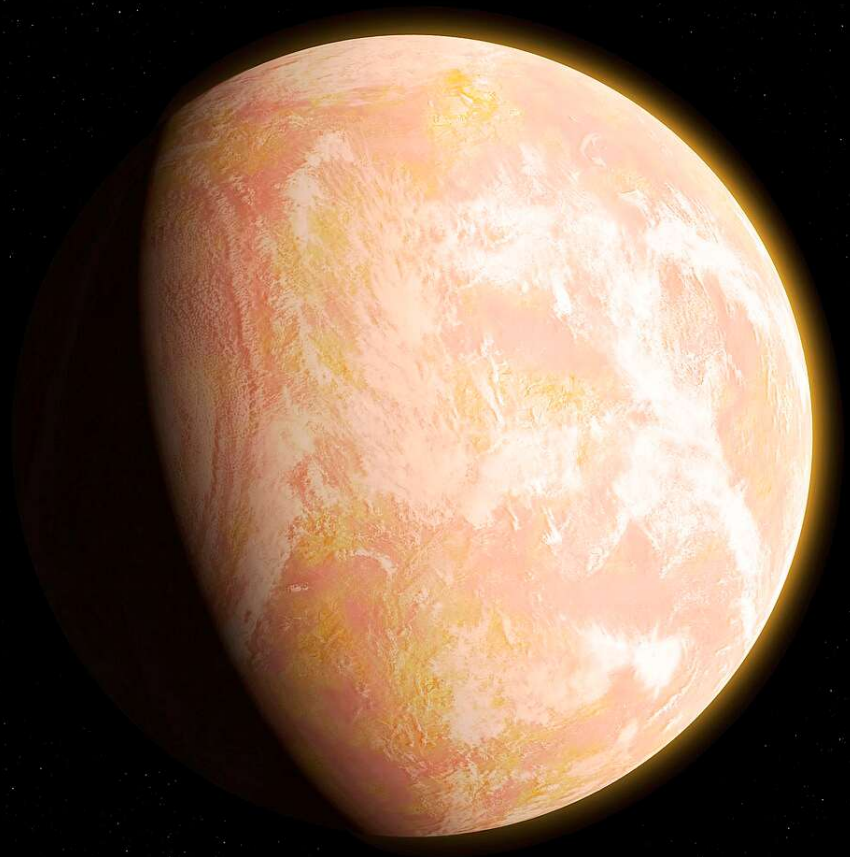




I primi oceani e la «seconda» atmosfera

Fra 100 e 200 milioni di anni dopo la formazione del pianeta, la temperatura era scesa a sufficienza per favorire la condensazione di H_2O a formare i primi oceani.

L'atmosfera era probabilmente un miscuglio di H_2O , N_2 , CO_2 , con CH_4 e NH_3 . Un forte effetto serra favoriva la presenza di temperature compatibili con l'acqua liquida, nonostante il Sole fosse del 30% meno brillante di oggi.







*Effusioni basaltiche a cuscino (pillows)
nel Pacifico.*



*Basalti a pillows dell'oceano Ligure-
Piemontese (Giurassico medio-superiore).
San Romano Garfagnana.*

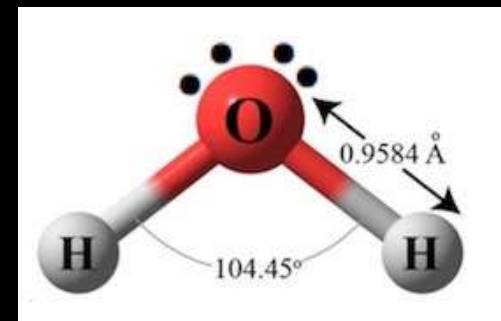
Basalti a pillows dell'oceano Ligure-Piemontese (Giurassico medio-superiore). Cava di Petrognano.



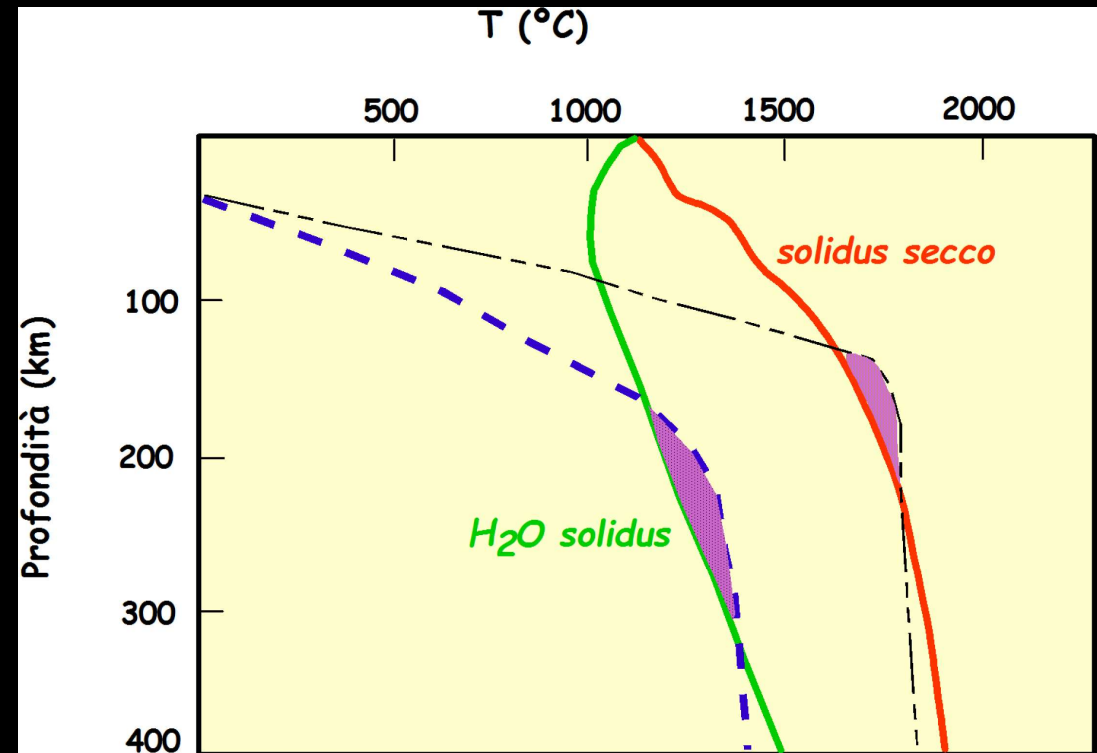
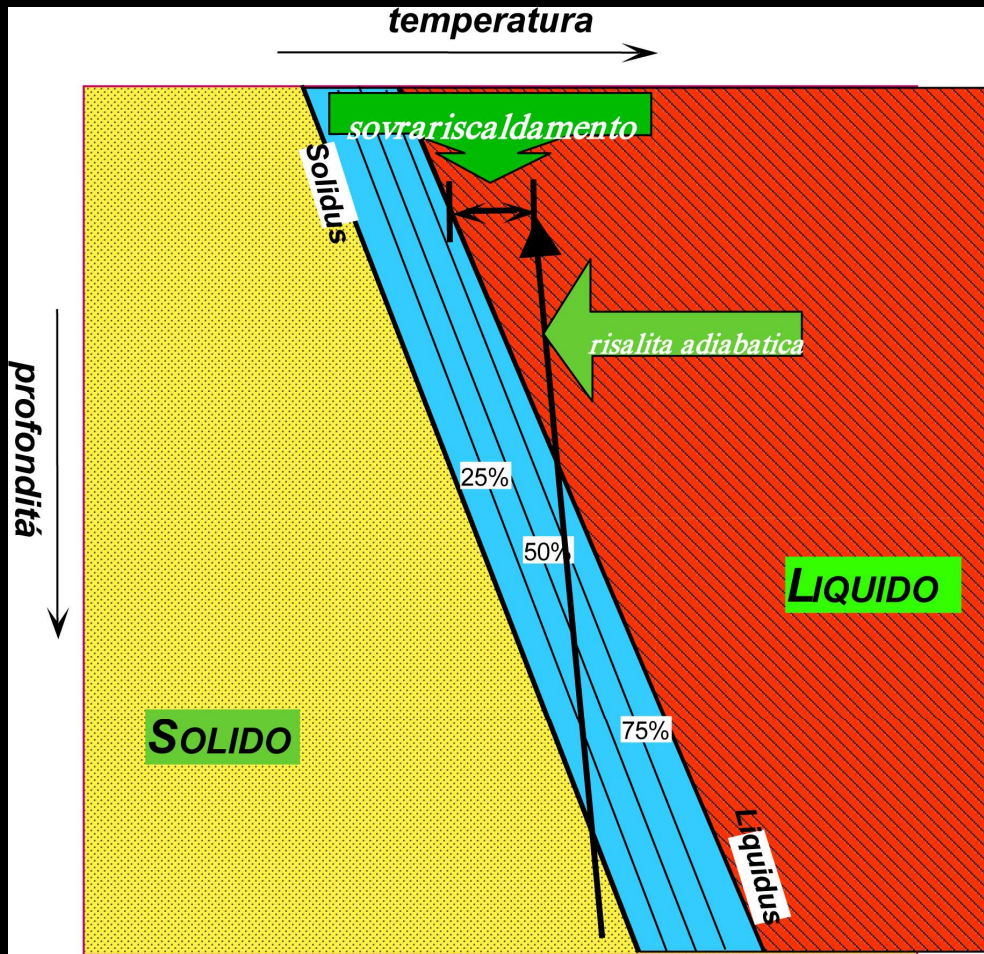
L'importanza dell'acqua

La presenza di H_2O (nei tre stati gassoso, liquido e solido) ha svolto un ruolo fondamentale per l'evoluzione del pianeta Terra.

- H_2O abbassa il punto di fusione delle rocce
- H_2O è in grado di dissolvere, trasportare e concentrare elementi chimici (formando giacimenti)
- H_2O catalizza le reazioni chimiche
- H_2O è un agente modellatore del paesaggio
- H_2O sostiene l'attività biologica (come la conosciamo)



Come fondono le rocce?

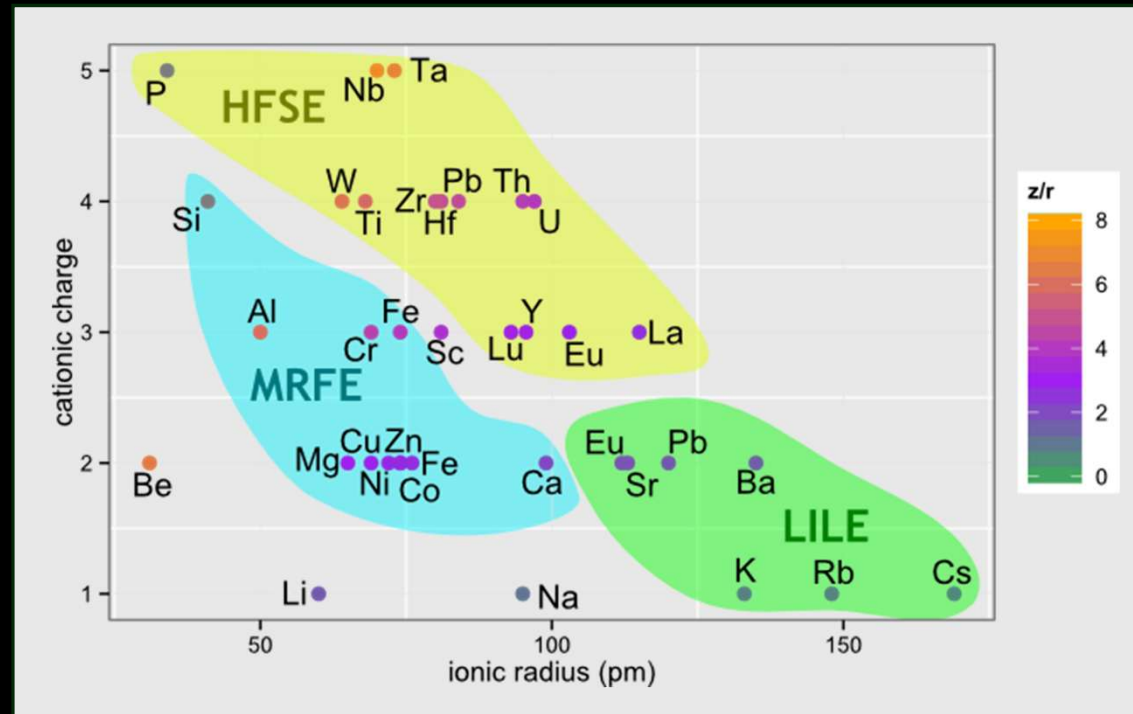


Elementi compatibili e incompatibili

Coefficiente di ripartizione K_d :
(concentrazione nel minerale)/(concentrazione nel liquido)

Elementi compatibili: elementi che hanno affinità con la fase solida ($K_d > 1$)

Elementi incompatibili: elementi che hanno affinità con la fase liquida ($K_d < 1$)



MRFE = Mantle Rock Forming Elements
HFSE = High Field Strength Elements
LILE = Large Ion Lithophile Elements

Rocce continentali

A partire da 3.5 Ga (ma forse già da 4.4-4.3 Ga) si assiste alla formazione di rocce più ricche in SiO_2 e arricchite di elementi incompatibili. Queste rocce, di composizione granitica, costituiscono la crosta continentale.



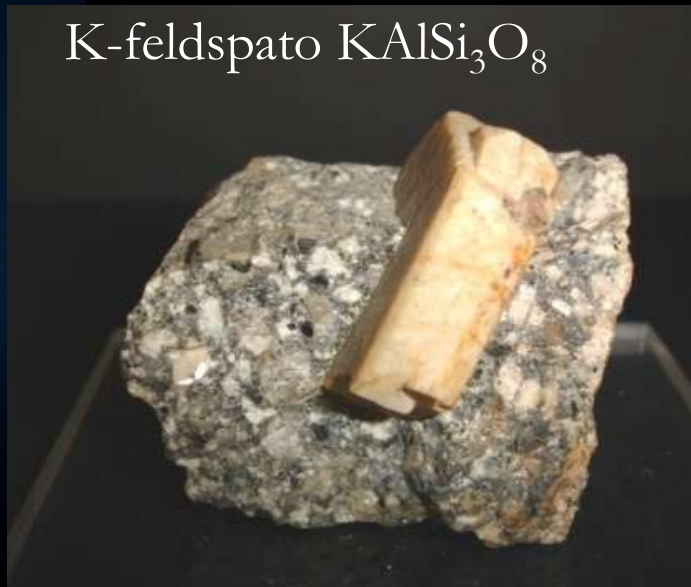
Il granito è una roccia acida costituita da quarzo, feldspato potassico, plagioclasio acido e mica.

Esso è meno denso del basalto ($\rho = 2.6-2.7 \text{ g/cm}^3$ *vs.* $2.7-3.1 \text{ g/cm}^3$).

Quarzo SiO_2



K-feldspato KAlSi_3O_8



Albite $\text{NaAlSi}_3\text{O}_8$

Muscovite



«Biotite»



Orneblenda



Come si descrivono le rocce magmatiche?

La descrizione di una roccia si basa sulla combinazione di due tipi di dati

tessitura

+

componenti

- La struttura (o tessitura) di una roccia è l'insieme dei caratteri derivanti da dimensioni, forma e rapporti spaziali dei suoi componenti.
- Le rocce ignee acquisiscono la loro struttura durante il processo igneo di solidificazione (passaggio del sistema dallo stato liquido allo stato solido).

Natura e abbondanza dei componenti di una roccia ignea (minerali, con strutture cristalline ordinati) dipendono dalla composizione del magma. Se il passaggio dal liquido al solido è molto rapido il solido conserva una struttura simile a quella del liquido, amorfa (vetro).

Componenti delle rocce magmatiche

Minerali primari

Minerali fondamentali ($> 5\%$)

Sialici: quarzo, alcalifeldspati, plagioclasì, nefelina, leucite, (muscovite)

Femici: olivina, ortopirosseni, clinopirosseni, anfiboli, biotite

Minerali accessori ($< 5\%$)

Diffusi: magnetite, ilmenite, apatite, zirconio, monazite

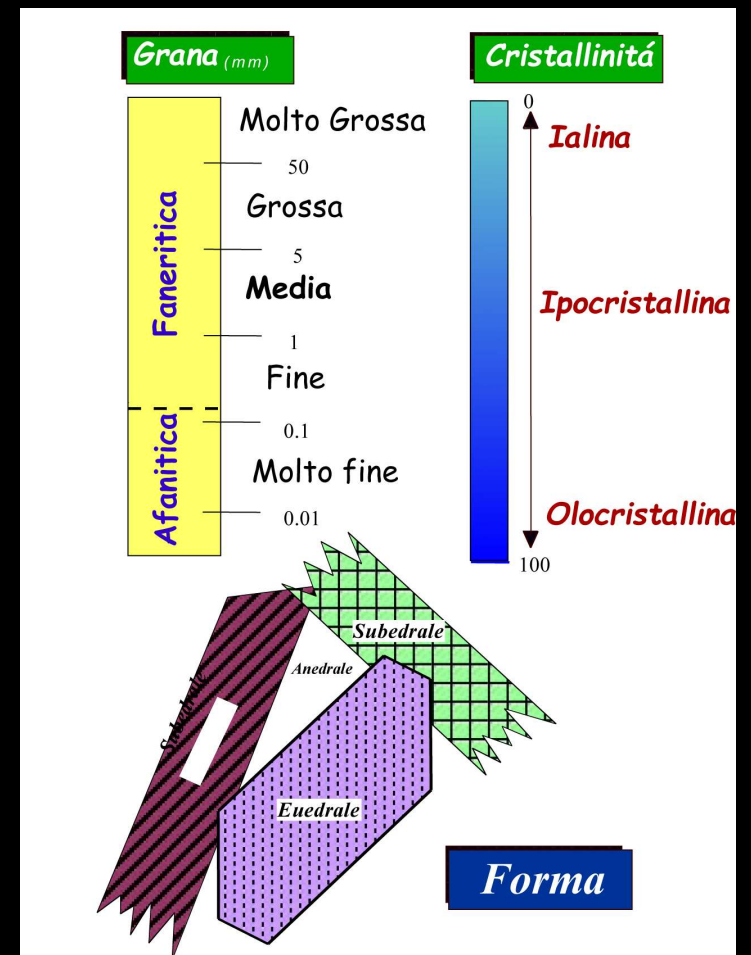
Specifici: cromite, spinelli, tormalina, titanite, epidoti, scapoliti, granati, andalusite, sillimanite, cordierite, corindone

Minerali secondari

Albite, epidoti, microclino, miche bianche, minerali argillosi, zeoliti, analcime, prehnite, scapolite, anfiboli, clorite, serpentino, talco, carbonati, ematite, limonite, rutilo, titanite, cristobalite, tridimite, quarzo

Descrizione della tessitura delle rocce magmatiche

- **cristallinità**
grado di cristallizzazione
- **granularità**
dimensioni assolute dei cristalli
dimensioni relative dei cristalli
- **forma dei cristalli**
grado di euedralità
forma 3D
- **relazioni spaziali tra le fasi**



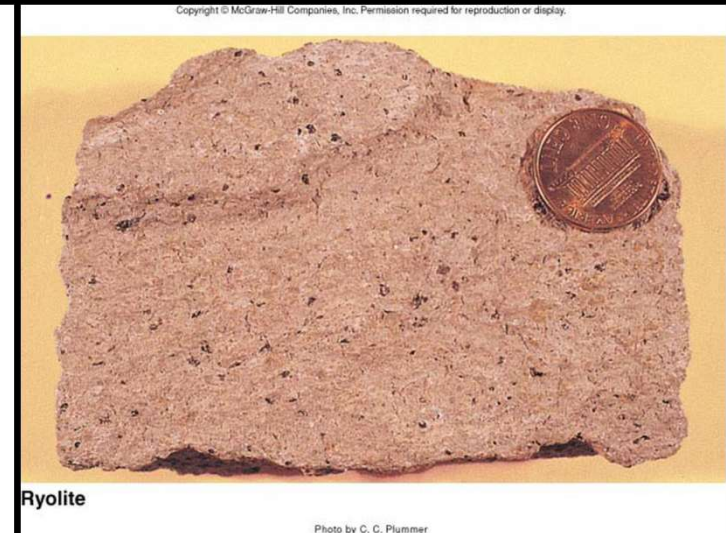
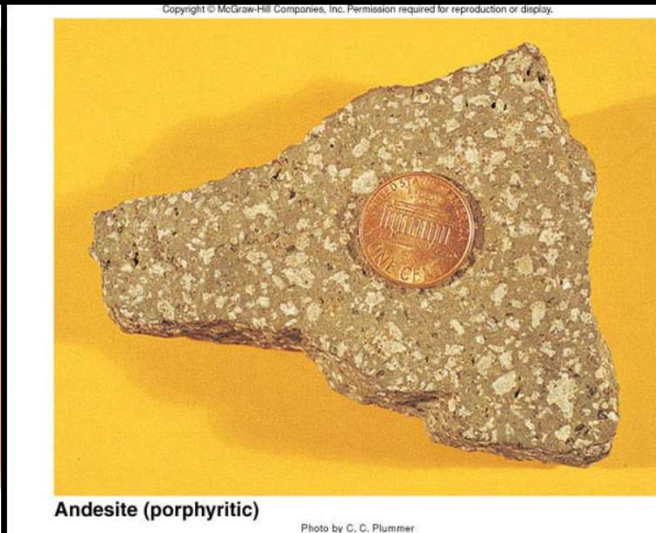
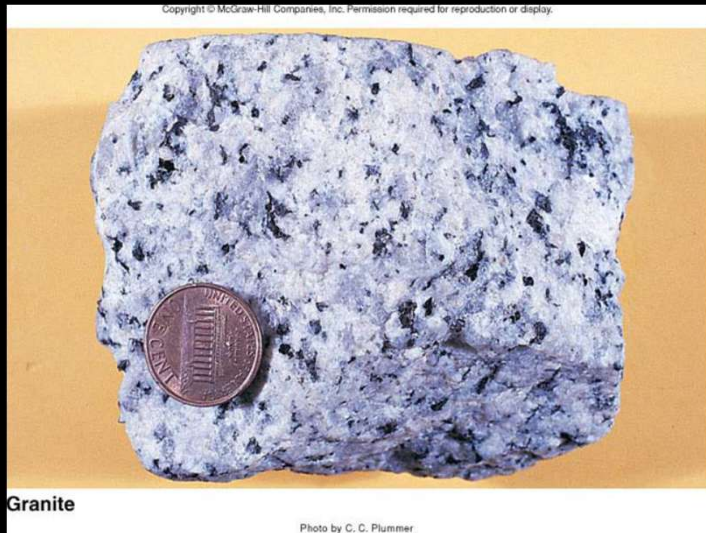
Descrizione della tessitura delle rocce magmatiche

Nel campione a mano, la granularità può essere descritta come:

faneritica = tutti i cristalli visibili a occhio nudo

afanitica = nessun cristallo visibile a occhio nudo

porfirica = fenocristalli in matrice afanitica (rocce vulcaniche)



Classificare le rocce magmatiche

Due tipi di classificazione:
mineralogico (= modale);
chimico o normativo.

Classificare per:

- comunicare in maniera sintetica, richiamando con un nome un oggetto e un contesto geologico
- inquadrare la complessità della natura in un schema

Moda = composizione mineralogica reale di una roccia (volume %).

Norma = associazione ipotetica di minerali standard (anidri) ottenuta attraverso un sistema di ricalcolo dell'analisi chimica di una roccia (es. norma CIPW).

Il diagramma di Streckeisen

Diagramma modale

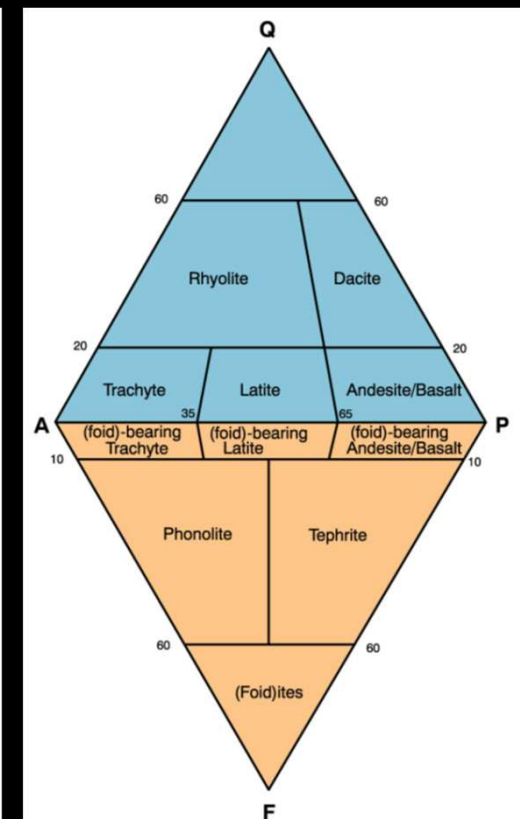
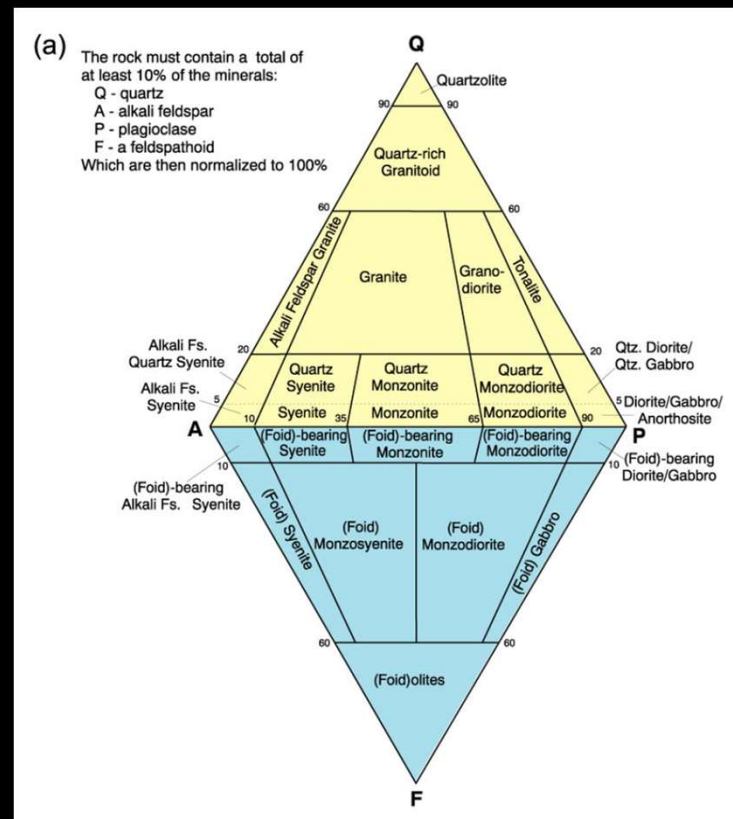
Q = quarzo

A = feldspati alcalini

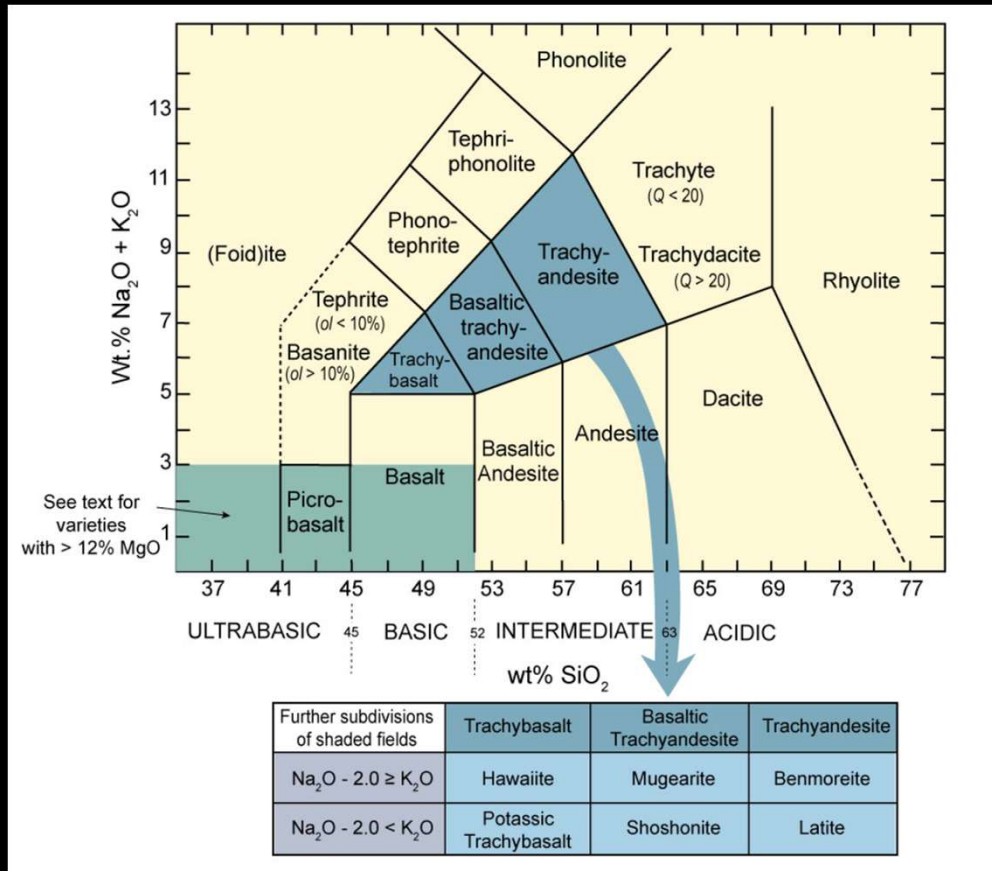
P = plagioclasa

$$F = \text{feldspatoidi}$$

Q e F sono incompatibili. Il diagramma funziona bene per le rocce plutoniche, meno per quelle vulcaniche...

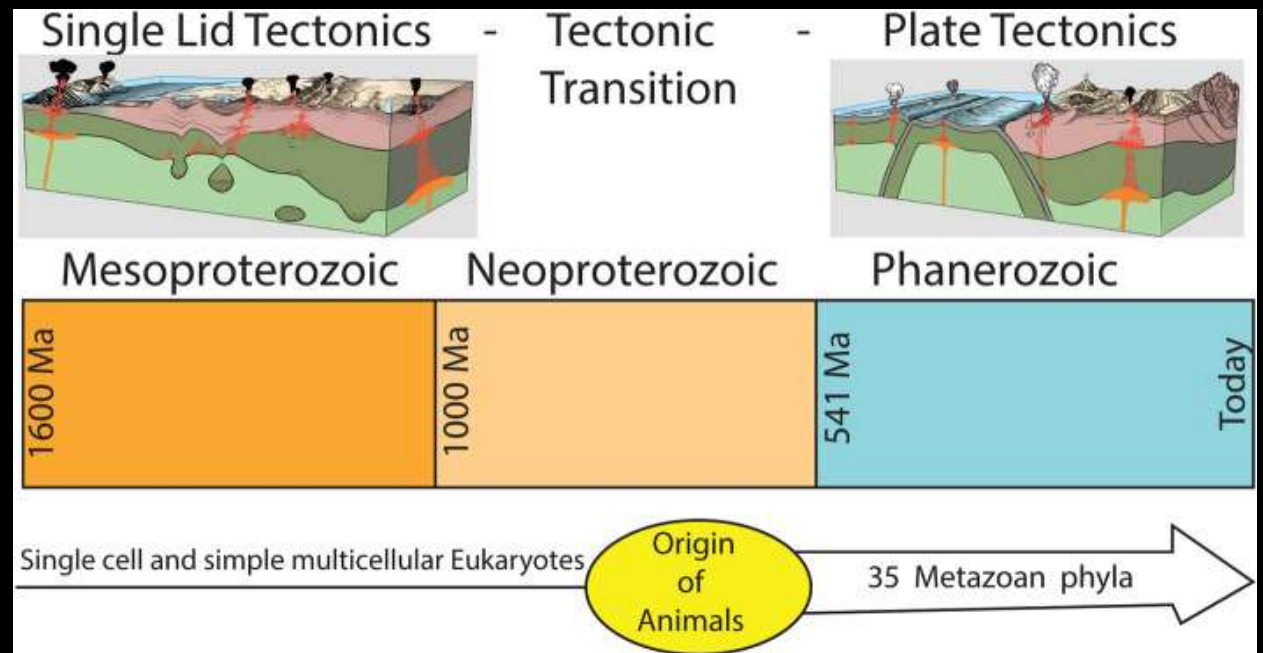


Il diagramma TAS

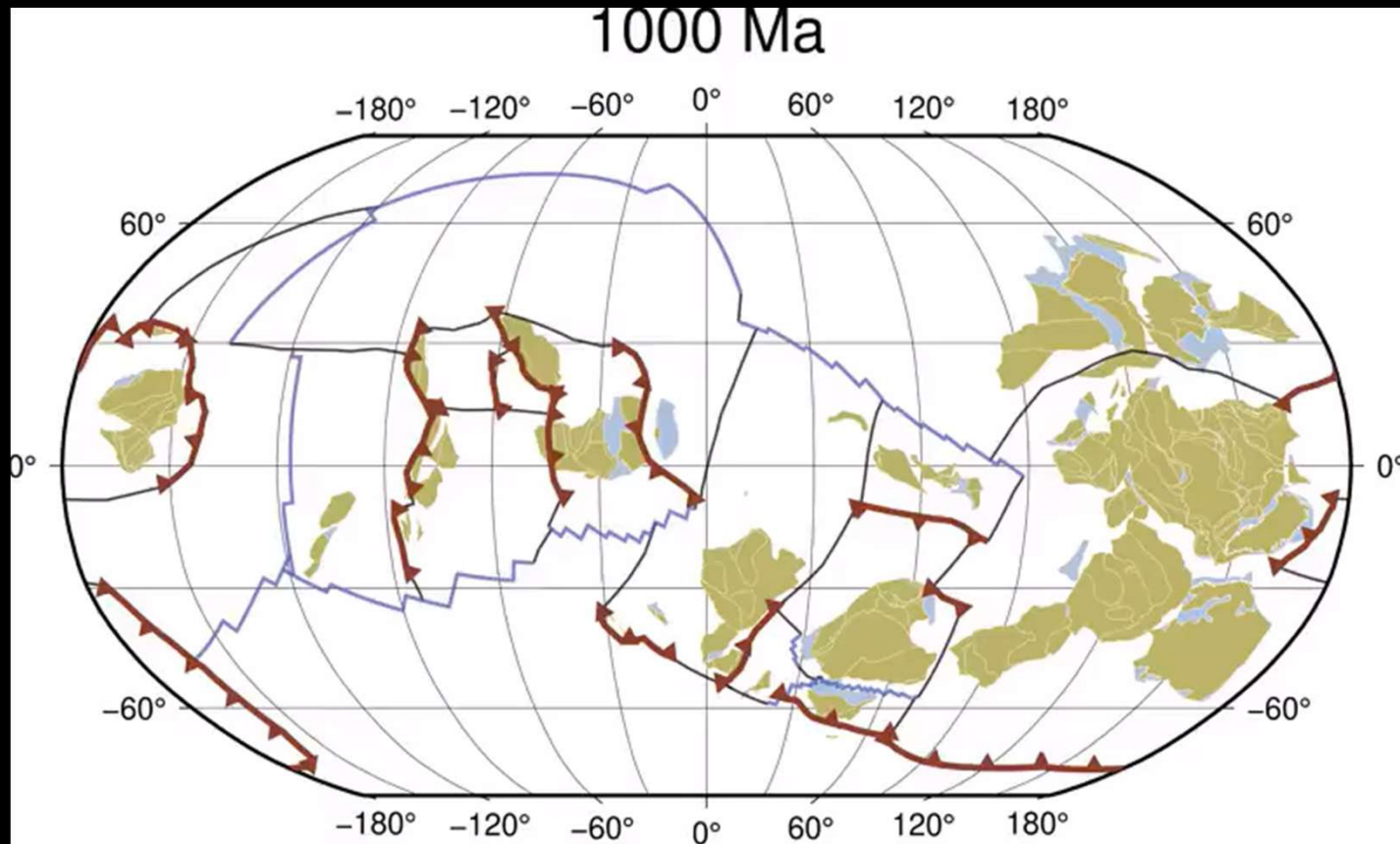


La nascita della tettonica

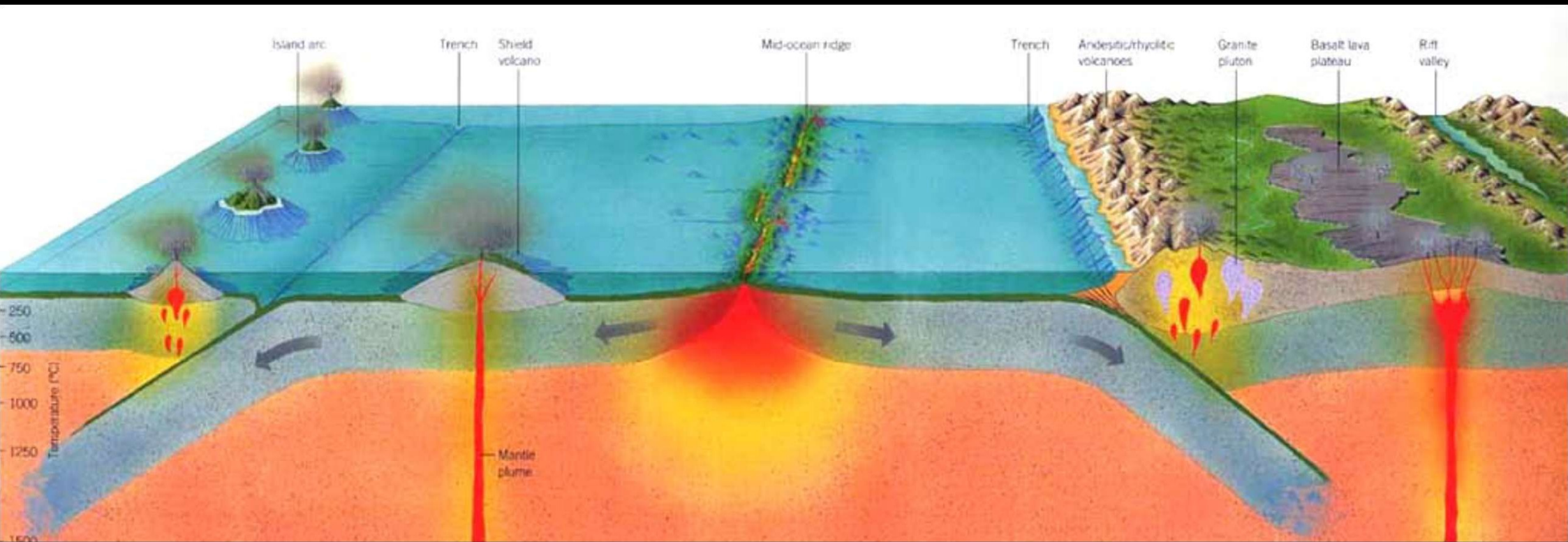
Non è chiaro quando sia cominciata la tettonica globale come la conosciamo oggi (stime fra 4 Ga e 800 Ma), ma alcuni scienziati suggeriscono che sia fondamentale per regolare il ciclo del C. Dovrebbe essere stata preceduta da una situazione tipo *Stagnant Lid*.



La nascita della tettonica



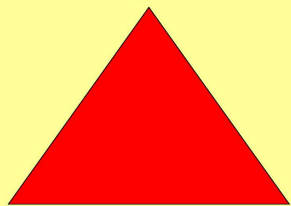
La nascita della tettonica



La nascita della tettonica

Cause della fusione

MORB
decompressione



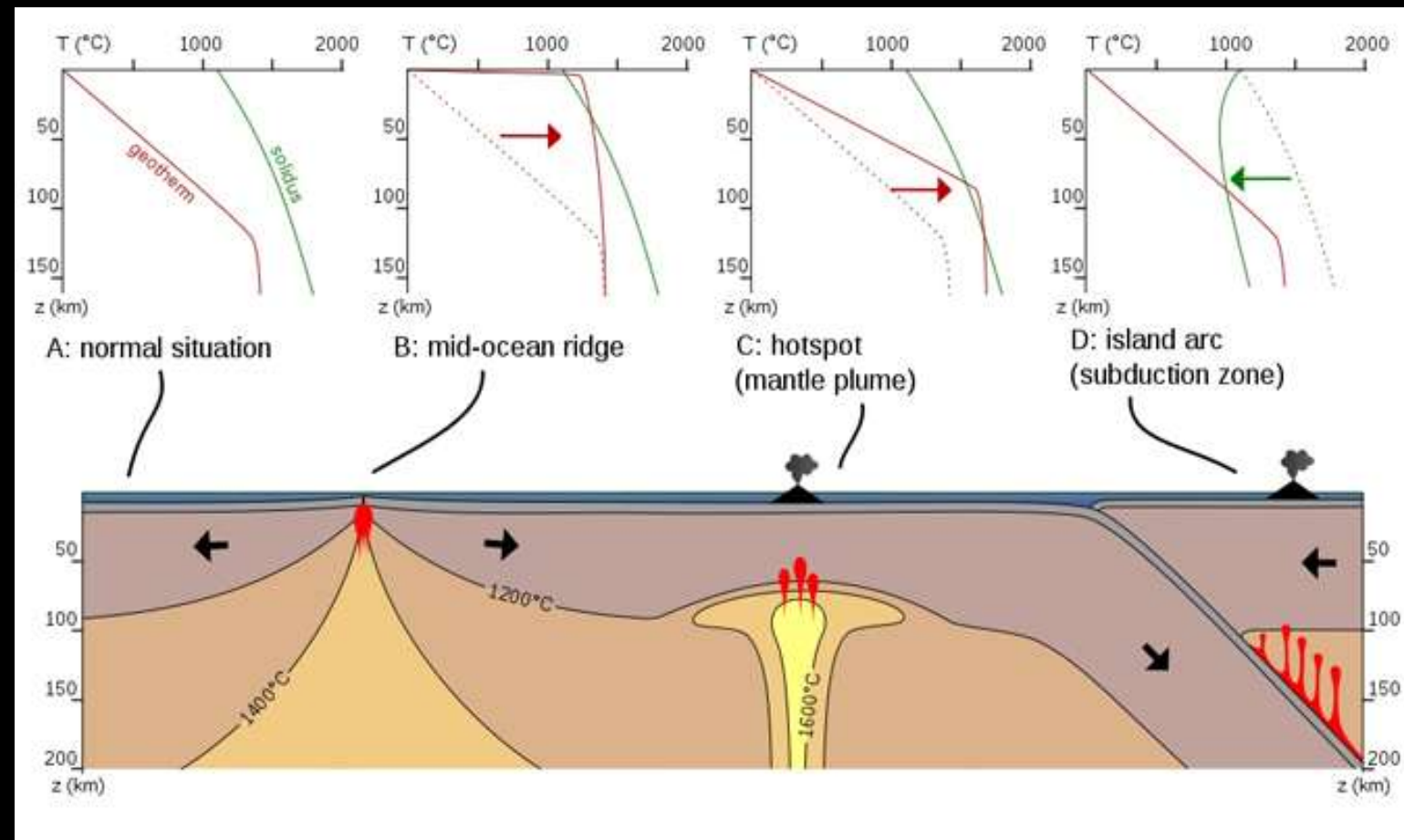
Aggiunta volatili

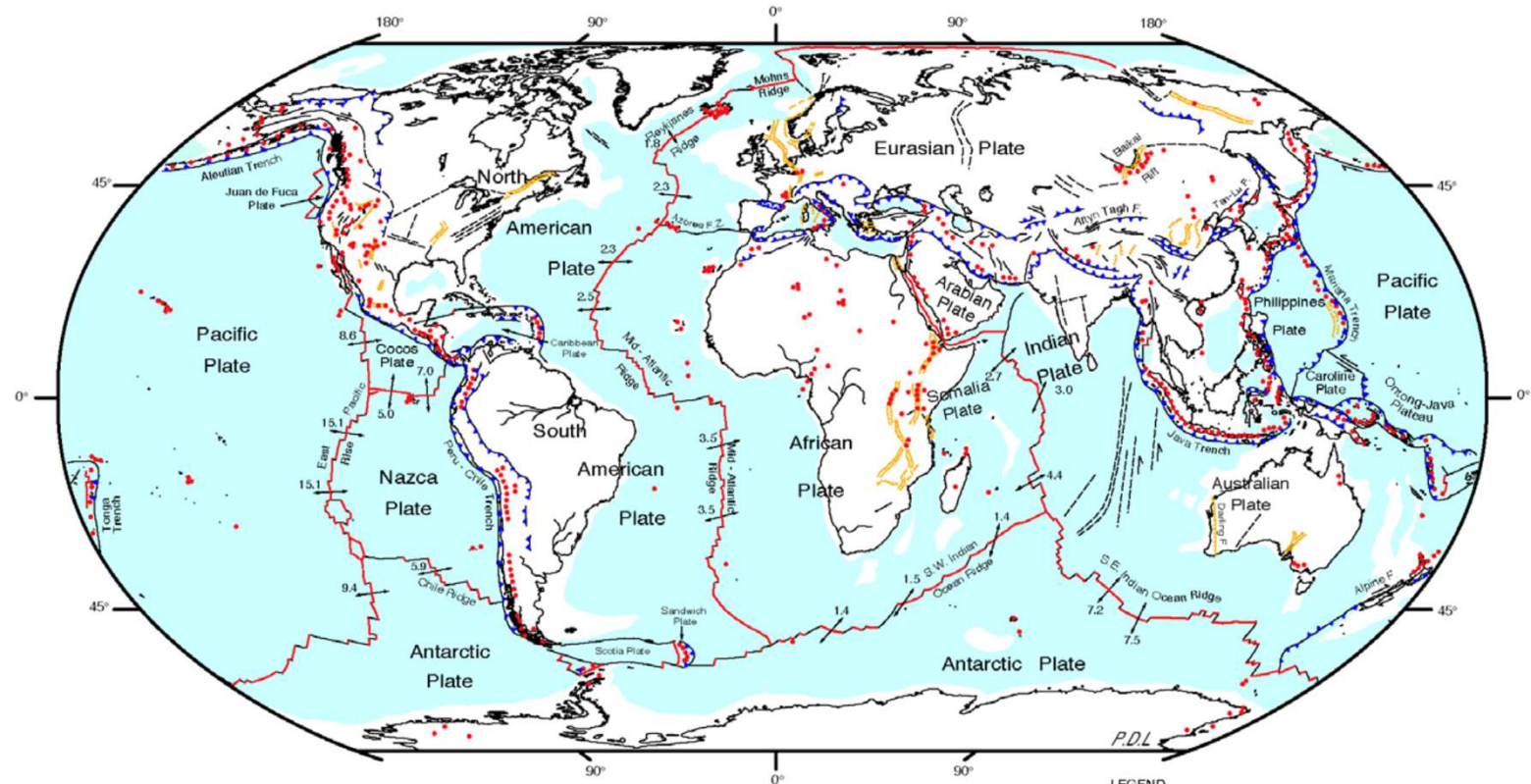
riscaldamento

Magmatismo orogenico

Plume

Anatessi crostale





GLOBAL TECTONIC ACTIVITY MAP OF THE EARTH
Tectonism and Volcanism of the Last One Million Years
DTAM - 1

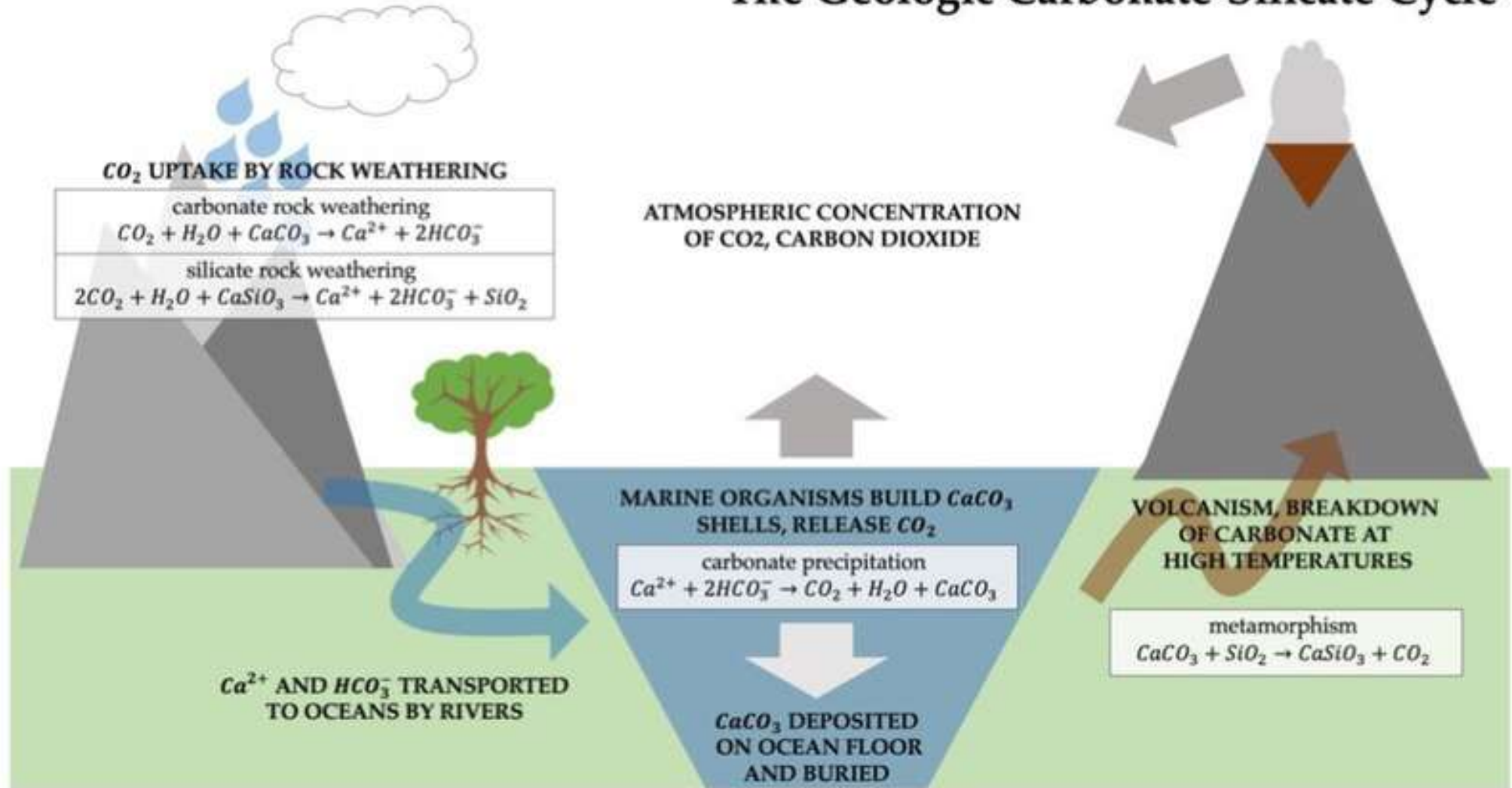


NASA/Goddard Space Flight Center
Greenbelt, Maryland 20771

Robinson Projection
Mainly oceanic crust
Mainly continental crust
October 2002

- LEGEND**
- Actively-spreading ridges and transform faults
 - Total spreading rate, cm/year
 - Major active fault or fault zone; dashed where nature, location, or activity uncertain
 - Normal fault or rift; hachures on downthrown side
 - Reverse fault (overthrust, subduction zones); generalized; barbs on upthrown side
 - Volcanic centers active within the last one million years; generalized. Minor basaltic centers and seamounts omitted.

The Geologic Carbonate-Silicate Cycle

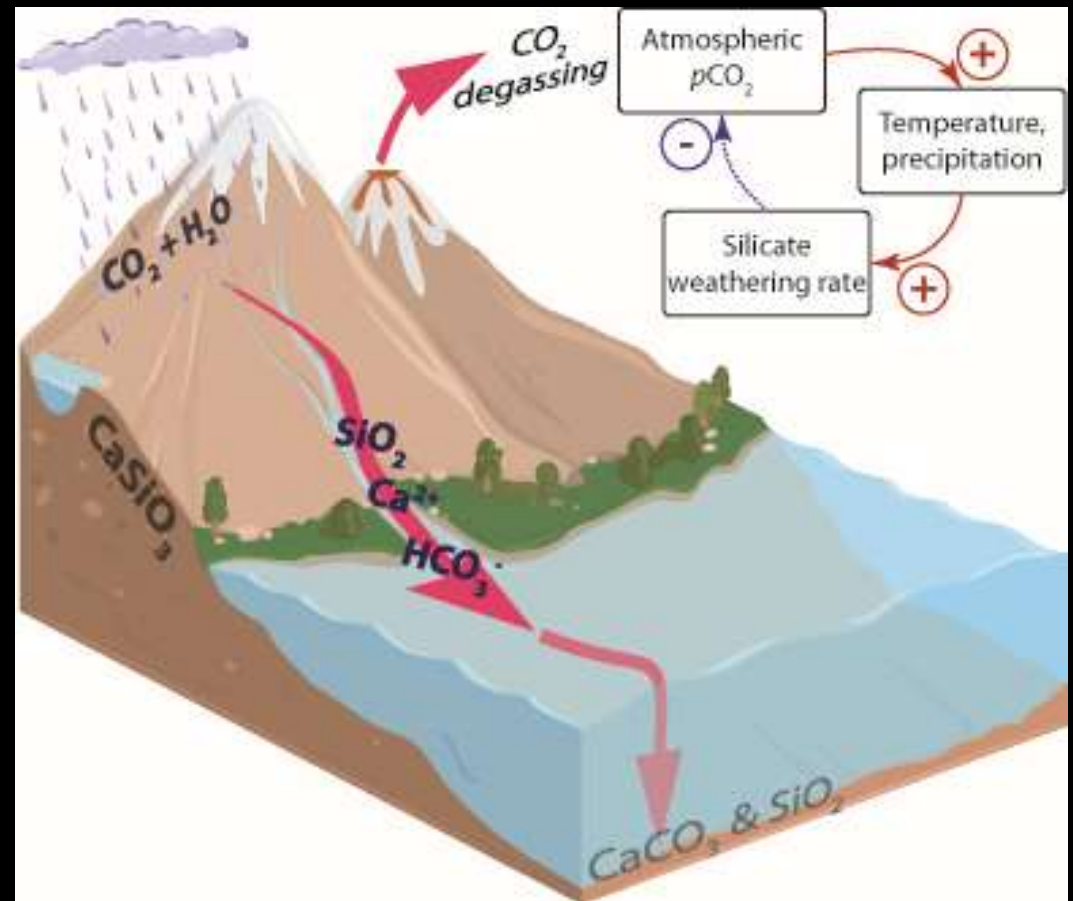


Mineralogia & Clima

L'alterazione dei minerali costituenti le rocce è un efficace metodo di termo-regolazione del pianeta.

L'aumento di CO_2 atmosferica favorisce un aumento delle temperature e delle precipitazioni, che risultano in un aumento nel tasso di alterazione delle rocce.

Questo può condurre al rilascio di ioni che, combinandosi con l'acido carbonico, portano alla precipitazioni di carbonati, che sequestrano la CO_2 .



Erosione e sedimentazione

In metaconglomerati di 3 Ga provenienti dalle Jack Hills (Australia occidentale) sono stati trovati zirconi detritici di 4.404 ± 0.008 Ga.

Dopo 100-200 Ma dalla formazione del pianeta, fenomeni di erosione, trasporto e sedimentazione erano già attivi sulla superficie della Terra.



Metaconglomerato delle Jack Hills, Australia

*Alternanze di peliti rosse e calcilutiti
grigie. Val Fegana.*



*Alternanze di peliti rosse e calcilutiti
grigie. Val Fegana.*



*Alternanze di peliti rosse e calcilutiti
grigie. Val Fegana.*



*Calcare a bioclasti di età
giurassica.
Pania di Corfino.*



Un po' di terminologia

Diagenesi = serie di processi chimico-fisici che trasformano il sedimento in una roccia sedimentaria.

Litificazione = è il risultato più importante della diagenesi. Risulta da una serie di processi (coesione, costipamento, aumento di T , pressione orientata, ricristallizzazione, cementazione).

Cementazione = introduzione di nuova materia minerale nei pori di un sedimento.

Come si descrivono le rocce sedimentarie?

La descrizione di una roccia si basa sulla combinazione di due tipi di dati

tessitura

+

componenti

- La struttura (o tessitura) di una roccia è l'insieme dei caratteri derivanti da dimensioni, forma e rapporti spaziali dei suoi componenti.
- Le rocce sedimentarie acquisiscono la loro struttura durante il processo sedimentario (erosione, trasporto, deposizione, diagenesi).

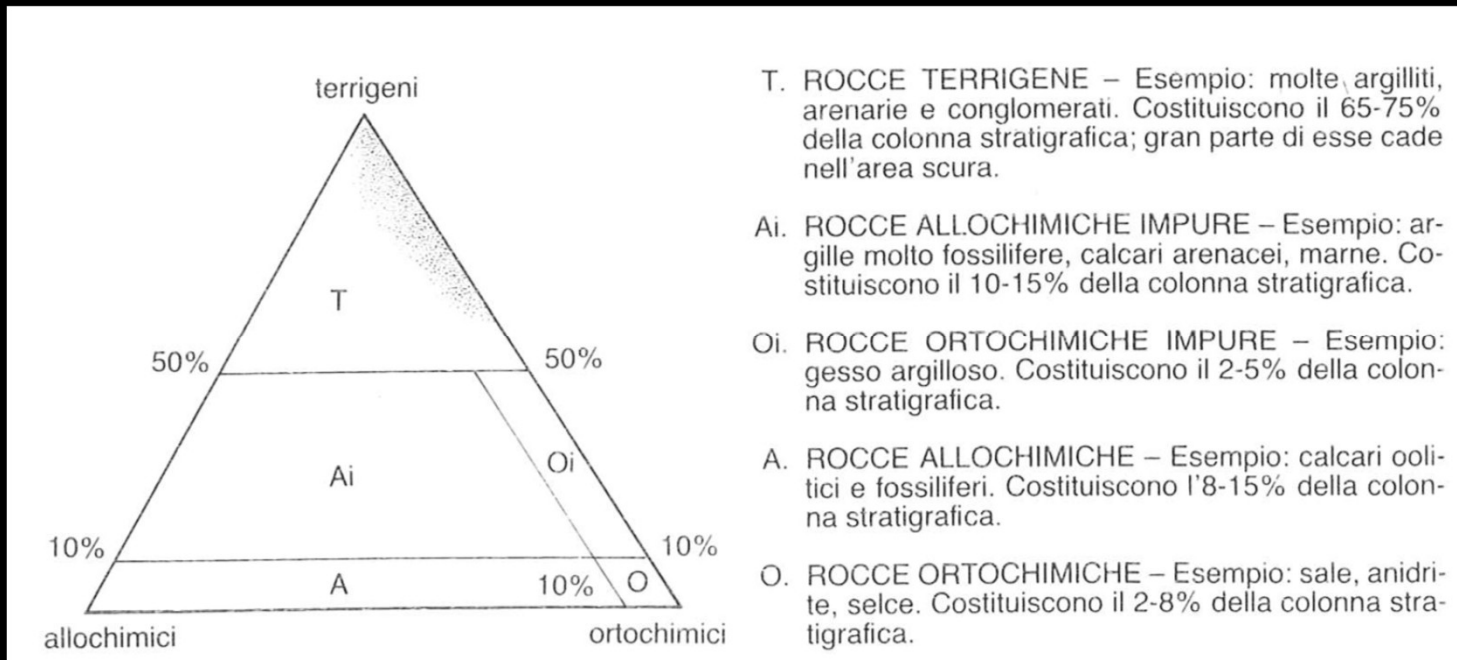
Natura e abbondanza dei componenti di una roccia sedimentaria (minerali, materiale organico) dipendono dalla composizione del materiale deposto e del materiale diagenetico (cemento).

Classificazione delle rocce sedimentarie

Componenti terrigeni: derivanti da disgregazione di rocce preesistenti

Componenti allochimici: originate nel bacino di sedimentazione e trasportate

Componenti ortochimici: precipitati chimici non trasportati.

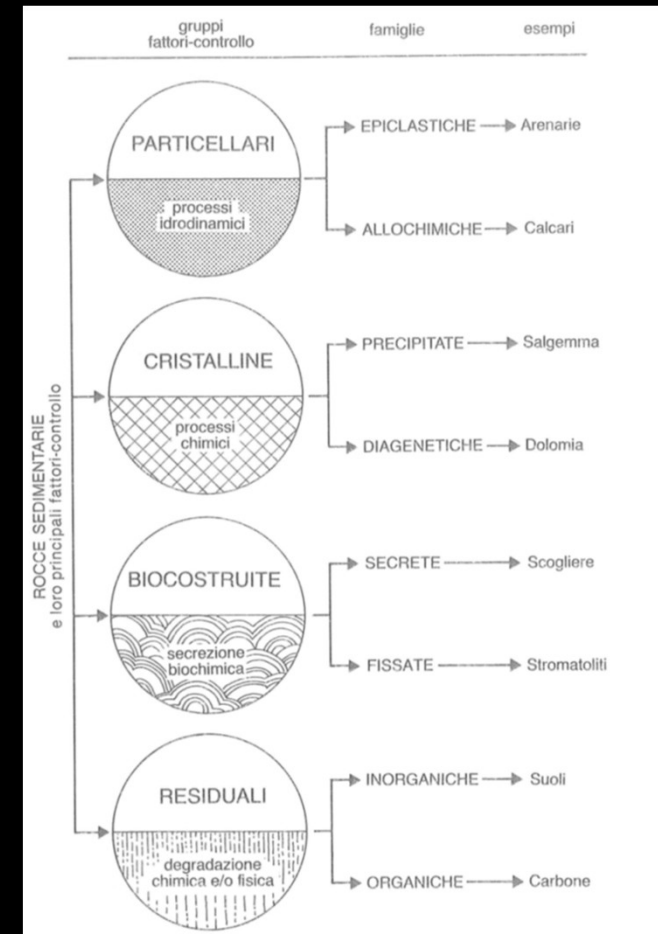


Classificazione delle rocce sedimentarie

Da un punto di vista sedimentologico:

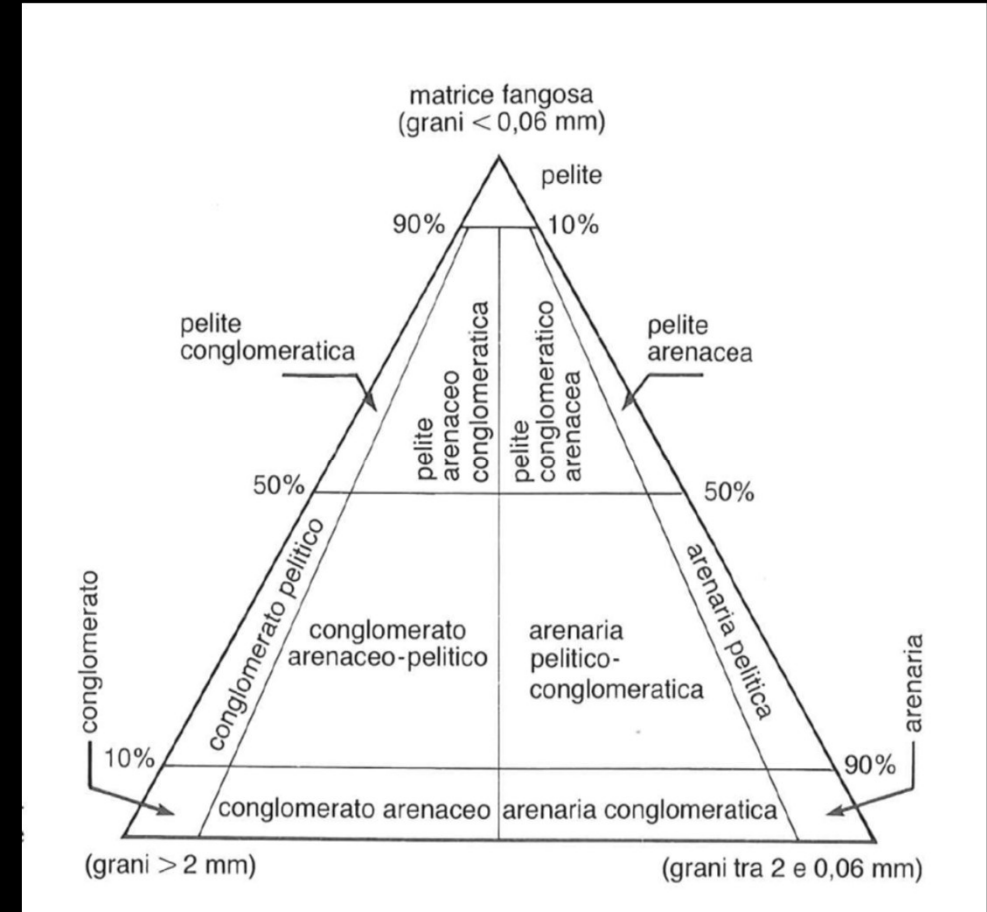
- rocce particellari o granulari;
- rocce cristalline;
- rocce biocostruite;
- rocce residuali.

Le rocce sedimentarie sono rappresentate per oltre il 90% da rocce terrigene silicoclastiche e da rocce carbonatiche. Meno importanti sono le evaporiti, le rocce silicee, bituminose, fosfatiche e ferrifere.



Rocce granulari

MILLIMETRI	MICRON	SCALA ϕ	CLASSI GRANULOMETRICHE (Wentworth)	
4096		- 12	Blocchi	
256		- 8	Ciottoli	
64		- 6	Ciottoletti	
4.00		- 2		
3.36		- 1.75		
2.83		- 1.50	Granuli	GHIAIA
2.38		- 1.25		
2.00	2000	- 1		
1.68		- 0.75		
1.41		- 0.50	Sabbia molto grossa	
2.19		- 0.25		
1.00	1000	0		
0.84		0.25	Sabbia grossa	
0.71		0.50		
0.59		0.75		
0.50	500	1		
0.42	420	1.25	Sabbia media	
0.35	350	1.50		
0.30	300	1.75		
0.25	250	2		
0.210	210	2.25	Sabbia fine	
0.177	177	2.50		
0.149	149	2.75		
0.125	125	3		
0.105	105	3.25		
0.088	88	3.50	Sabbia molto fine	
0.074	74	3.75		
0.0625	62.5	4		
0.053	53	4.25		
0.044	44	4.50	Silt grosso	
0.037	37	4.75		
0.031	31	5		
				SILT (limo)
0.0156	15.6	6	Silt medio	
0.0078	7.8	7	Silt fine	
			Silt molto fine	
0.0039	3.9	8		
0.0020	2	9		
0.00098	0.98	10		
0.00049	0.49	11		
0.00024	0.24	12		
			ARGILLA	



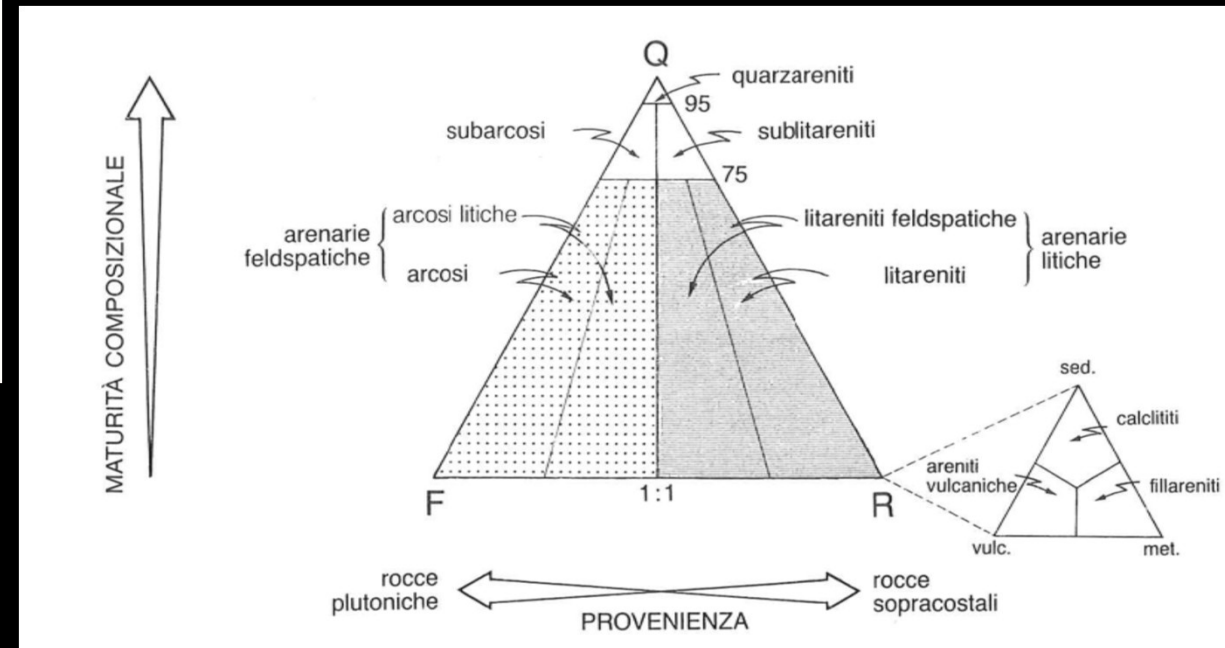
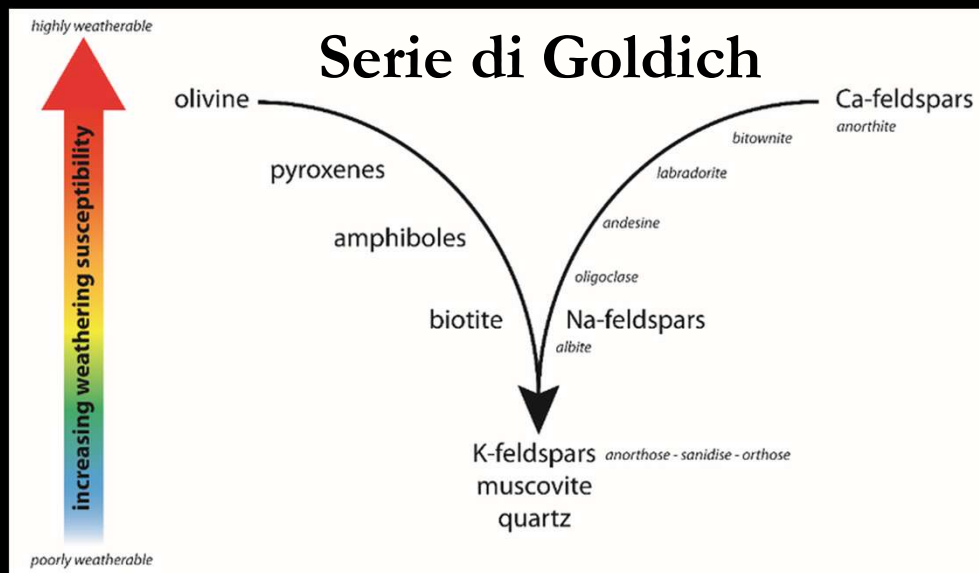
Rocce granulari

Conglomerato = roccia terrigena di granulometria > 2 mm con clasti più o meno arrotondati.

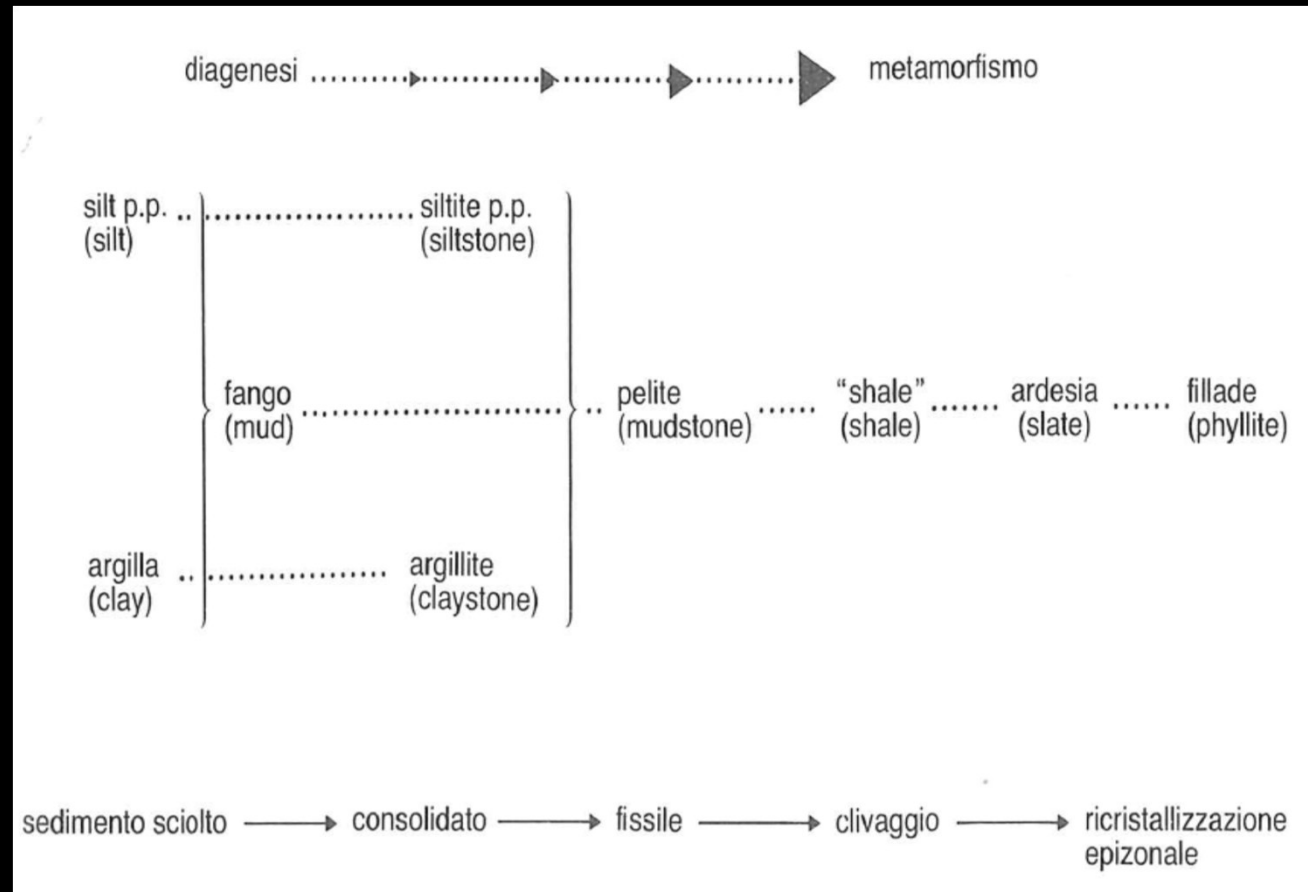
Breccia = roccia terrigena di granulometria > 2 mm con clasti spigolosi.



Rocce granulari



Rocce granulari

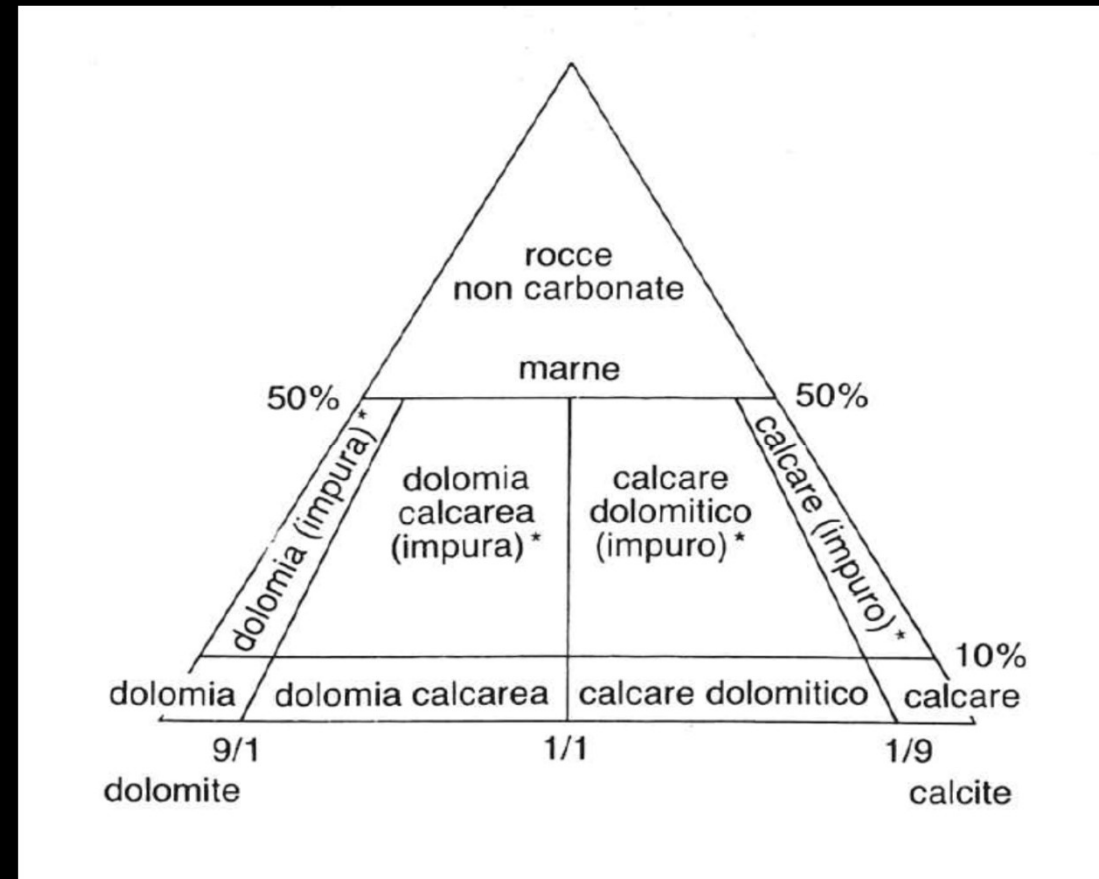


Rocce carbonatiche

Le rocce carbonatiche si differenziano dalle altre per:

- stretta connessione con il mondo biologico;
- produzione e deposizione locali;
- diagenesi precoce.

I componenti sono calcite, aragonite e dolomite.





Calcite CaCO_3



Aragonite CaCO_3



Dolomite $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$

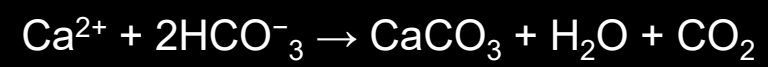


Calcari



Dolomie

Travertino



Altre rocce sedimentarie

- **Evaporiti** = depositi salini che si formano per precipitazione chimica diretta da soluzioni concentrate (salamoie, brine).
- **Rocce silicee** = formati dall'accumulo di gusci di organismi silicei (radiolariti, diatomiti) oppure per processi di precipitazione chimica diretta (rare, es. in aree geotermiche) o durante la diagenesi (liste di selci nei calcari).
- **Rocce ferro-manganesifere** = formate da ossidi e/o silicati di Fe/Mn
- **Rocce fosfatiche** (es. fosforiti)
- ***Black shales***

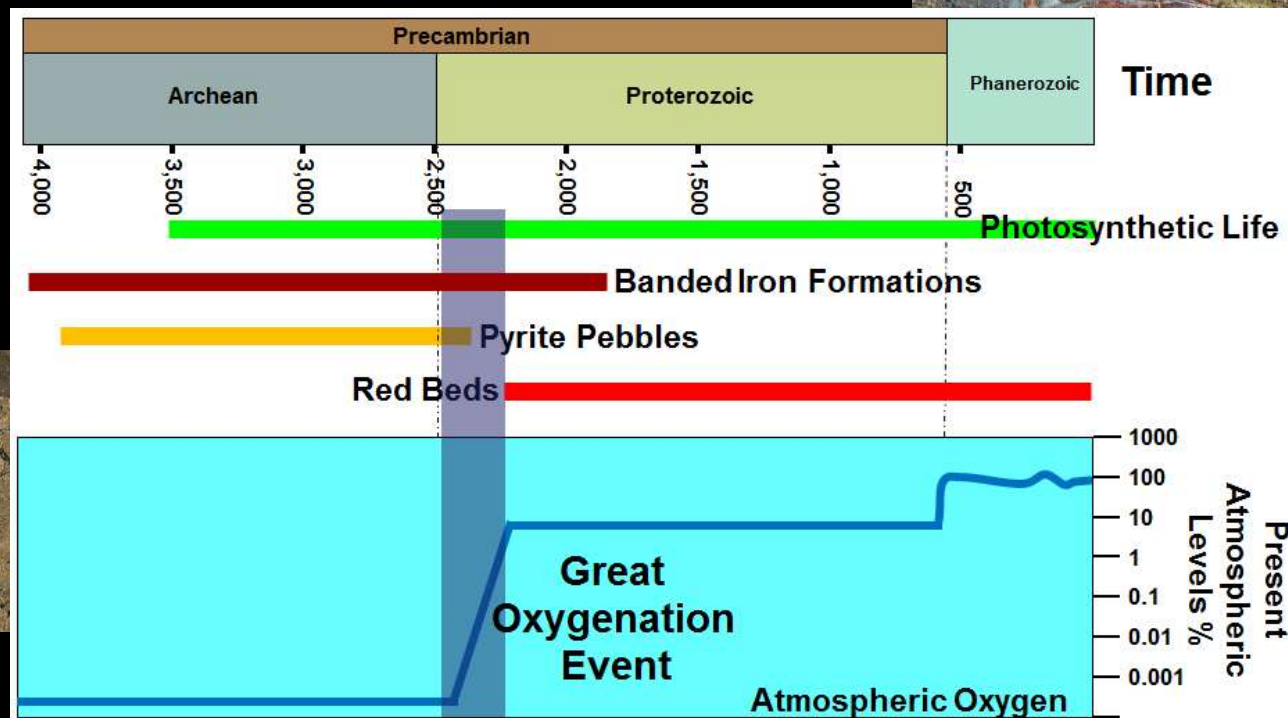
*Affioramento di gessi triassici presso
Camporanda (Sillano)*





*Affioramento di radiolariti rosse di età
giurassica media. Monti Livornesi.*

Le BIF (*Banded Iron Formations*) sono formazioni sedimentarie formate da ematite (o magnetite) e silice, legate al GOE (*Great Oxidation Event*, 2.4 Ga).

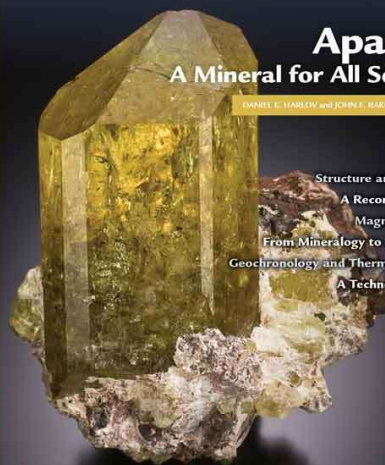


© Alex Glass, Duke University

Elements

An International Magazine of Mineralogy, Geochemistry, and Petrology

June 2015
Volume 11, Number 3
ISSN 1811-4209



Apatite: A Mineral for All Seasons

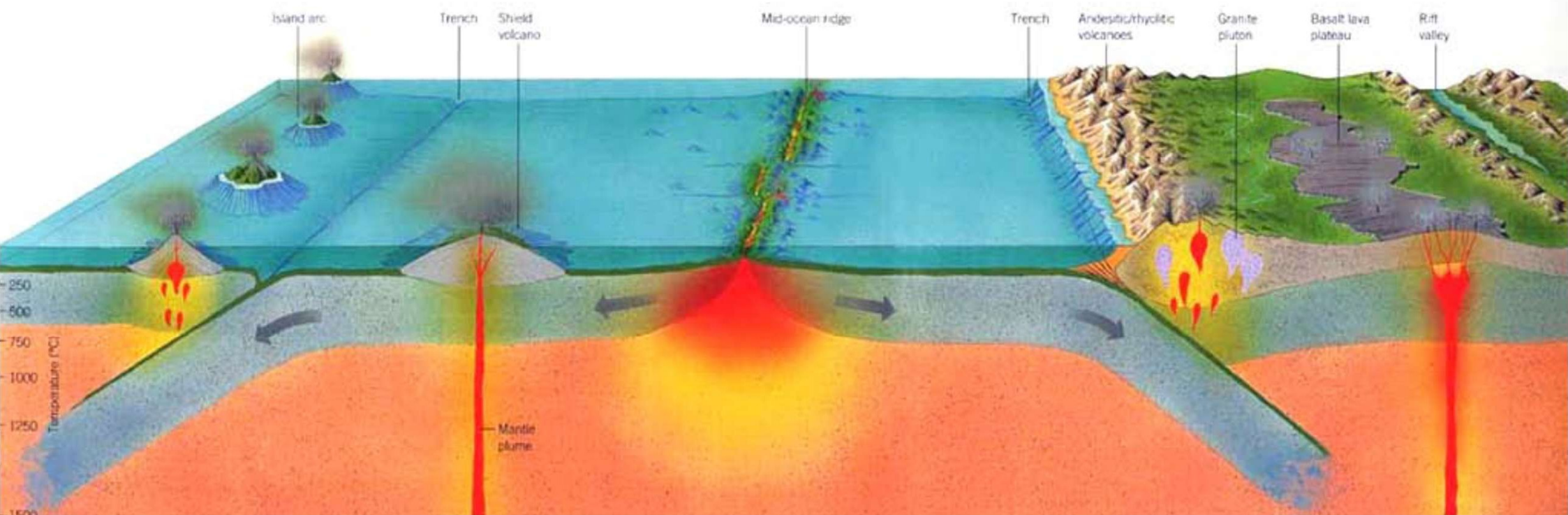
DANIEL E. HANSEN and JOHN F. RARDY, Guest Editors

Structure and Chemistry
A Recorder of Fluids
Magmatic Apatite
From Mineralogy to Astrobiology
Geochronology and Thermochronology
A Technological Gem



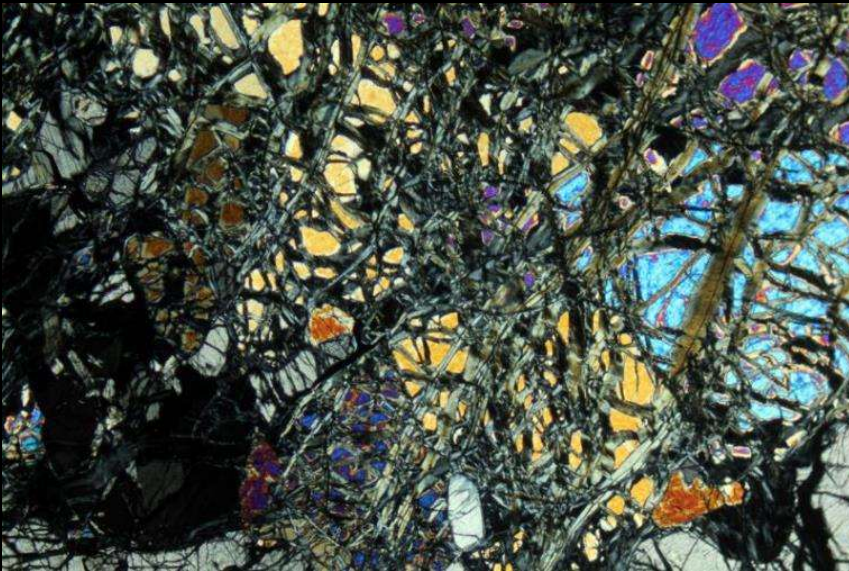
*Black shale cretacic (arricchito in Cu, U e Mo).
Val Fegana.*





Il destino della crosta oceanica

Lungo le dorsali può essere esposto il mantello e si possono mettere in posto lave basaltiche. Queste rocce vengono trasformate dalle acque oceaniche: $2\text{Mg}_2(\text{SiO}_4) + 3\text{H}_2\text{O} = \text{Mg}_3(\text{Si}_2\text{O}_5)(\text{OH})_4 + \text{Mg}(\text{OH})_2$



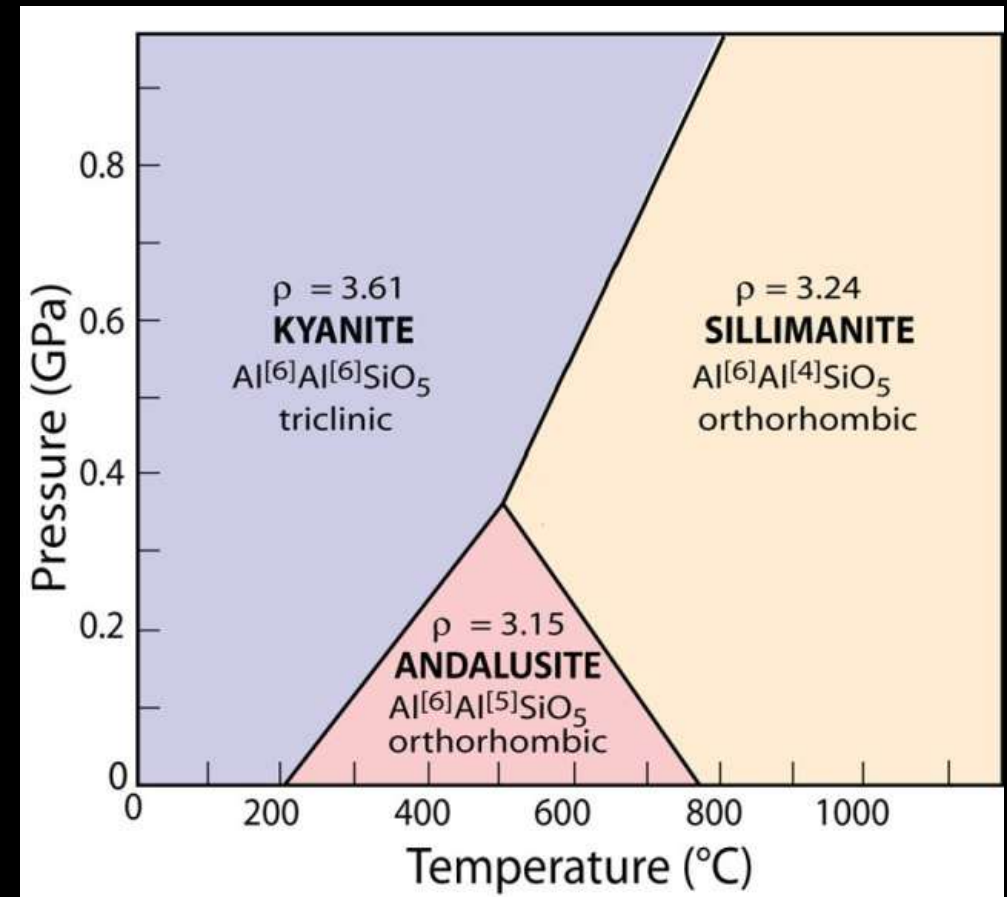
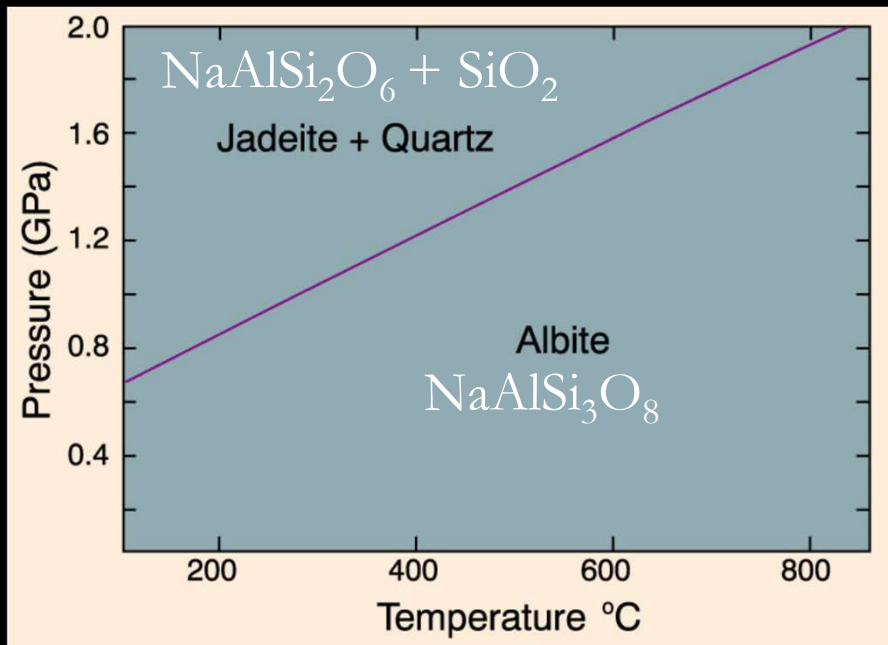
*Olivina relitta
(alti colori di
birifrangenza)
tagliata da vene
di serpentino.*



Crisotilo

La stabilità dei minerali

I minerali sono stabili in determinati intervalli di P e T ... cambiando tali valori, i minerali si trasformano.



Quando le rocce si trasformano

Le rocce metamorfiche sono il risultato di trasformazioni allo stato solido da altri tipi di rocce (sedimentarie, magmatiche, o già metamorfiche) in virtù di variazioni in pressione e temperatura.

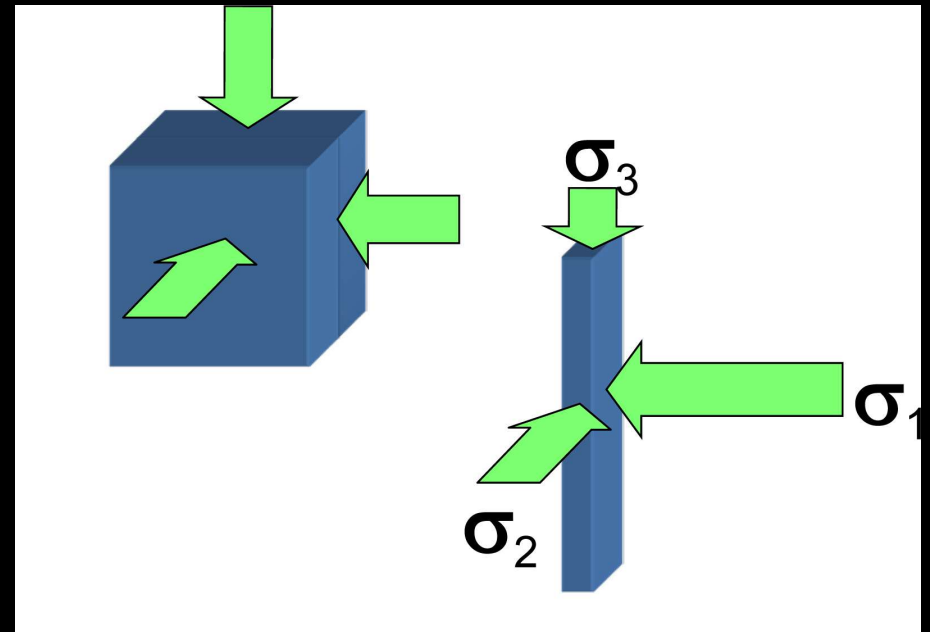
Metamorfismo di contatto: avviene quando una roccia entra in contatto con rocce magmatiche ancora calde, o in presenza di “hot spots”

Metamorfismo regionale: legato a movimenti orogenetici con grandi variazioni di temperatura e pressione

Metamorfismo di seppellimento: tipico delle zone di subduzione negli scontri tra placche

Fattori del metamorfismo

- Temperatura
- Pressione
 - Stress uniforme
 - Stress differenziale
- Tempo
 - necessari tempi lunghi (10^6 anni)
 - spesso le reazioni metamorfiche sono incomplete
- Fluidi



Effetti del metamorfismo

Risposta mineralogica

- cristallizzazione di nuove fasi mineralogiche
- ricristallizzazione di fasi pre-esistenti

Risposta tessiturale

- deformazione della roccia

Generalmente il metamorfismo è isochimico e ciò consente di riconoscere il protolite.



rocce metamorfiche

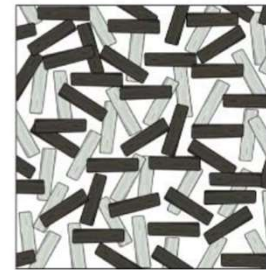
solido
↓
solido

variazioni
 $P, T, \sigma_1, \sigma_2, \sigma_3$
↓
riequilibrio
totale o parziale

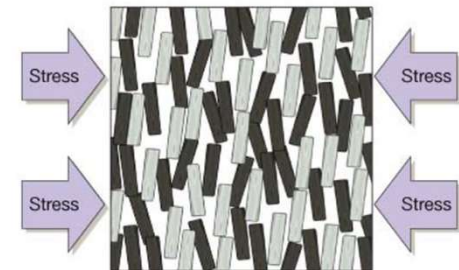
processi secondari

Protolite = cosa era la roccia prima dell'evento metamorfico?

Foliazione = strutture planare (es. scistosità) tipica delle rocce metamorfiche



Before metamorphism



After metamorphism

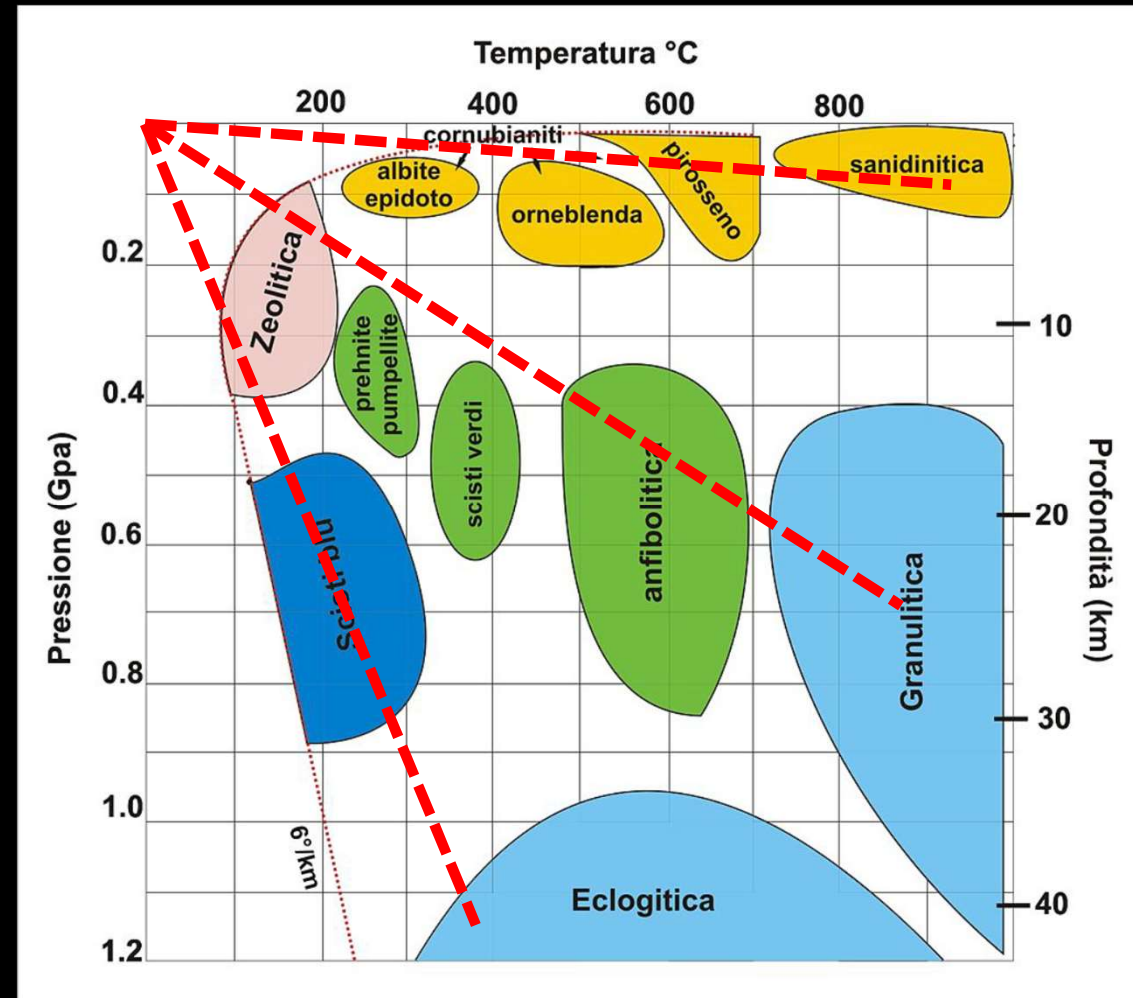


Grado metamorfico

Metamorfismo di contatto: alto
gradiente termico $\Delta T/\Delta P$

Metamorfismo regionale: gradiente
termico $\Delta T/\Delta P$ normale (30°C/km)

Metamorfismo di seppellimento:
basso gradiente termico $\Delta T/\Delta P$



Come si descrivono le rocce metamorfiche?

La descrizione di una roccia si basa sulla combinazione di due tipi di dati

tessitura

+

componenti

- La struttura (o tessitura) di una roccia è l'insieme dei caratteri derivanti da dimensioni, forma e rapporti spaziali dei suoi componenti.
- Le rocce metamorfiche acquisiscono la loro struttura durante la (ri)cristallizzazione totale o parziale di un solido (protolite).

Natura e abbondanza dei componenti di una roccia metamorfica dipendono dalla composizione del protolite e dalle condizioni chimico-fisiche (T, P, natura dei fluidi) presenti durante i processi metamorfici.

Componenti delle rocce metamorfiche

Minerali essenziali

Sempre presenti nella roccia. Non vanno indicati nel nome.

Minerali critici (o indice)

Indicano particolari condizioni T/P e/o particolari composizioni del protolite. Si possono indicare nel nome (es., eclogite a coesite).

INDEX MINERALS			
Chlorite	Garnet	Staurolite	Kyanite
			

Classificazione delle rocce metamorfiche

Per le rocce metamorfiche non esiste una classificazione come osservato per le altre rocce.

Scisto	Roccia con scistosità pervasiva ben sviluppata (es. scisto a biotite)
--------	---

Gneiss	Roccia con foliazione spaziata, almeno centimetrica, con struttura a bande (struttura gneissica) (es. gneiss a giadeite)
--------	--

Granofels	Roccia priva di anisotropie sia planari che lineari
-----------	---



Scisto



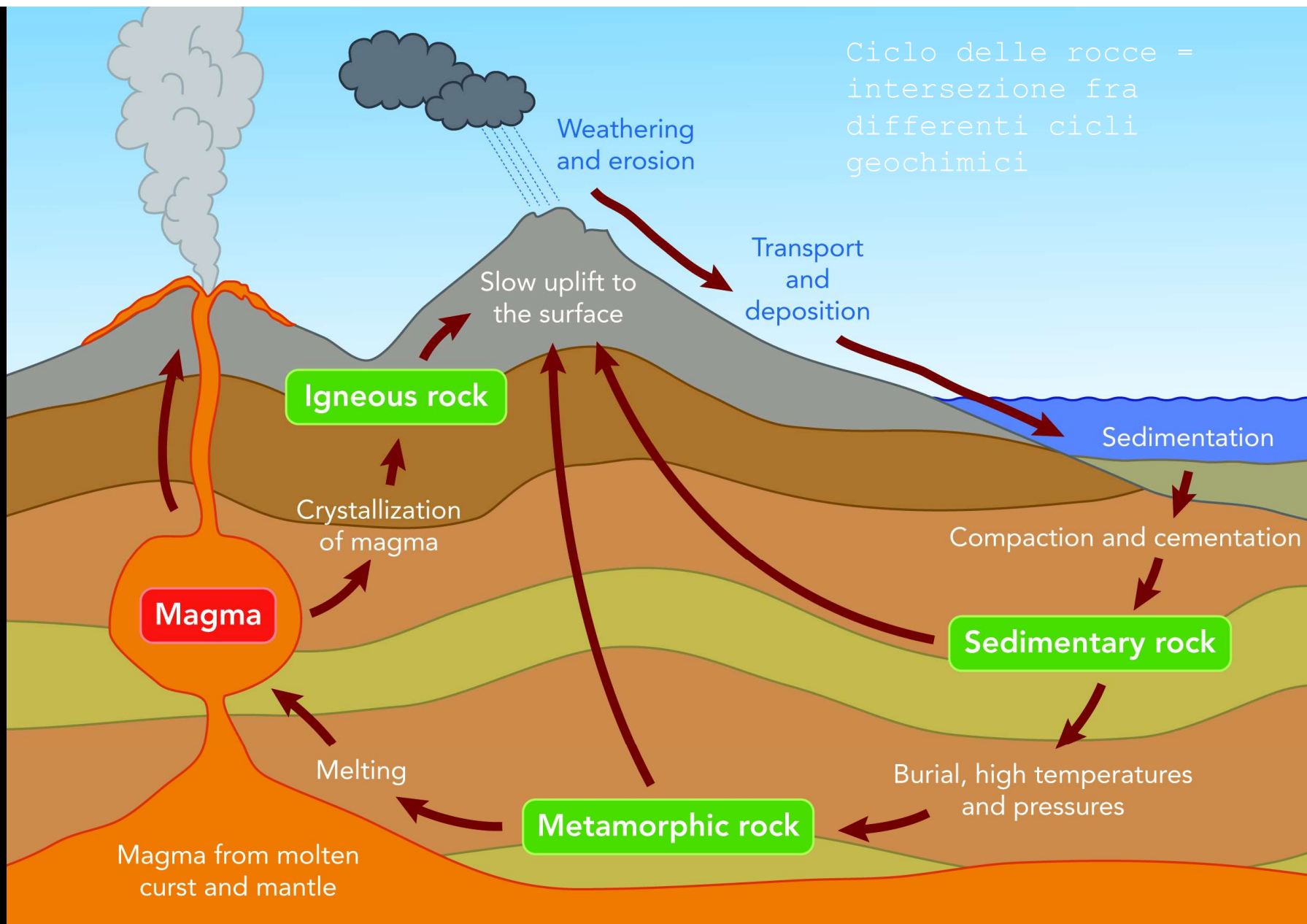
Gneiss

Termini speciali

Ardesia	Roccia metamorfica a grana finissima a clivaggio ardesiaco, planare, perfettamente sviluppato, indipendente dalla stratificazione, che deriva dalla disposizione parallela dei fillosilicati finissimi
Fillade	Roccia metamorfica a grana da fine a media con superfici di scistosità a lucentezza sericea, derivata dalla disposizione parallela dei fillosilicati
Anfibolite	Roccia basica-intermedia costituita almeno per il 75% da anfibolo (generalmente $> 30\%$) e da plagioclasio
Eclogite	Metabasite costituita da almeno per il 75% da granato e omfacite
Cornubianite	Roccia non scistosa (metamorfismo di contatto)

Termini speciali

Granulite	Roccia di alto grado metamorfico costituita da minerali anidri con granuli spesso poligonali; critica l'assenza di muscovite e la presenza di plagioclasio
Marmo	Roccia metamorfica costituita per oltre il 75% da calcite e/o dolomite e/o aragonite Marmo puro: carbonati > 95%; Marmo impuro: carbonati 75-95%
Scisto blu	Metabasite ricca di anfibolo sodico (glaucofane)
Serpentinite	Roccia metamorfica derivata dall'idratazione di rocce ultramafiche (olivina e pirosseno si trasformano in serpentino)





*Ex libro lapidum
historia mundi
(L.W. Alvarez)*