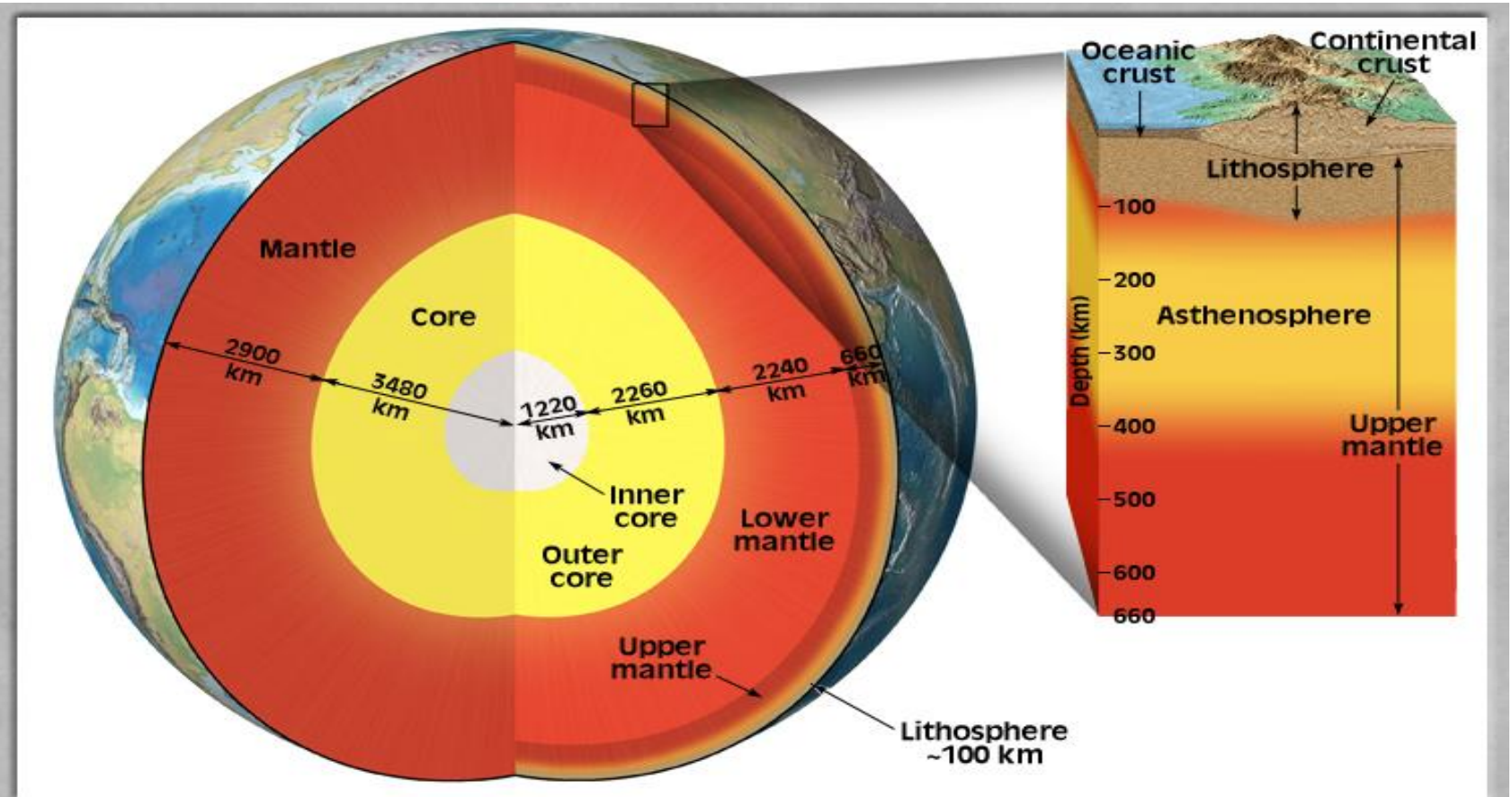
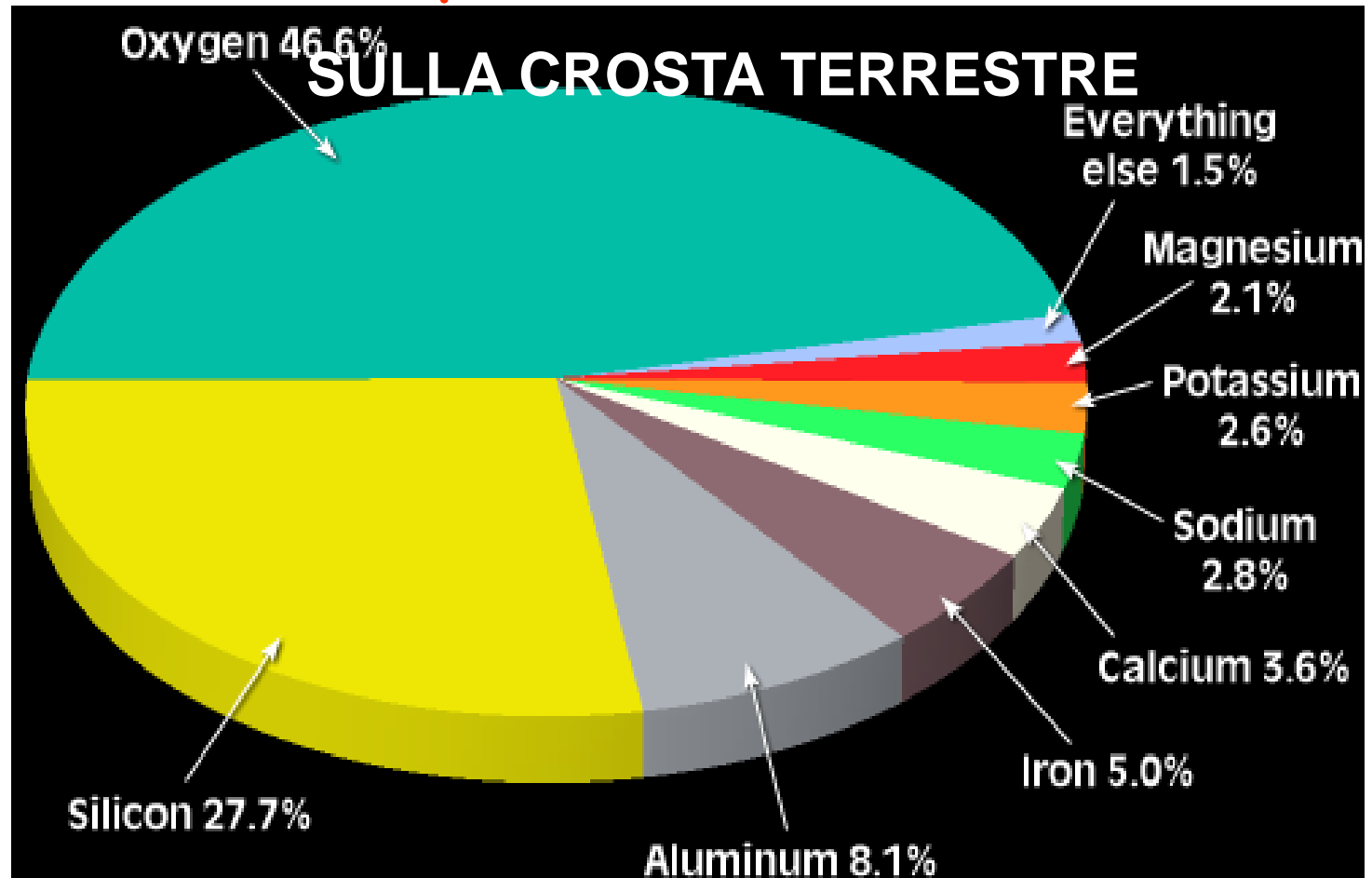


# GENESI DEI MINERALI

# Diagramma schematico della struttura della Terra

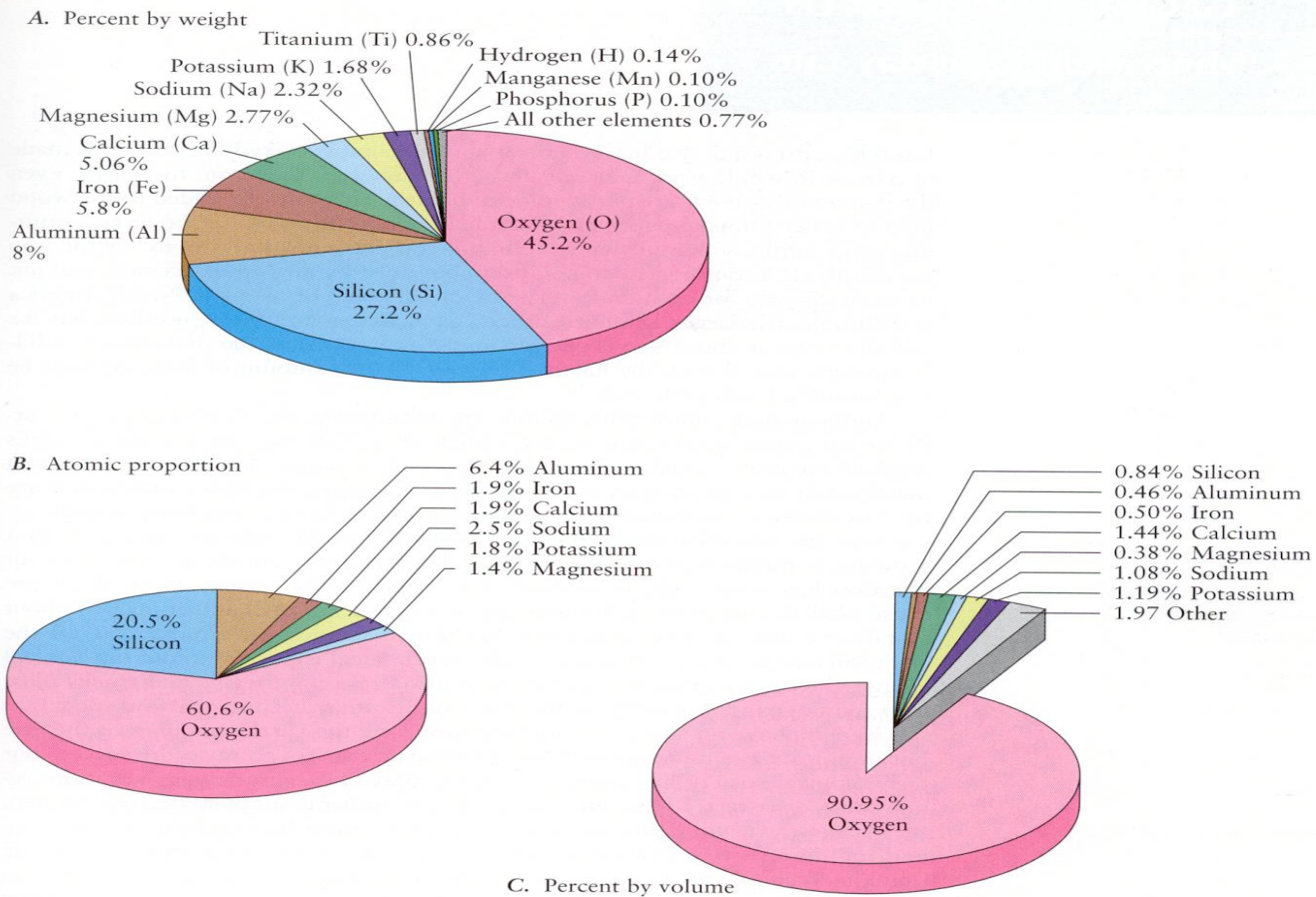


# Composizione della litosfera



# Composizione della litosfera

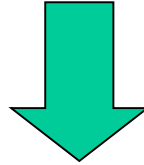
- ❖ 12 elementi costituiscono il 99.5% della crosta (elementi maggiori)
- ❖ Con altri 12 (elementi minori) si raggiunge il 99.9 %
- ❖ I restanti sono presenti come tracce ( $\leq 100$  ppm)
- ❖ Alcuni elementi compaiono solo allo stato nativo (o non combinato) (metalli nobili: es. Au, Pt)
- ❖ I gas nobili non formano minerali perchè non possono combinarsi
- ❖ Alcuni elementi tendono a non formare minerali propri, ma a rimanere dispersi nei minerali (REE, Ga, Ge, ecc.)



**Figure 2.17**  
**ELEMENTS OF THE CRUST**

These pie charts show the relative proportions of the most abundant elements in the Earth's continental crust. *A.* Abundances by weight. *B.* Abundances by atomic proportions. *C.* Percentages of elements by volume. Oxygen makes up most of the volume because it has a large ionic radius. Oxygen occupies so much space that the crust is essentially a big oxygen mesh.

# Predominanza dell'OSSIGENO



**i minerali possono essere visti come impacchettamenti ordinati di anioni ossigeno con gli altri ioni disposti in modo ordinato nelle lacune così formate**

**Dai rapporti quantitativi tra gli elementi maggiori risulta che i minerali più abbondanti nella crosta terrestre sono i silicati**

# Minerali delle rocce

COSTITUENTI FONDAMENTALI: sono i minerali più abbondanti che caratterizzano una roccia. Ad es. olivine, pirosseni, anfiboli, miche, feldspato potassico e quarzo nelle rocce magmatiche; minerali argillosi, calcite, quarzo, gesso, anidrite, limonite etc. nelle rocce sedimentarie

COSTITUENTI ACCIDENTALI: possono essere abbondanti o no, ma in ogni modo non caratterizzano la roccia

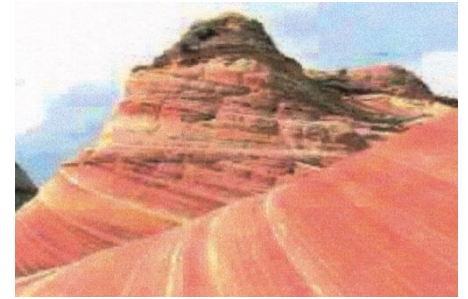
COSTITUENTI ACCESSORI: presenti quasi sempre, ma in minima quantità. Ad es. zircone, rutilo, titanite, apatite nelle rocce magmatiche.

## **GENESI DEI MINERALI**

**Un minerale si può formare:**

- per cristallizzazione da una fase gassosa o liquida;**
- per reazione di più fasi solide;**
- per reazione di un solido con un liquido.**

**La formazione di un minerale è generata da variazioni dell'ambiente chimico o fisico (variazioni di T e P, dei componenti nel sistema, del pH, del potenziale di ossiriduzione ecc.).**





Da fase gassosa  $\Rightarrow$  **genesi pneumatolitica**

Da fase liquida  $\Rightarrow$  **genesi magmatica, pegmatitica, idrotermale, sedimentaria**

Da fase solida  $\Rightarrow$  **genesi metamorfica**

**Diagenesi:** processo di compattazione dei sedimenti dovuto all'aumento di materiale che si deposita sopra a quello già esistente  **Variazione di P e T.**

**Anatessi:** processo di fusione di roccia pre-esistente innescato dal metamorfismo. Per effetto della forte compressione (in presenza di vapore d'acqua) si abbassa il punto di fusione.

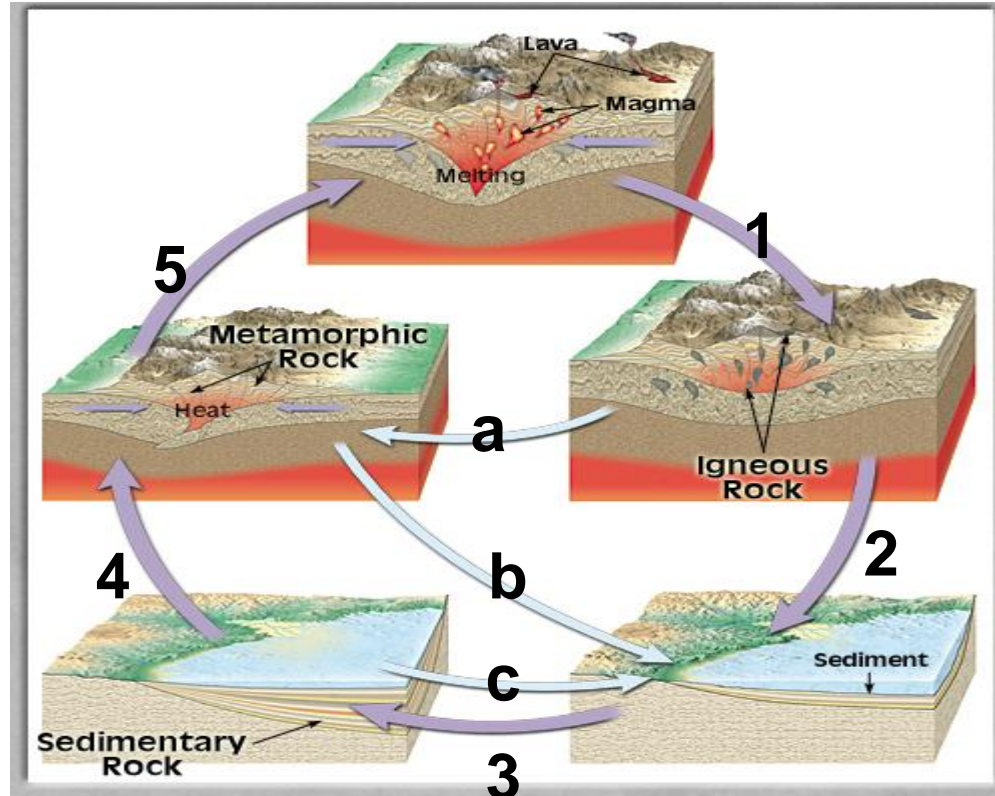
## COS'E UN MAGMA?

I magmi sono miscele complesse di cui i componenti più abbondanti, espressi sotto forma di ossidi, sono:

**$\text{SiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{FeO}$ ,  $\text{MgO}$ ,  $\text{CaO}$ ,  $\text{Na}_2\text{O}$ ,  $\text{K}_2\text{O}$ ,  $\text{H}_2\text{O}$ .**

Ovvero sono fluidi costituiti dallo stesso tipo di elementi chimici che formano i minerali che cristallizzano, più una bassa percentuale di solventi ( $\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{CO}_2$ ) che è trattenuta in presenza di una adeguata P.

Il ciclo geologico mostra le inter-relazioni tra i tre tipi fondamentali di rocce. Da un punto di vista mineralogico, questi cambiamenti riflettono variazioni di T e P, che a loro volta influenzano la stabilità dei minerali.



- 1) **CRISTALLIZZAZIONE**: quando il magma o la lava si raffreddano si formano le rocce ignee
- 2) **ALTERAZIONE/TRASPORTO**: effetti di alterazione disgregano le rocce, che vengono trasportate e depositate come sedimenti
- 3) **LITIFICAZIONE/COMPATTAZIONE**: i sedimenti si compattano e cementano per formare le rocce sedimentarie
- 4) **METAMORFISMO**: quando la roccia sedimentaria (o magmatica o metamorfica) viene seppellita (subduzione) in profondità sotto la crosta, il calore e la pressione causano processi metamorfici
- 5) **FUSIONE**: quando le rocce fondono in profondità sotto la crosta terrestre, si riforma il magma

**a) CALORE E PRESSIONE**

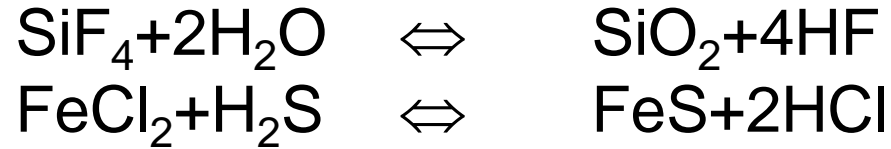
**b), c) ALTERAZIONE, TRASPORTO E DEPOSIZIONE**

# GENESI DA GAS: PNEUMATOLITICA

Gas che sfuggono dai magmi e salgono alla superficie  
minori T e P e ambiente chimico diverso.



Metalli in fase gassosa, come alogenuri in presenza di H<sub>2</sub>O o H<sub>2</sub>S, possono scindersi e reagire dando i corrispondenti ossidi o solfuri.

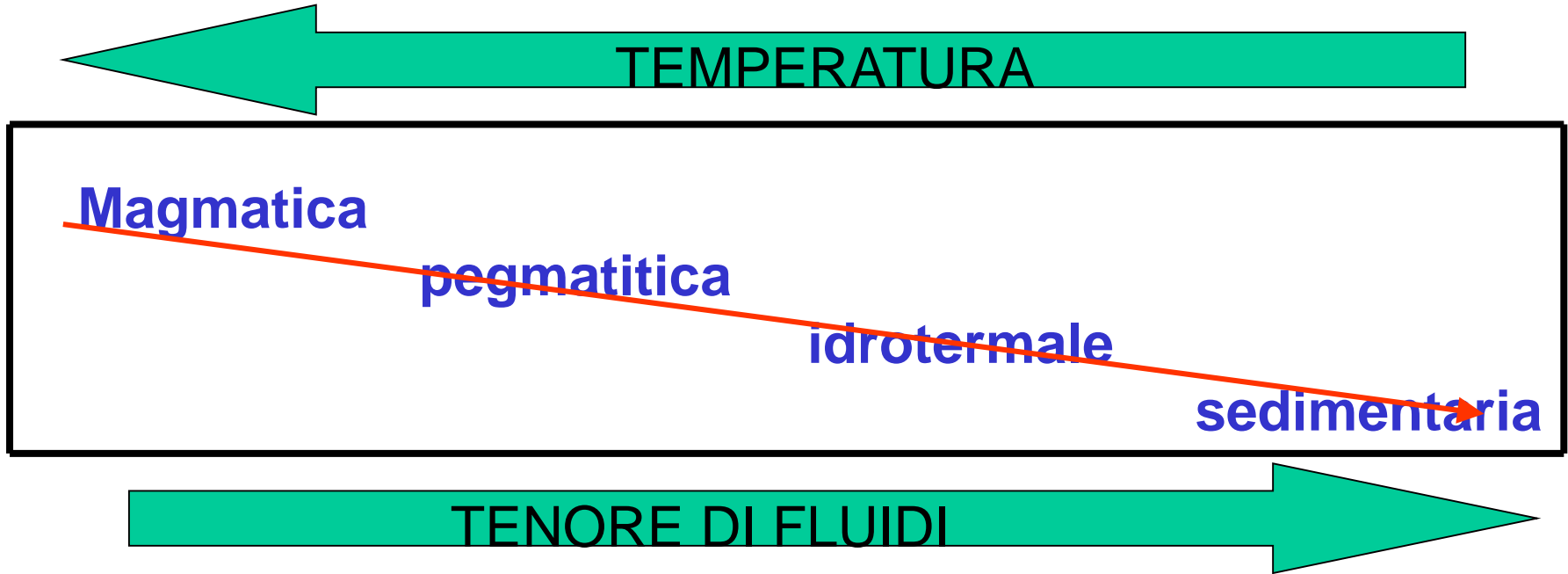


Quando succede?

Passaggio attraverso masse carbonatiche: gli acidi alogenidrici vengono sottratti perchè reagiscono con i carbonati e la reazione si sposta verso destra.

Possono anche cristallizzare gli alogenuri per sola diminuzione di T.

# GENESI DA LIQUIDO





# Genesi magmatica

Cristallizzazione di silicati, ossidi (e solfuri) ad alta T (600-1200°C) da **magmi** o **fusi generalmente silicatici**, cioè da miscele complesse in cui i componenti più abbondanti sono  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{FeO}$ ,  $\text{MgO}$ ,  $\text{CaO}$ ,  $\text{Na}_2\text{O}$ ,  $\text{K}_2\text{O}$ , più una bassa percentuale di volatili (essenzialmente  $\text{H}_2\text{O}$  e  $\text{CO}_2$ ) che è trattenuto in presenza di una adeguata pressione.



# Genesi magmatica

Tipico ambiente genetico adatto alla cristallizzazione di silicati e ossidi ad alta T (1200 - 600°C) da

## **FUSI SILICATICI = MAGMI**

cioè da fasi liquide costituite dallo stesso tipo di elementi chimici che formano i minerali che cristallizzano, più una bassa percentuale di solvente (H<sub>2</sub>O) che è trattenuta in presenza di una adeguata P.

I magmi sono miscele complesse di cui i componenti più abbondanti, espressi sotto forma di ossidi, sono:

**SiO<sub>2</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, FeO, MgO, CaO, Na<sub>2</sub>O, K<sub>2</sub>O, H<sub>2</sub>O.**

La genesi magmatica si suddivide in:

**-INTRUSIVA** (raffreddamento lento, cristalli grossi)

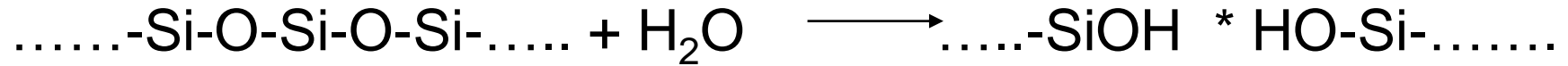
**-EFFUSIVA** (raffreddamento veloce, cristalli minuti o vetri vulcanici)



## Nella genesi magmatica è importante la pressione :

**P a secco:** favorisce le fasi più dense e aumenta la T di fusione.

**P di vapore:** abbassa il punto di fusione, perché l'acqua "rompe" i ponti Si-O dei frammenti silicatici semicristallizzati presenti nel magma



La pressione d'acqua amplia il campo del liquido rispetto a quello del solido. Sono favorite le fasi minerali contenenti ossidrili.

La sequenza di cristallizzazione dei minerali di genesi magmatica può essere schematizzata attraverso la cosiddetta  
**SERIE DI BOWEN**

# Fase magmatica

In questa fase i minerali più comuni che si formano sono olivina, pirosseni, feldspati, anfiboli, miche, quarzo.

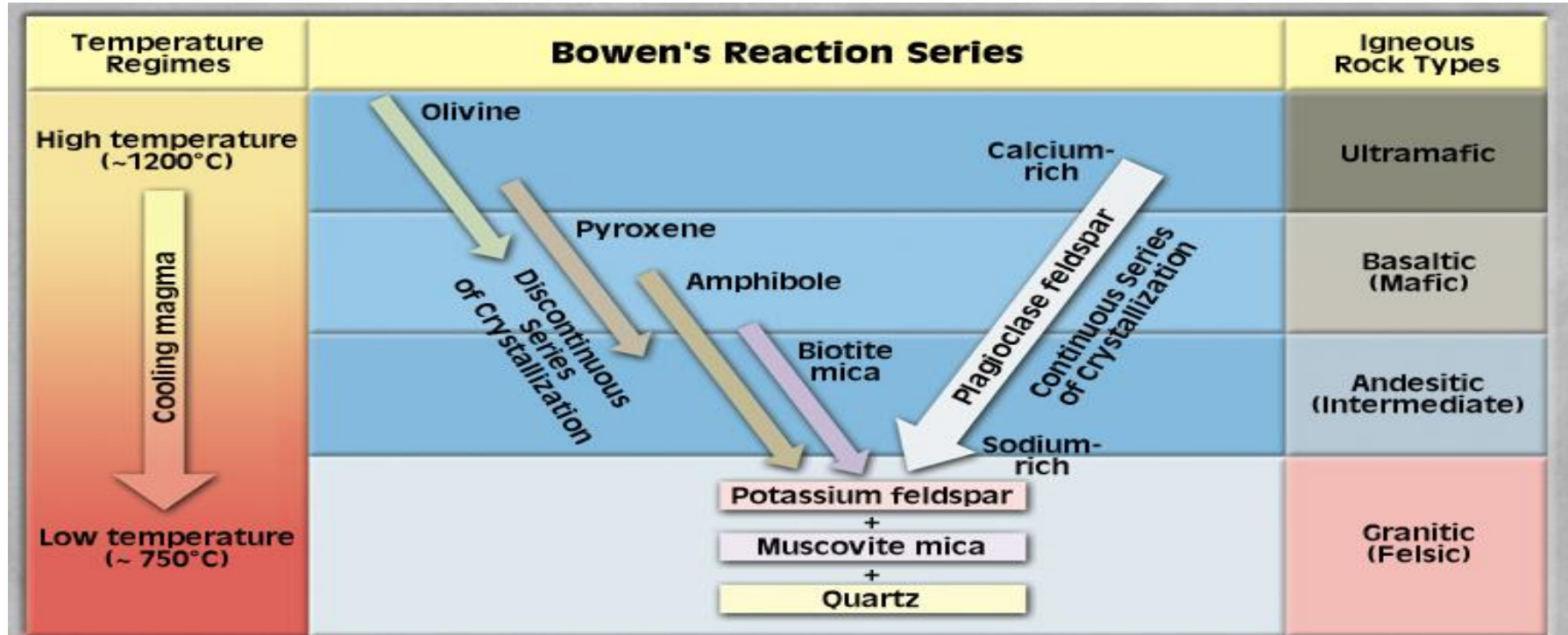


I primi sono minerali generalmente senza  $H_2O$ . Il magma quindi si arricchisce di componenti volatili, la viscosità diminuisce e aumenta la concentrazione degli elementi non entrati nei minerali precedenti (elementi incompatibili).

E' molto importante il ruolo della pressione:

- P secca: favorisce le fasi più dense e aumenta la T di fusione.
- P  $H_2O$ : abbassa il punto di fusione, si amplia il campo del liquido rispetto a quello del solido; sono favorite le fasi con gruppi OH.

La serie di Bowen mostra la successione di minerali ricchi in Fe e Mg (lato sinistro) e di Si (lato destro) che cristallizzeranno da un tipico magma basaltico. La mineralogia delle rocce risultanti è quindi caratteristica delle temperature a cui è avvenuta la cristallizzazione.



In fase magmatica i minerali più comuni che si formano sono: **feldspati, olivina, pirosseni, anfiboli, miche, quarzo.**

Sono tutti minerali anidri, quindi **il magma si arricchisce di componenti volatili**, la viscosità diminuisce e aumenta la concentrazione degli elementi che non sono entrati nei minerali precedenti (detti elementi incompatibili).

Questa fase di più bassa T della genesi magmatica ( $T = 500-600^{\circ}\text{C}$ ) è detta **GENESI PEGMATITICA.**

In genesi pegmatitica si formano spesso minerali rari, in cristalli grandi, anche di qualità gemmologica (es. berillo, apatite, zircone, rubino, tormalina).



# Fase pegmatitica

Cristallizzazione da un liquido silicatico ricco di  $H_2O$

- $T = 600-500^{\circ}C$
- Bassa viscosità:
- *formazione di cristalli grandi*
- Concentrazione di elementi rari:  
*minerali rari*
- Minerali caratteristici:
  - tormalina, berillo, mica muscovite, spodumene (Li-pirosseno).
- Masse gassose ricche di alogenuri metallici sfuggono dal magma dando origine alla deposizione **pneumatolitica**

La maggior parte dell' $H_2O$  passa alla successiva fase **idrotermale**.



# Genesi idrotermale

**Cristallizzazione da un liquido acquoso ricco di silicio.**

**$T < 500^{\circ}\text{C}$ .**

**Il passaggio dalla fase pegmatitica a quella idrotermale può avvenire con continuità (per progressiva diminuzione della  $T$  e progressivo aumento del tenore di acqua) oppure con discontinuità con smescolamento del fuso in due liquidi: il liquido silicatico cristallizza rapidamente, mentre la fase liquida acquosa si raffredda lentamente con **DEPOSIZIONE IDROTERMALE**.**

**L'acqua residua risalirà poi in superficie sotto forma di **ACQUA TERMALE**.**

La **deposizione idrotermale** dei minerali avviene per:

-diminuzione di T

-cambiamento di ambiente chimico (**pH**).

Il cambiamento di pH si ha ad es. per passaggio della soluzione idrotermale in rocce calcaree porose che neutralizzano o basificano la soluzione (solubilizzandosi in presenza di acidi alogenidrici, vedi genesi pneumatolitica). Come conseguenza si ha la precipitazione di ossidi e solfuri.

Esempi di minerali idrotermali:

pirite ( $\text{FeS}_2$ ), blenda  $\text{ZnS}$ , galena ( $\text{PbS}$ ), calcite ( $\text{CaCO}_3$ ), cinabro ( $\text{HgS}$ ), calcopirite ( $\text{CuFeS}_2$ ), zeoliti, quarzo, fluorite ( $\text{CaF}_2$ ) etc.



# Genesi sedimentaria

I minerali si formano in sistemi caratterizzati da condizioni di P e T ambientali

1 - Alterazione > trasporto > sedimentazione  
meccanica

**Minerali clastici e detritici**  
*(in conglomerati, arenarie, argille)*

2 - Precipitazione chimica

**Evaporiti**

3 - Formazione da attività biologica

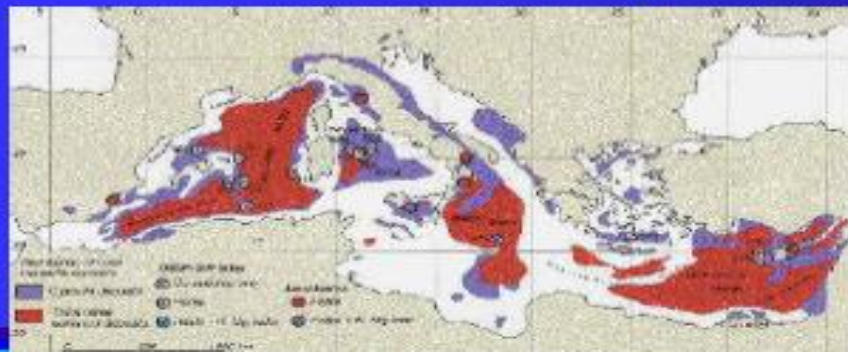
**Depositi organogeni**

# Genesi sedimentaria

- 1 - Alterazione → trasporto → sedimentazione meccanica
- Processi di alterazione meccanica, fisica e chimica di fasi mineralogiche che si trovano in ambienti diversi da quelli in cui si sono formati
- Alterazione minore per minerali con forti legami Si-O
- Resistenza meccanica, chimica e fisica:  
olivine, pirosseni < anfiboli, miche < feldspati < quarzo
- Presenza nei sedimenti detritici:  
quarzo (zirconio, apatite, granati) > feldspato > minerali fessili
- Ambienti di deposizione: mare, laghi, acque superficiali.
- Associazioni di minerali varie e poco prevedibili
- Quarzo e feldspato predominano nei clasti, il cemento è generalmente costituito da quarzo, calcite, ossidi di Fe

# Genesi sedimentaria

- 2 - Precipitazione chimica
- La deposizione di un minerale avviene quando la soluzione si trova in condizioni di sovrassaturazione nei confronti di quel minerale
- La sovrassaturazione si potrà avere:
- Per evaporazione del solvente (evaporiti, salgemma, gesso, ecc.)
- Per variazioni del pH e del potenziale redox: carbonati, borati, fosfati, limonite (ossidi e idrossidi di Fe), bauxite (ossidi e idrossidi di Al), minerali argillosi

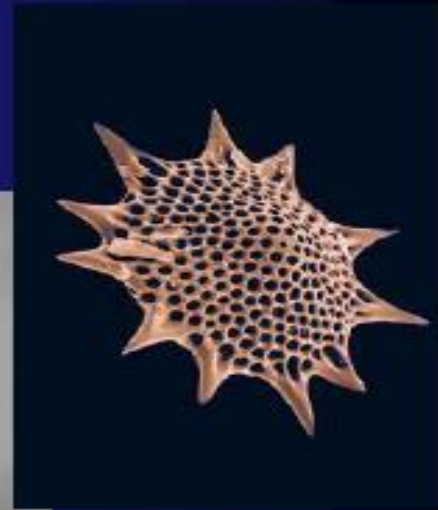
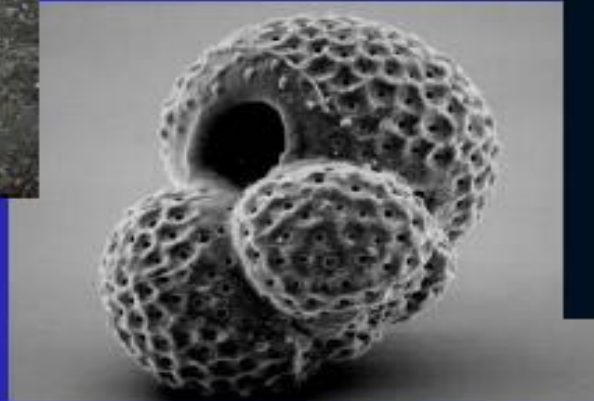
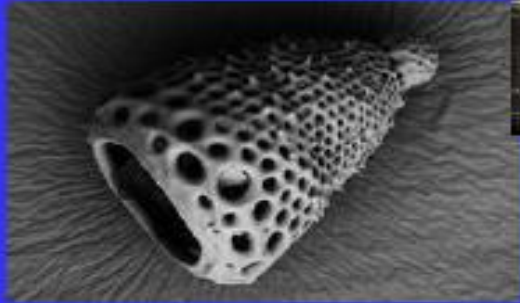




# Genesis sedimentaria

- 3 - Formazione da attività biologica
- Minerali prodotti dall'attività di organismi animali e vegetali (scheletri di organismi marini, foraminiferi e radiolari)
- Prevalentemente calcite, aragonite, silice, zolfo, apatite

*Biominerali*



**I minerali di origine sedimentaria spesso si formano in cristalli molto minuti e ricchi di acqua (ossidrili)**

**Es:**

**Minerali argillosi (caolinite, illite, clorite, montmorillonite...)**

**Idrossidi di Si, Fe, Al, Mn (limoniti, bauxite)**

**Apatiti (fosfati di Ca)**

**Carbonato di Ca**

# Genesi metamorfica

Nei processi di genesi metamorfica i minerali che costituiscono una roccia (che si sono, quindi, formati in determinati ambienti) se si vengono a trovare in condizioni chimico-fisiche diverse perdono la loro stabilità e possono trasformarsi in nuove fasi



Questo provoca nelle rocce profonde modificazioni e cambiamenti nella mineralogia originale

E' un processo allo stato solido



# Genesi metamorfica

- Le rocce metamorfiche si formano in un intervallo di P e T intermedio tra le condizioni di genesi sedimentaria e quella magmatica
- Il passaggio è graduale ed è arbitrario porre dei limiti; distintivo il cambiamento tessiturale della roccia.
- Variazioni di T e P tali da ottenere il minimo stato di energia necessario per il cambiamento della mineralogia e avere diverse associazioni mineralogiche
- Metamorfismo **isochimico** (senza apporto né sottrazione di elementi chimici al sistema): **raro**
- Metamorfismo **allochimico** (con variazione degli elementi chimici nel sistema): più **comune**
- Fluidi come  $H_2O$  e  $CO_2$ , comuni nei sedimenti, sono molto mobili; disidratazione e decarbonazione: no anfiboli, miche, carbonati

# GENESI METAMORFICA

I minerali che si formano in certe condizioni di T, P e ambiente chimico possono venire a trovarsi in nuove condizioni chimico-fisiche. Le fasi pre-esistenti si dovranno trasformare in altre più stabili nelle nuove condizioni.

Tipicamente, le rocce metamorfiche si formano in un intervallo di P e T intermedio tra il processo diagenetico e quello magmatico.

Esempi:

- Massa di lava che investe un sedimento

- Zone di subduzione all'interno della crosta terrestre



**Diagenesi**= insieme di processi a cui è soggetto un sedimento nel bacino di sedimentazione.

Aumento di P dovuto al seppellimento, aumento di T dovuto alla subsidenza, percolazione di soluzioni nei pori



Cambiamento della mineralogia originale (dissoluzione di fasi, crescita di fasi nuove)



**Processo metamorfico**

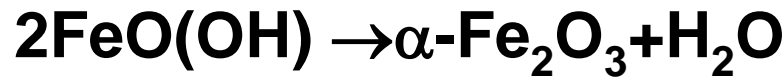
---

**Metamorfismo regionale:** l'aumento di T, P e le deformazioni plastiche provocano il graduale ingrossamento dei grani o il loro allineamento (scistosità) durante la ricristallizzazione.

**Metamorfismo di contatto:** alte T. Le deformazioni sono poco importanti ⇒ ingrossamento dei grani.

**Esempi di reazioni allochimiche con formazione di nuovi minerali:**

**A) Una fase solida si scinde in due nuove fasi di cui una è volatile e si allontana**



**limonite      hematite**

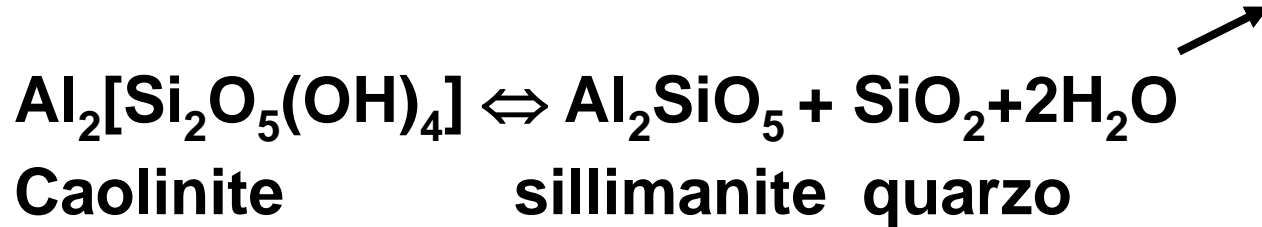
**B) Una fase solida reagisce con degli ioni in soluzione per dare una nuova fase solida e una volatile, che si allontana**



**anortite**

**epidoto**

**C) Una fase solida dà due nuove fasi solide e una fase volatile, che si allontana**



**D) Una fase solida reagisce con altre fasi solide e in soluzione per dare una nuova fase più sostanze volatili**

