

**Mineralogia e Petrografia con Laboratorio**  
**Modulo di Petrografia**

Luca Ziberna

**2.1. Magmi e rocce magmatiche**





# Magmi

I magmi sono dei fusi viscosi ad altissime temperature (500–1400 °C) composti da liquidi ± minerali ± gas e prodotti dalla fusione di rocce nell'interno terrestre.

Per il 99% dei casi, i magmi sono silicatici. In funzione della quantità di SiO<sub>2</sub>, si dividono in:

Basici: 45 wt% < SiO<sub>2</sub> < 52 wt%

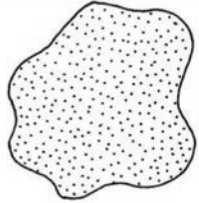
Intermedi: 52 wt% < SiO<sub>2</sub> < 65 wt%

Acidi: 65 wt% < SiO<sub>2</sub>

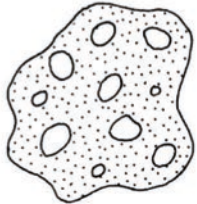
NB: Il termini acidi/basici non ha niente a che vedere con il pH. È una terminologia su base storica.

I magmi possono contenere variabili quantità di gas disciolti (volatili), che sono in prevalenza H<sub>2</sub>O e CO<sub>2</sub> e minori quantità di SO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>S, HCl, HF, S, N<sub>2</sub>, etc

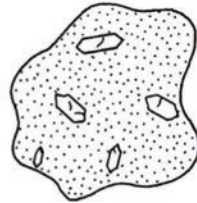
*Esempi schematici delle possibili fasi presenti in un magma (Best, 2002)*



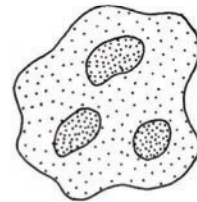
Single-phase system  
Melt only that generally contains dissolved volatiles



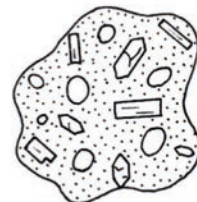
Two-phase system  
Melt plus bubbles of volatile fluid



Two-phase system  
Melt plus crystals of olivine



Two-phase system  
Two immiscible melts of different composition



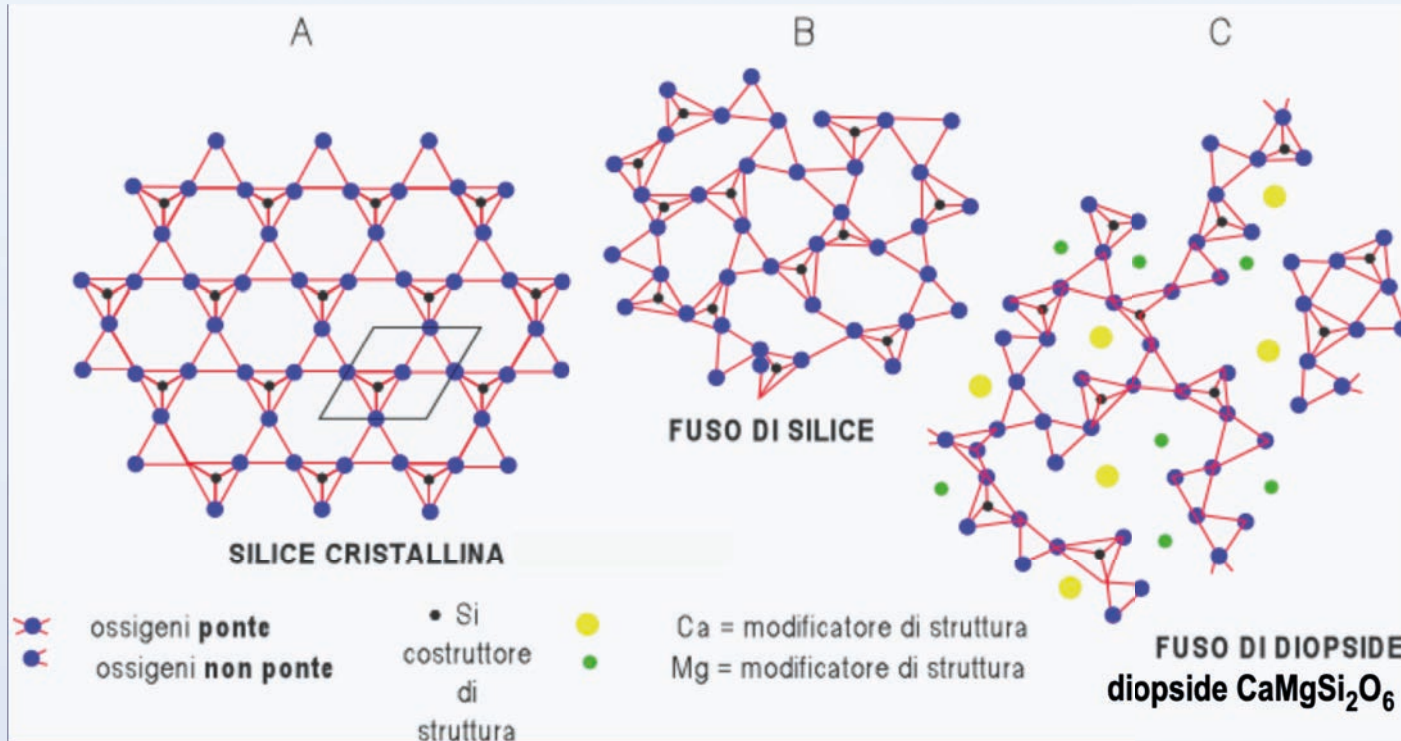
Four-phase system  
Melt plus bubbles of volatile fluid and crystals of olivine and plagioclase



[www.livescience.com](http://www.livescience.com)

# Struttura dei fusi silicatici

I fusi (o liquidi) silicatici hanno una struttura simile a quella dei minerali silicatici, costituita da tetraedri  $[\text{SiO}_4]^{4-}$  collegati però solo parzialmente e in modo distorto. La **struttura non si ripete** regolarmente nello spazio.



Elementi che polimerizzano il magma (costruttori di catene Si-O-Si) :  $\text{Si}^{4+}$ ,  $\text{Al}^{3+}$ ,  $\text{Ti}^{4+}$ ,  $\text{P}^{5+}$

Elementi che depolimerizzano il magma (rompono le catene -Si-O-Si-O-):  $\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$

Il magma contiene unità tetraedriche collegate tra loro da ossigeni ponte → **fuso polimerizzato**

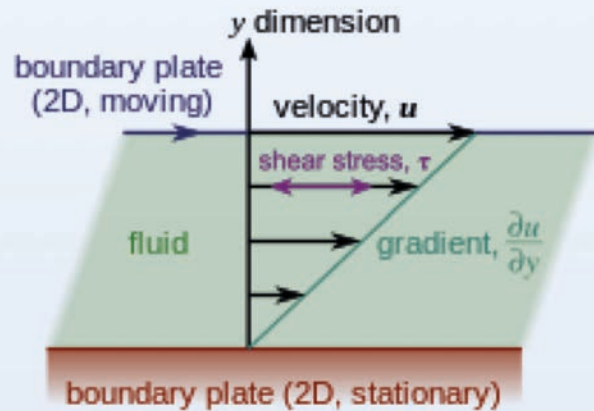
Ma le singole unità NON si muovono liberamente (per attriti interni)

Il magma è infatti un materiale fuso VISCOSO.

Maggiore è il contenuto di  $\text{SiO}_2$  e maggiore è la viscosità.

# Viscosità ( $\eta$ )

La viscosità è la proprietà che quantifica la resistenza allo scorrimento dei fluidi. È equivalente all'attrito interno che ostacola gli spostamenti reciproci tra le varie porzioni del fuso



www.wikipedia.org

Uno sforzo di taglio  $\sigma$  (= Forza tangenziale per unità di area) applicato ad un fluido imprime ad esso una velocità che dipende da una costante propria del fluido, che è la viscosità  $\eta$ . All'interno del suo spessore  $h$  il fluido è caratterizzato da un gradiente di velocità ( $dv/dh$ )

$$\sigma = \eta (dv/dh)$$

L'unità di misura di  $\eta$  nel sistema CGS è il poise = forza applicata su 1 cm<sup>2</sup> di superficie per mantenere una differenza di velocità di 1 cm/sec tra due strati distanti 1 cm.

Nel sistema SI l'unità di misura è il Pascal secondo

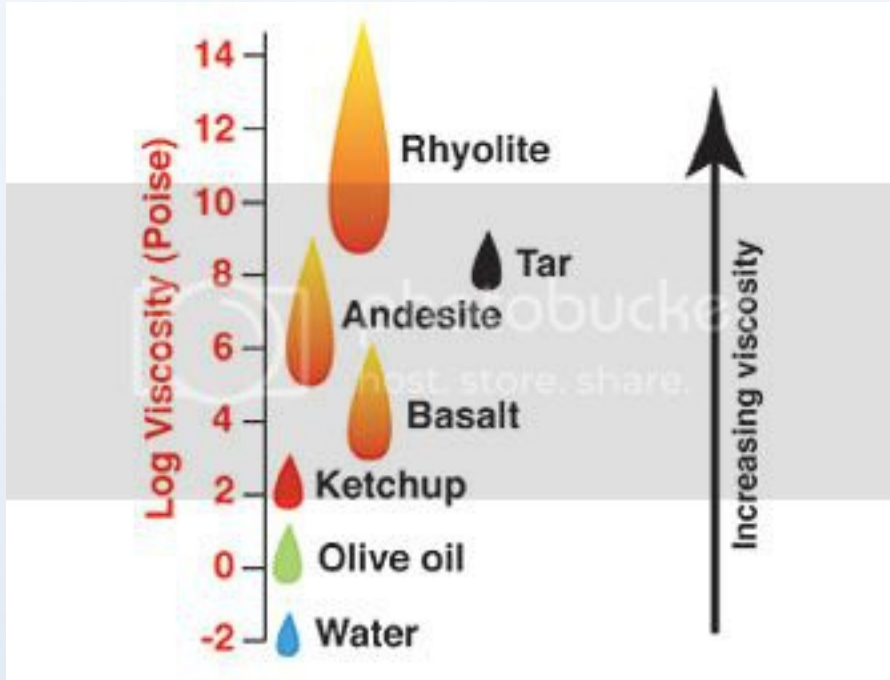
(1 Pa s = 10 poise).

Per l'acqua,  $\eta = 0.001$  poise

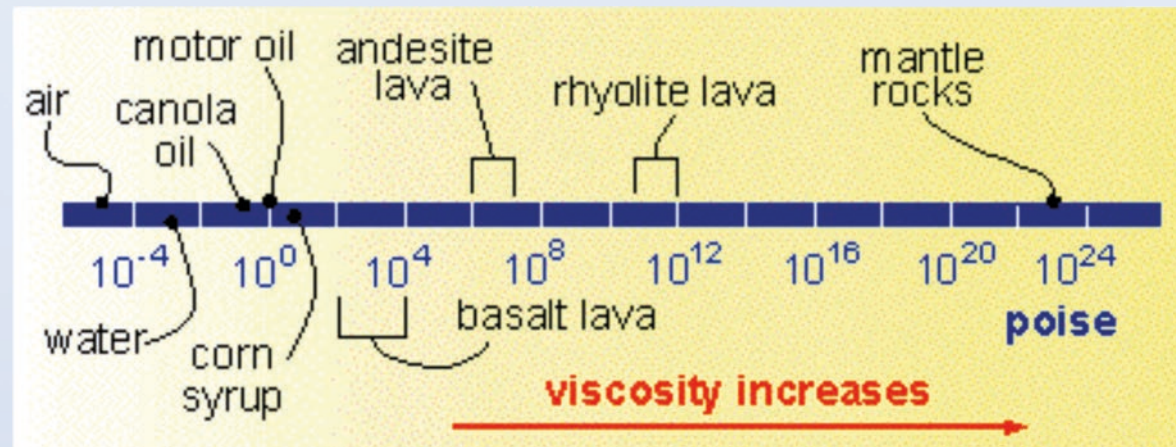
www.livescience.com



# Viscosità ( $\eta$ )



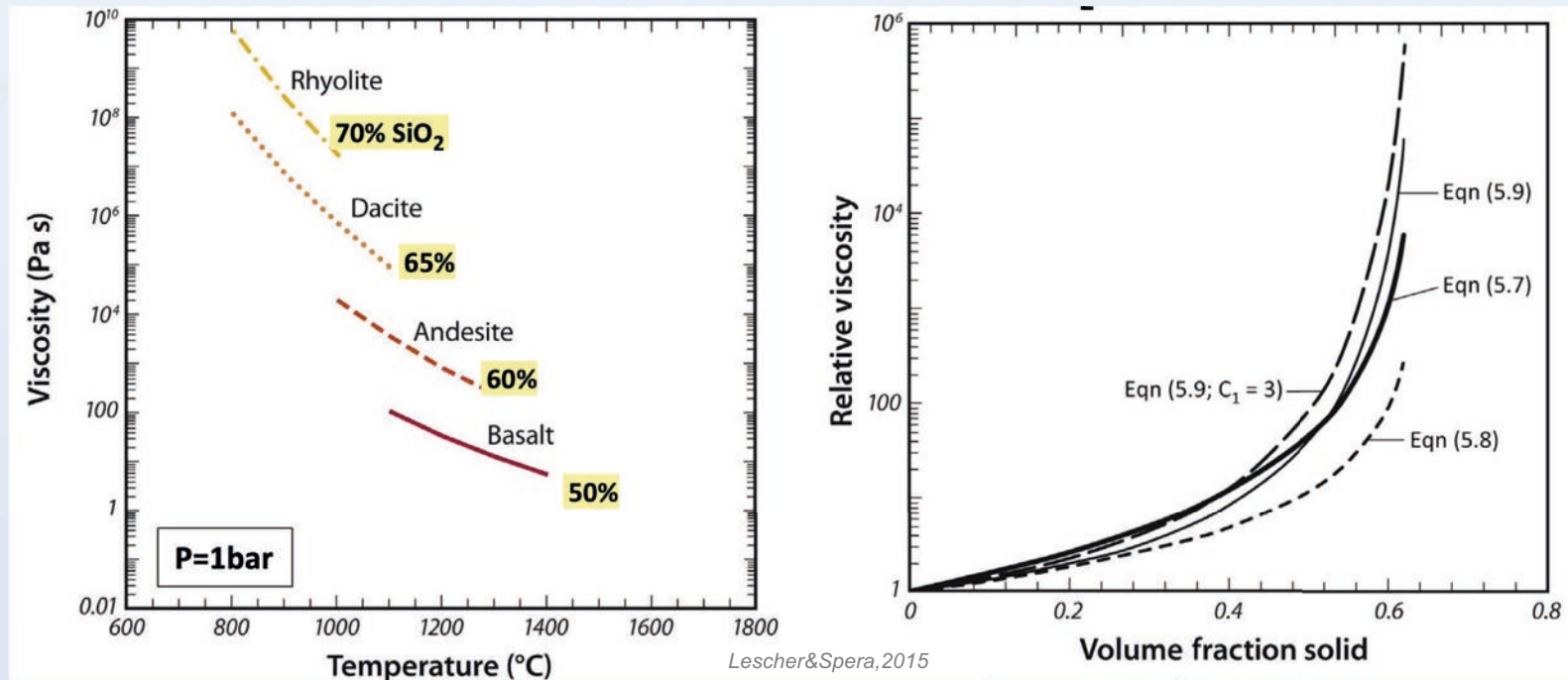
Il magma è un materiale fuso viscoso



# Viscosità ( $\eta$ )

Alcuni fattori principali che influiscono sulla viscosità dei magmi:

- 1) composizione chimica del fuso ( $\text{SiO}_2$ ,  $\text{MgO}$ ,  $\text{H}_2\text{O}$ , etc  $\rightarrow$  grado di polimerizzazione)
- 2) temperatura
- 3) quantità di cristalli presenti nel magma
- 4) contenuto di gas nel magma



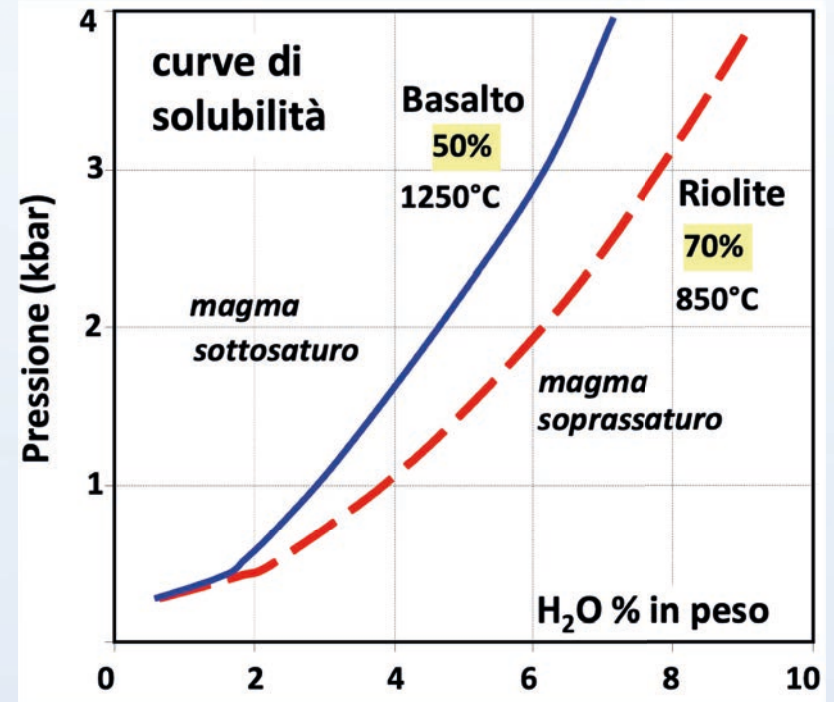
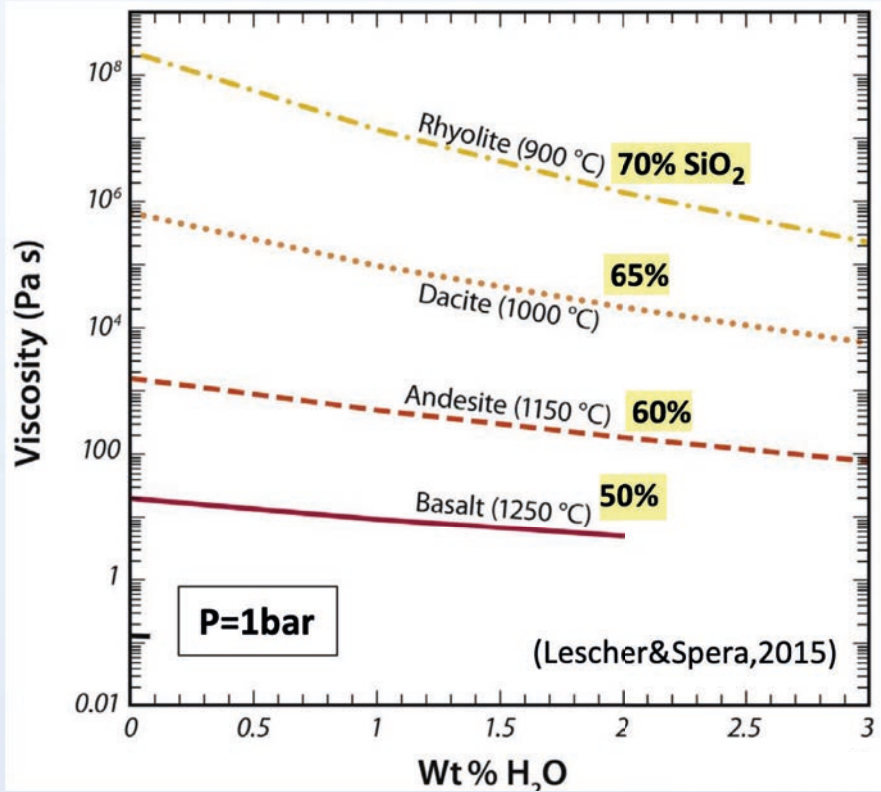
I magmi acidi ( $\text{SiO}_2 > 65$  wt%) sono più viscosi di quelli basici (~50 wt%).

La viscosità aumenta al diminuire della temperatura

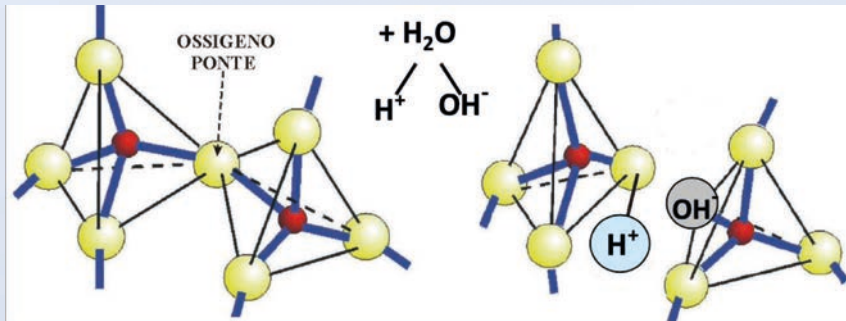
La viscosità aumenta con l'aumento della frazione cristallina.



# Viscosità ( $\eta$ )



La solubilità dell'H<sub>2</sub>O nei magmi aumenta con P e dipende dalla composizione dei magmi.



La viscosità diminuisce all'aumentare del contenuto di H<sub>2</sub>O disciolta nel magma

H<sub>2</sub>O → rottura delle catene → depolimerizzazione del magma → diminuzione della viscosità

# Viscosità ( $\eta$ )

La viscosità influenza il comportamento del magma in molti aspetti, tra cui:



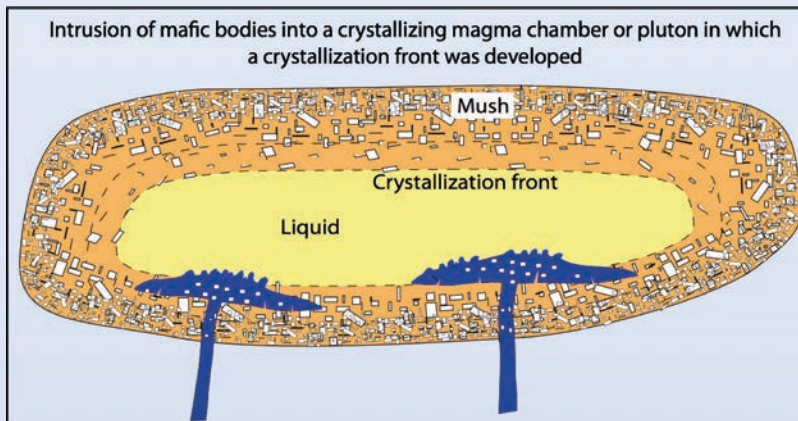
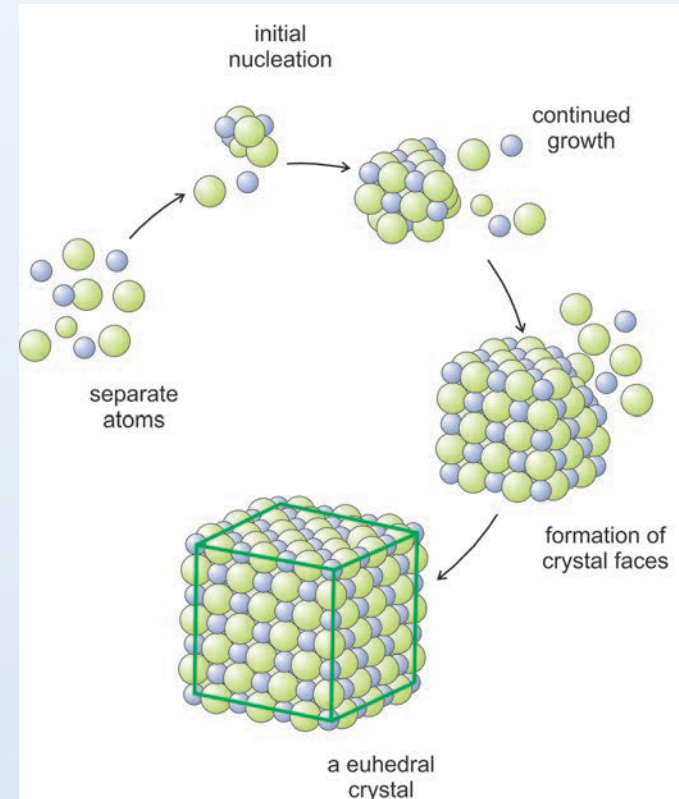
- 1) **Cristallinità**
- 2) **Forme e stili eruttivi**

## 1) Cristallinità

La viscosità del magma condiziona la formazione (=nucleazione) e crescita dei minerali.

I minerali si formano se tutti gli ioni necessari alla crescita dei nuclei in via di sviluppo possono spostarsi facilmente.

Questi spostamenti sono favoriti se la viscosità del magma è bassa e resta bassa durante la solidificazione



[http://www.uhu.es/antonio.castro/Prado\\_de\\_las\\_Pozas.html](http://www.uhu.es/antonio.castro/Prado_de_las_Pozas.html)



# Viscosità ( $\eta$ )

## Forme e stili eruttivi

Lave basiche  $\text{SiO}_2 \sim 50 \text{ wt\%}$  (basaltiche)

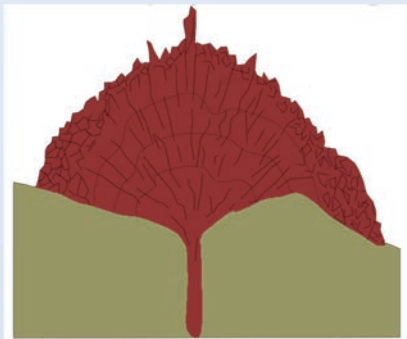
Bassa viscosità  $\rightarrow$  **Colate**



Lave acide  $\text{SiO}_2 > 65 \text{ wt\%}$  (riolitiche)

alta/altissima viscosità  $\rightarrow$  Duomi

(cupole di ristagno)



Morfologia di un duomo



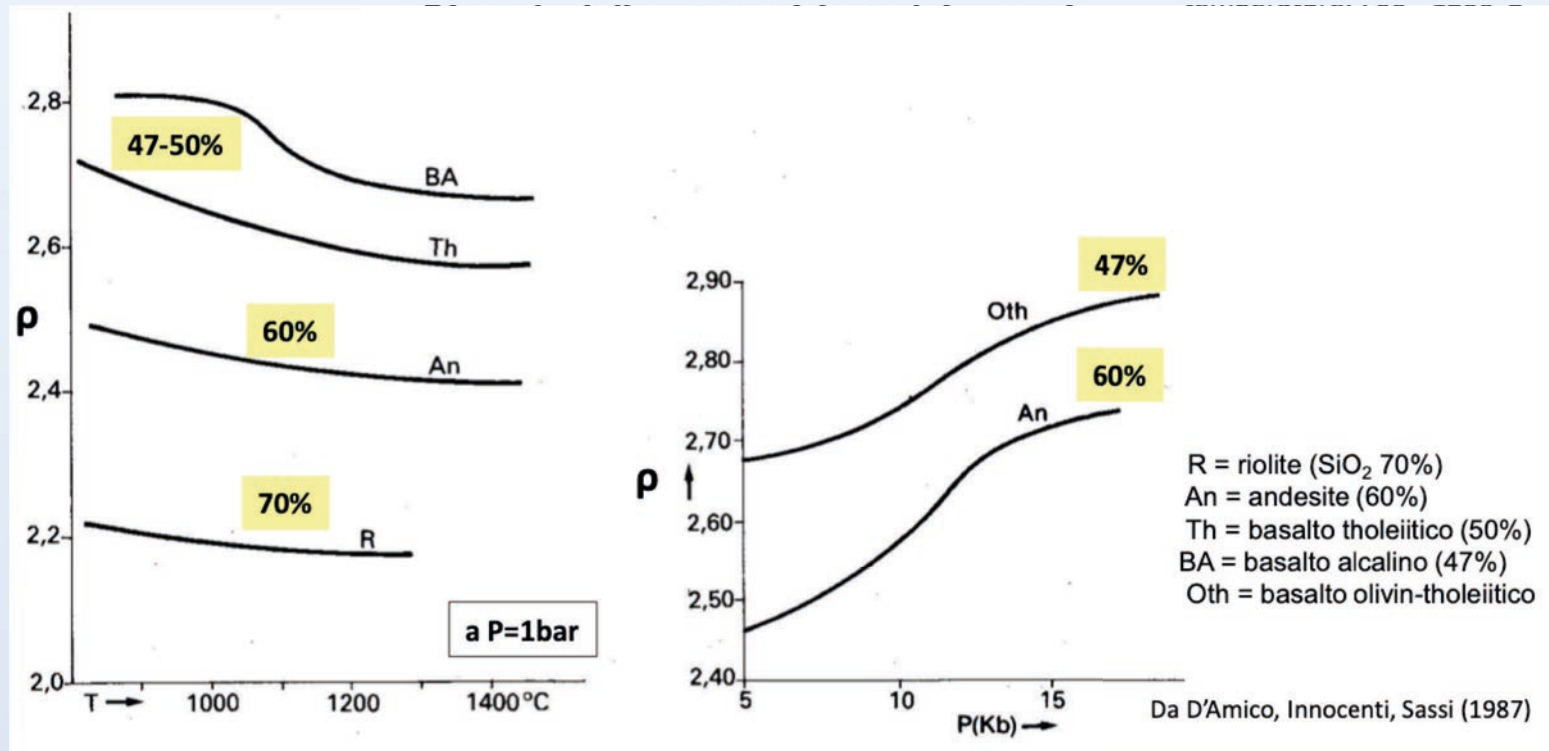
Soufriere Hills (Montserrat)



# Densità ( $\rho$ )

La densità è un'altra proprietà fondamentale dei magmi. Fattori più rilevanti che la controllano sono:

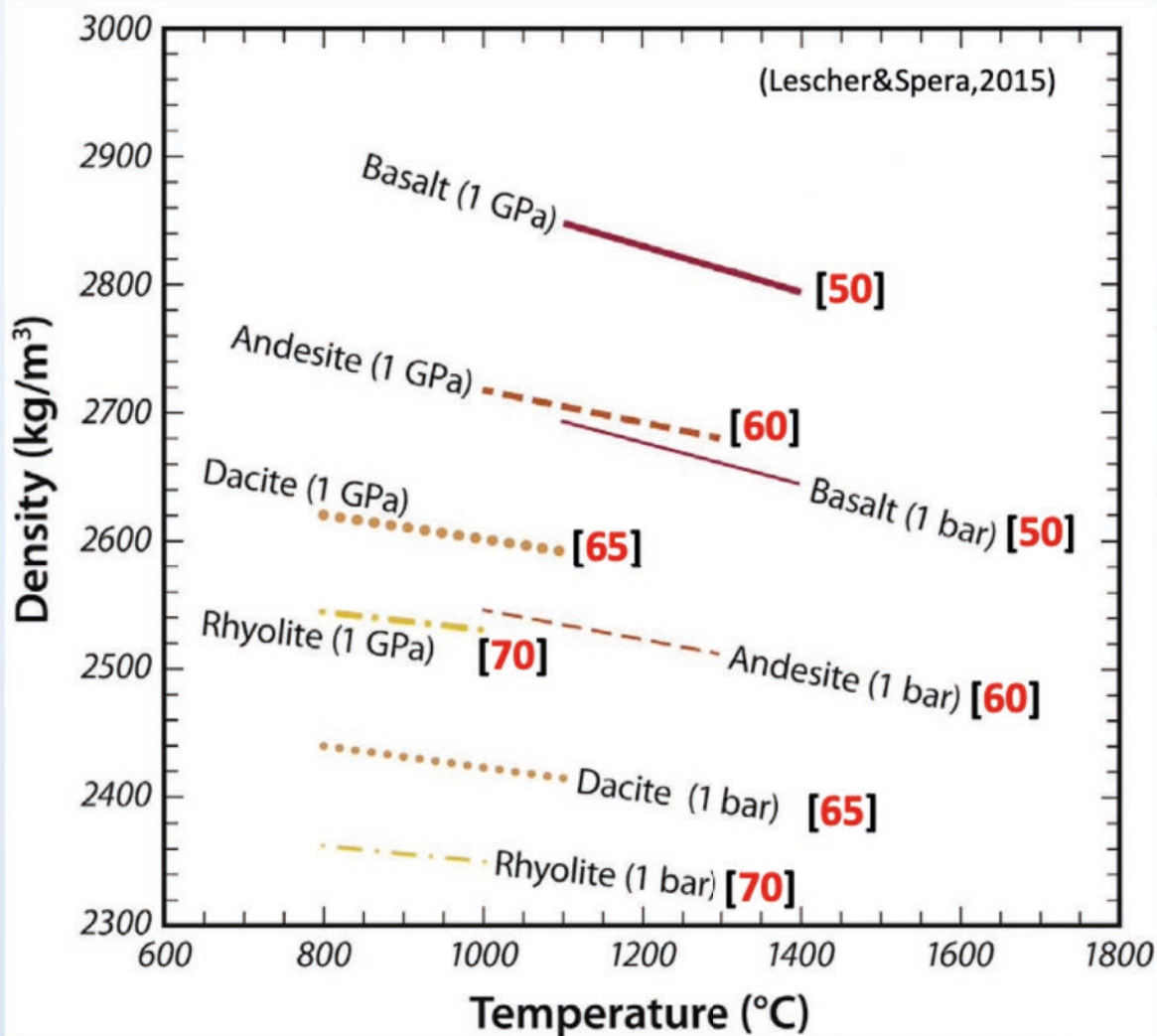
- T ( $\rho$  diminuisce con la T)
- P ( $\rho$  aumenta con la P)
- composizione del magma, che include: composizione del fuso, quantità e mineralogia dei cristalli, contenuto in fasi gassose



Densità dei magmi a pressione atmosferica e T = 700–1400°C: 2.2–2.9 g/cm<sup>3</sup>



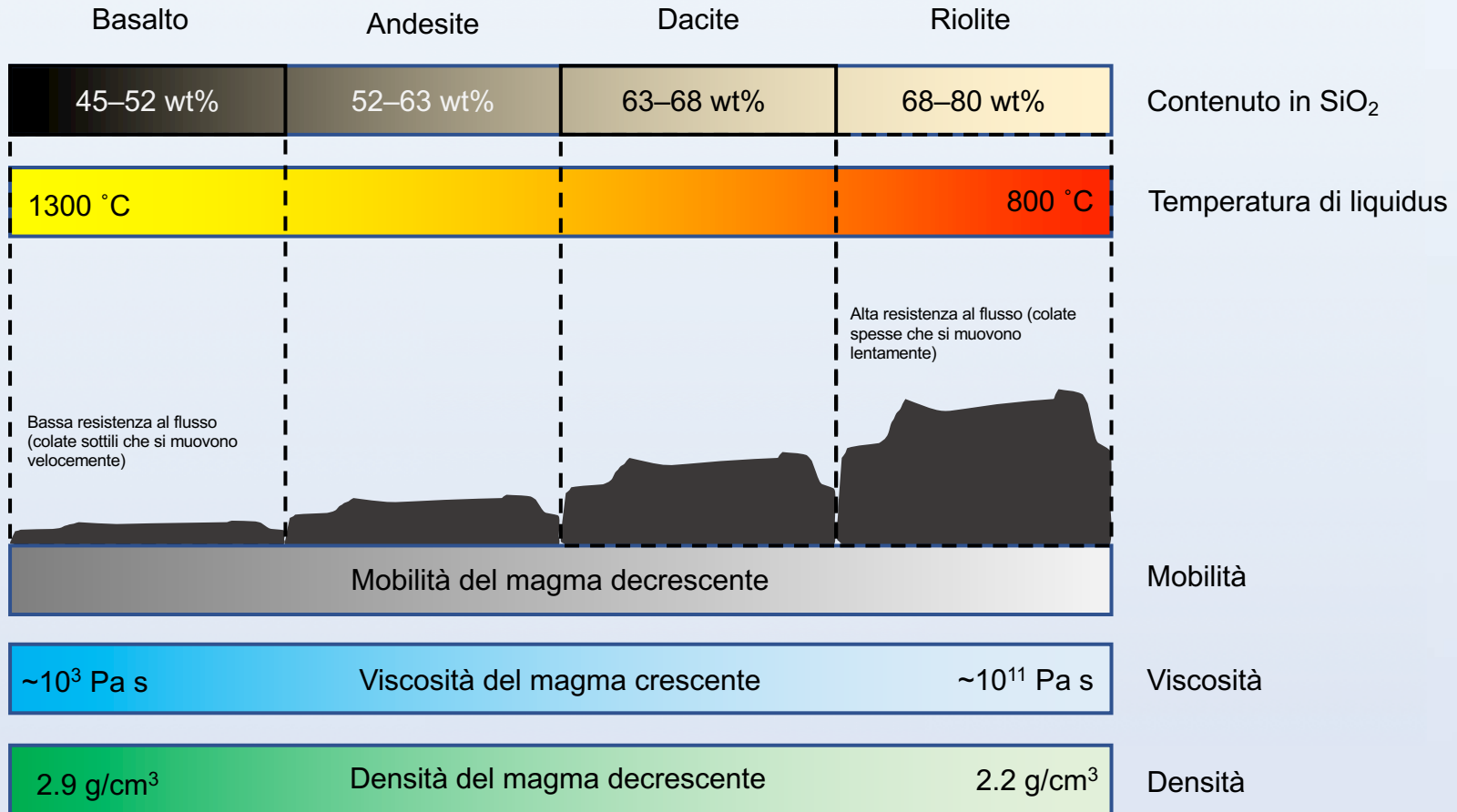
# Densità ( $\rho$ )



Alcune Implicazioni :

- Il contrasto di densità fra magma e ambiente circostante solido controlla (assieme alla viscosità, etc) i processi di risalita dei magmi.
- Dal contrasto di densità dipendono i processi di differenziazione dei magmi legati alla separazione liquido-solido (cristallizzazione frazionata)

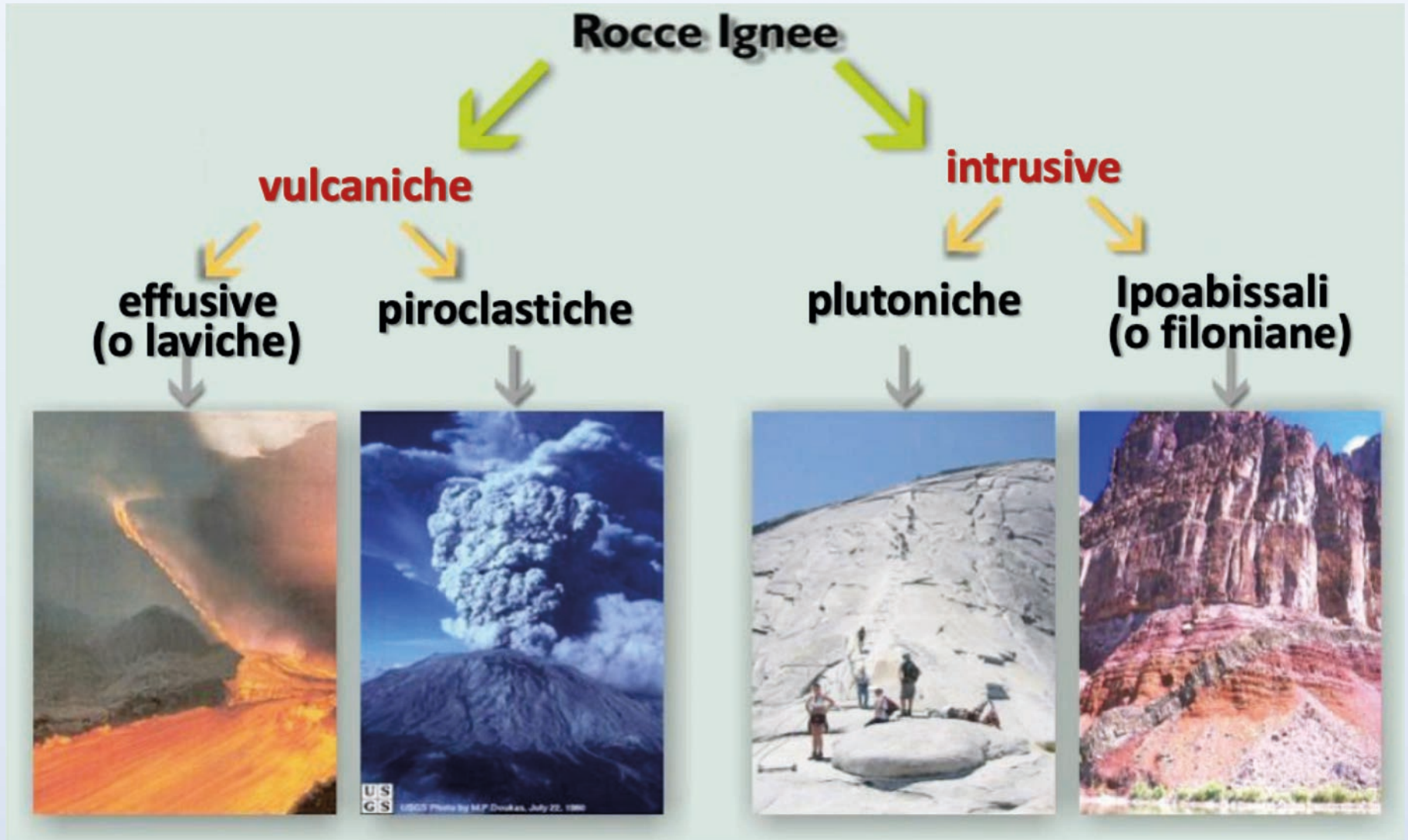
# Relazione tra composizione e proprietà fisiche dei magmi



NB: Questo è solamente uno schema. Lo stile eruttivo può cambiare anche per lo stesso tipo di magma (es.: una colata basaltica può essere di vari tipo (es.: pahoehoe e AA))



# Le rocce magmatiche

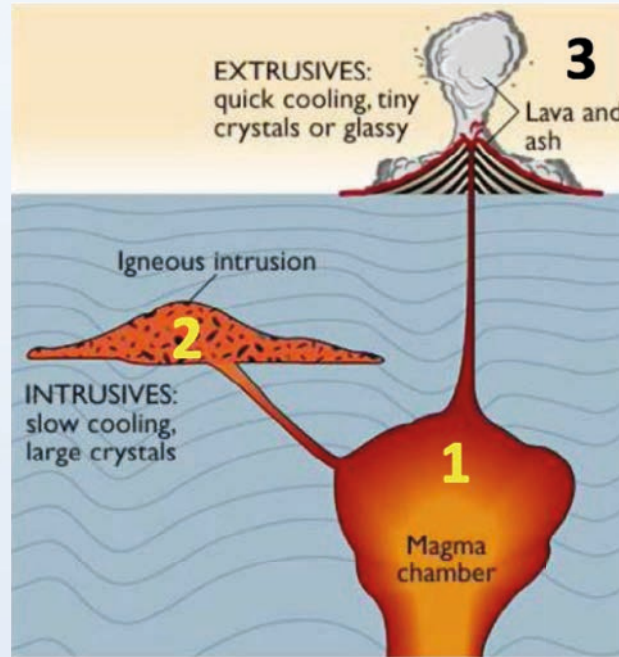


# Le rocce magmatiche (o ignee)

Rocce magmatiche intrusive (plutoniche)

Raffreddamento del magma nel sottosuolo (crosta o mantello), in zone di stazionamento ± profonde ('camere magmatiche')

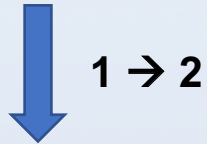
- Lenta diminuzione di T
- Volatili in soluzione nel magma



Rocce vulcaniche

Raffreddamento del magma in superficie (lava)

- Rapida diminuzione di T
- Perdita di volatili (degassamento)



Rocce **olocristalline faneritiche** costituite da cristalli visibili ad occhio nudo, **mai vetro**

Il magma arriva in superficie dove solidifica rapidamente

Rocce **afiriche**, microcristalli visibili solo al microscopio, **± vetro**

Il magma raggiunge la superficie dopo una parziale cristallizzazione in profondità

Rocce **porfiriche, fenocristalli** visibili ad occhio nudo; microcristalli ± vetro nella matrice



# Raffreddamento del magma

Cinetiche di cristallizzazione

## Nucleazione:

n° nuclei cristallini generati per unità di tempo e di volume del fuso

## Velocità di crescita cristallina:

incremento delle dimensioni dei cristalli nell' unità di tempo

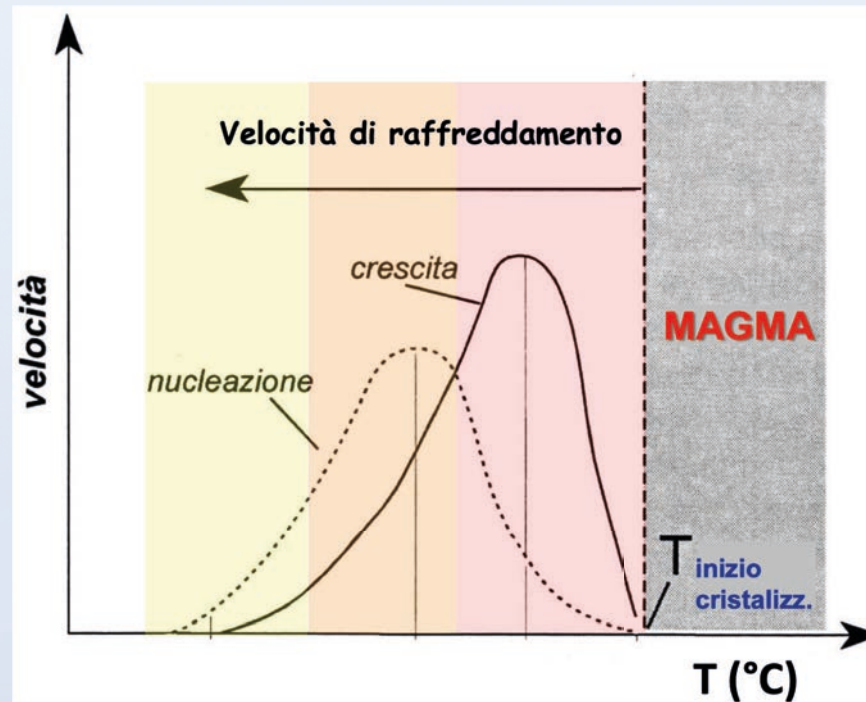
### Rocce plutoniche

Lento raffreddamento del magma

Aumento della nucleazione e velocità di crescita

Crescita > Nucleazione

Mai vetro



### Rocce vulcaniche

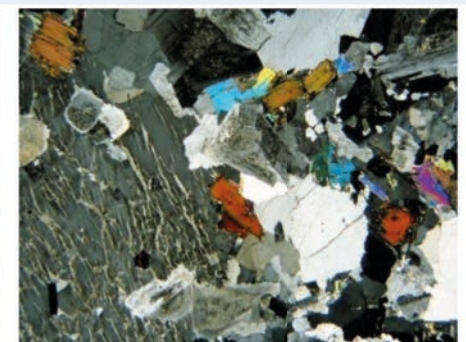
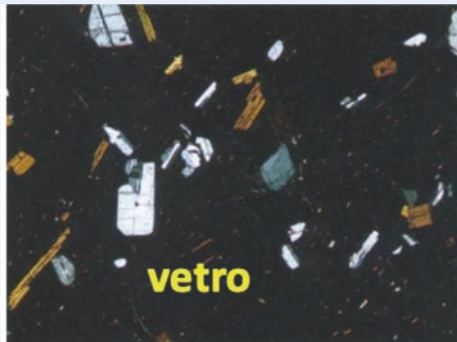
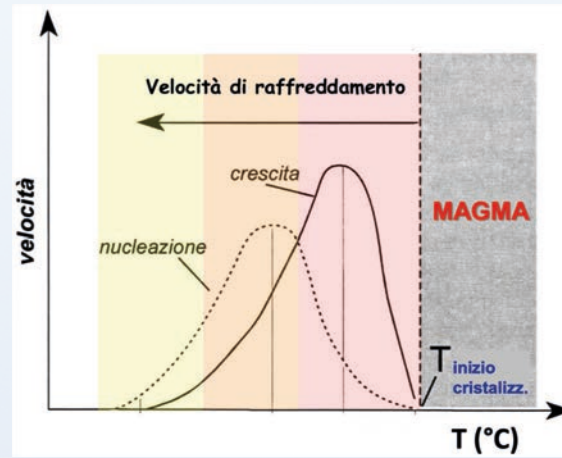
Rapido raffreddamento del magma

Bassa nucleazione  
Bassa velocità di crescita

Nucleazione > Crescita

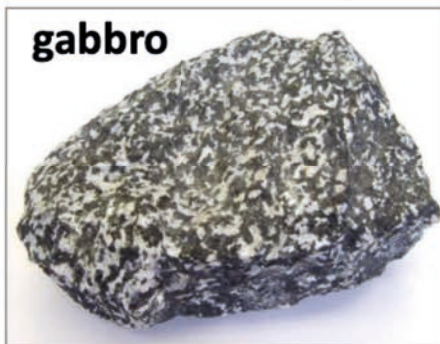
Microcristalli ± vetro

# Raffreddamento del magma



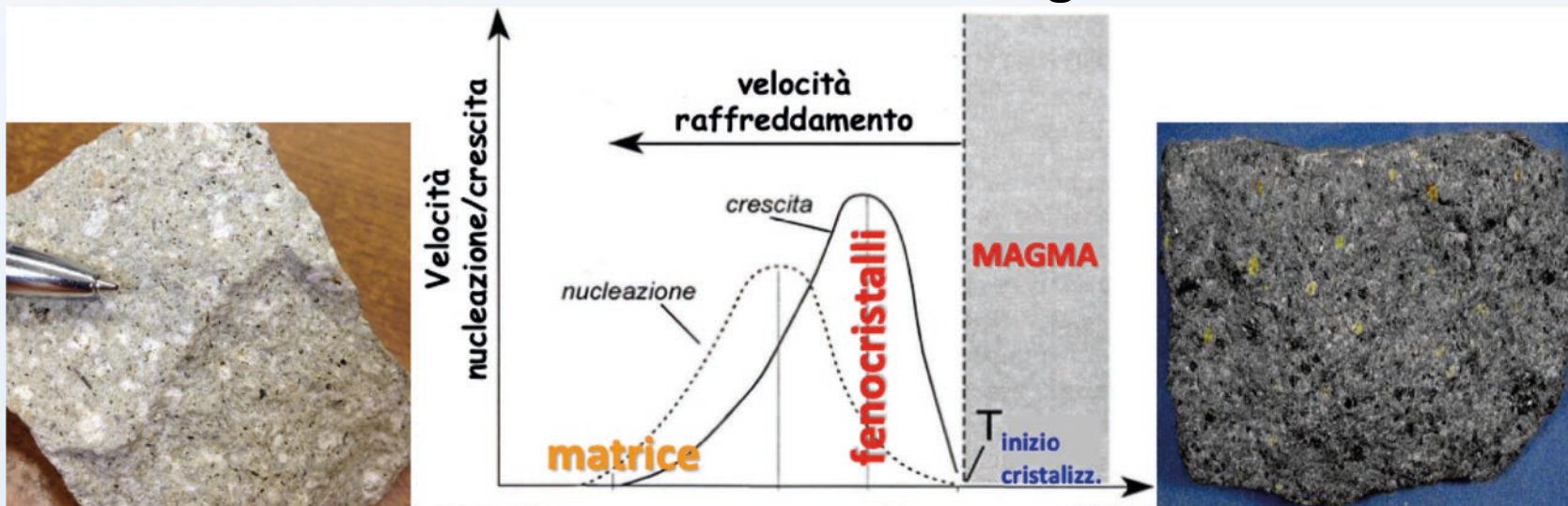
vulcaniche afiriche (microcristalli ± vetro)

plutoniche





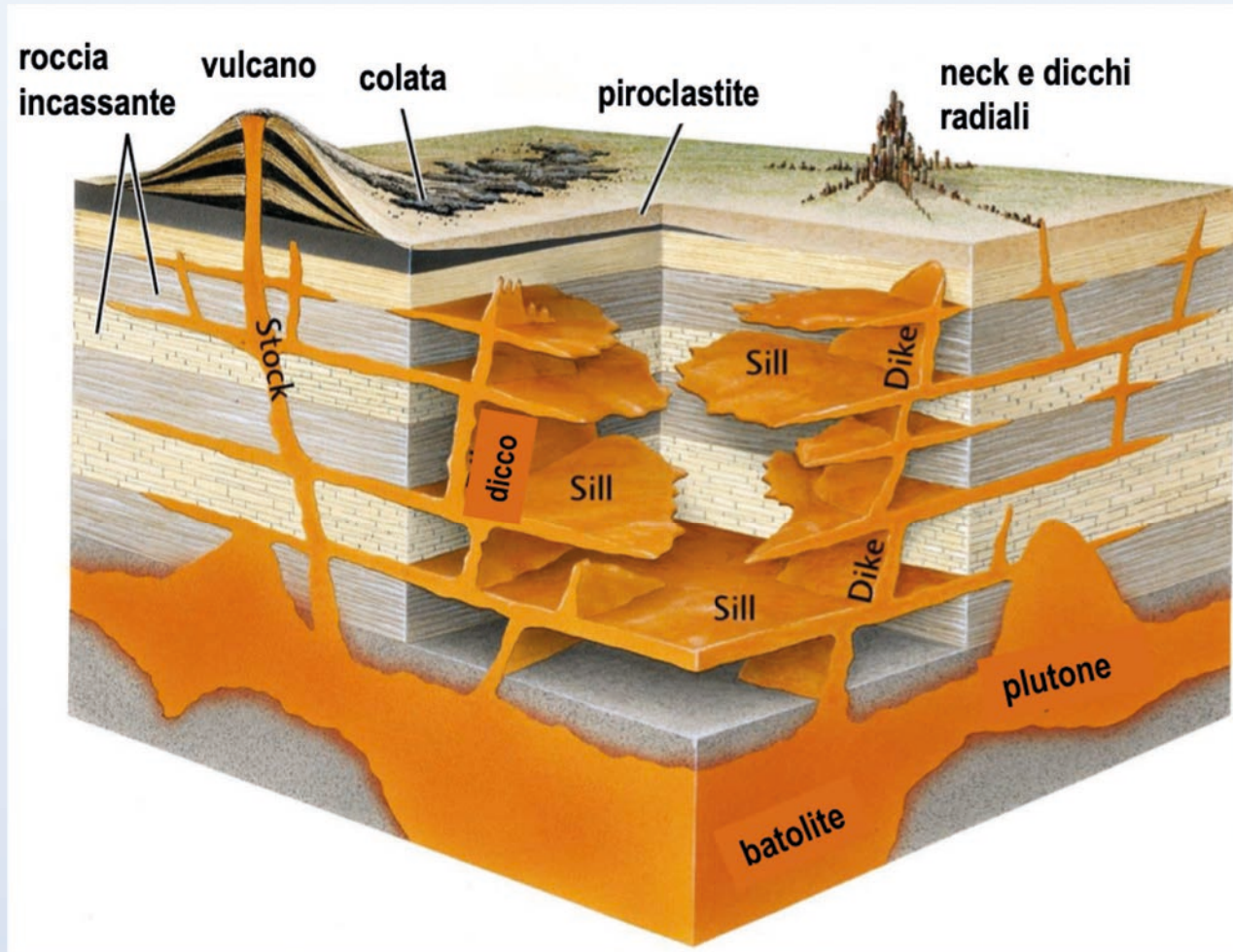
# Raffreddamento del magma



# Giacitura dei corpi magmatici

Giacitura = forma, disposizione spaziale e rapporti corpo magmatico con le rocce incassanti.

In base alla giacitura le rocce ignee sono distinte in plutoniche (o intrusive), ipoabissali (o filoniane o subvulcaniche) e vulcaniche. Le vulcaniche distinte in laviche (da eruzioni effusive) e piroclastiche (da eruzioni esplosive)

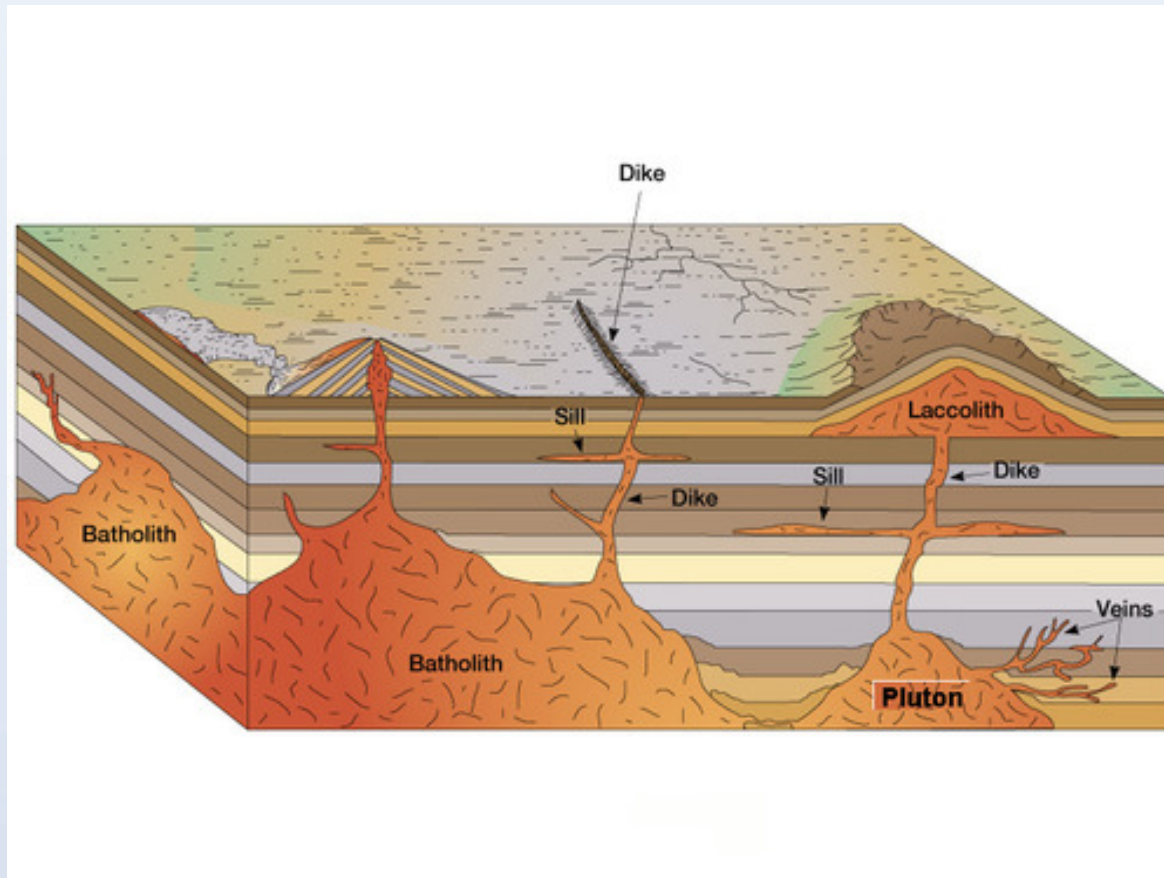




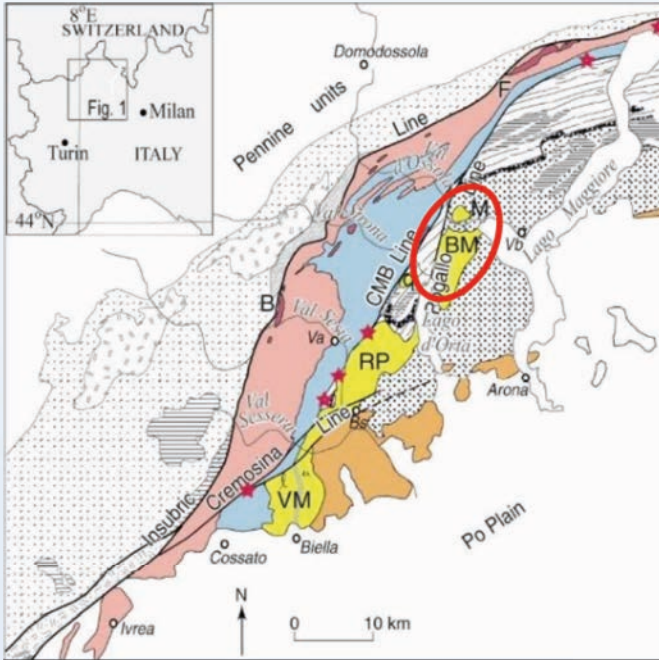
# Intrusioni plutoniche e batoliti

**Plutone:** corpo intruso in crosta, dimensione areale ~ decina km<sup>2</sup> e estensione verticale generalmente non definibile

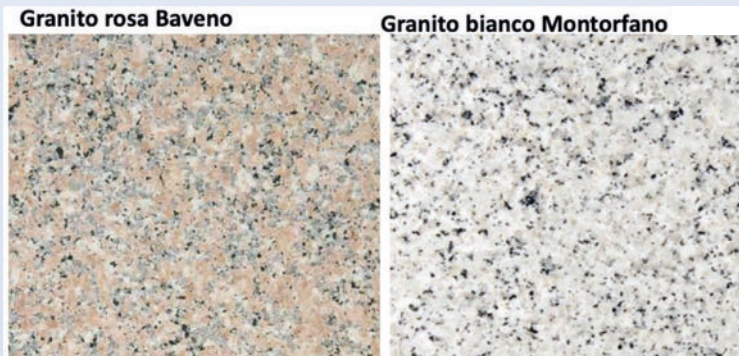
**Batolite:** intrusione composta da più plutoni anche diacroni (=intrusi in tempi diversi) con estensione superiore a centinaia di km<sup>2</sup> (batoliti della costa Pacifica del Nord e Sud America; in Italia batolite ercinico Sardo-Corsico)



# Intrusioni plutoniche e batoliti

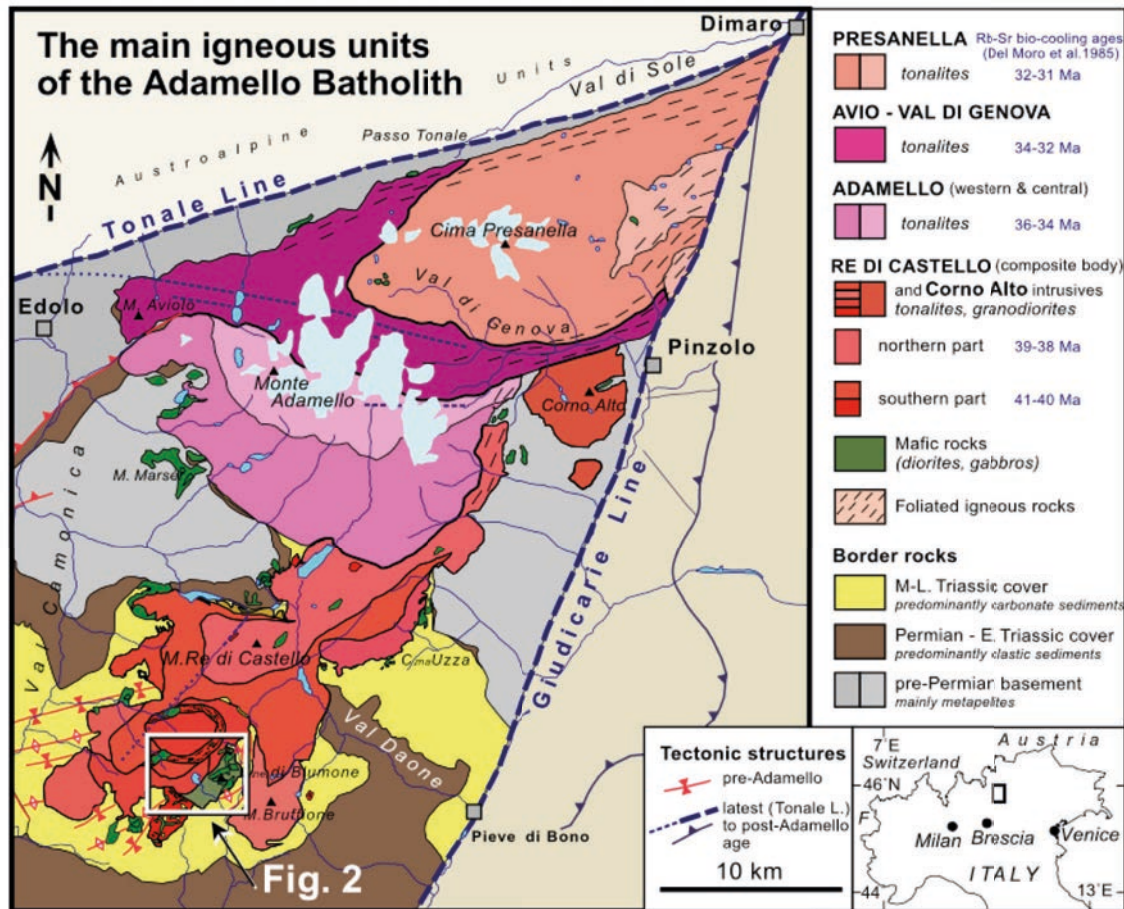


Cava del granito di Baveno (Piemonte)





# Intrusioni plutoniche e batoliti



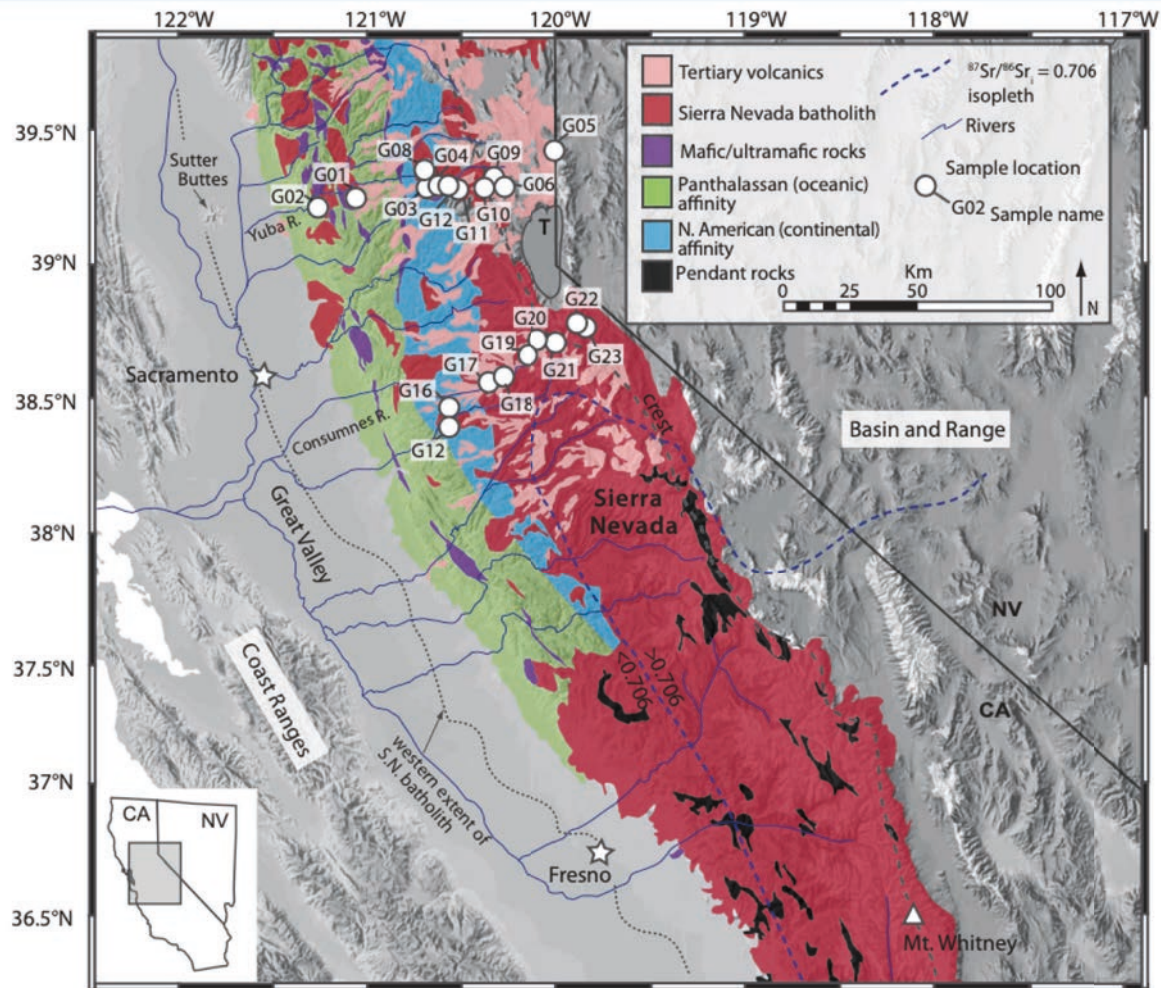
**Fig. 1.** Simplified geologic map of the Adamello batholith after Schaltegger et al. (2009), illustrating the approximate ages, lithologic characteristics, and designations of the main igneous units. See Schaltegger et al. (2009) for more detailed map and geochronology of the Re di Castello pluton. Location of the field site and Fig. 2 is outlined by the white box.

Schoene et al. (2012; EPSL)



# Intrusioni plutoniche e batoliti

## Sierra Nevada Batholith

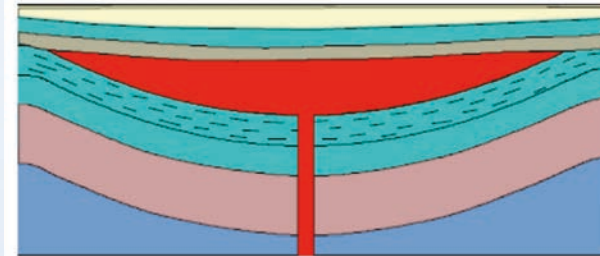
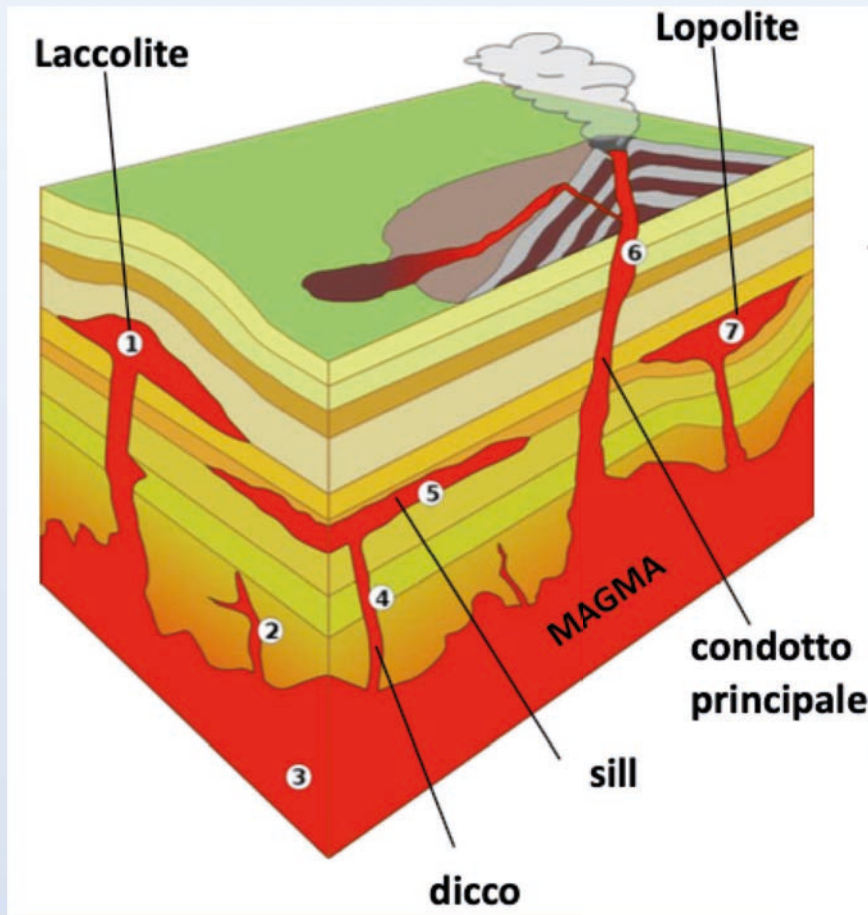


**Figure 1.** Generalized geologic map of the central and northern Sierra Nevada, modified after Irwin and Wooden (2001), Saucedo and Wagner (1992), and Wagner et al. (1987). Sample locations (and their corresponding names) are shown in white. The  $\text{Sr}_i$  0.706 line is modified after Kistler and Peterman (1978) and Kistler (1990). Belts of metamorphic rocks in the northern Sierra foothills have been grouped according to the two different interpreted lithosphere types (Panthalassan and North American) of Kistler (1990). The western extent of the Great Valley is based on the presence of tonalitic and gabbroic arc-related basement sampled in well cores (Williams and Curtis, 1977; Saleeby, 2007).

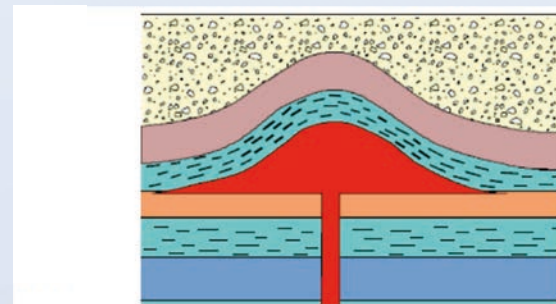
# Intrusioni plutoniche minori

In base alle relazioni con le rocce incassanti, un corpo di forma tabulare o sub-tabulare si può definire come:

- Concordante - il magma si intrude lungo le superfici di strato o di scistosità delle rocce incassanti;
- Discordante - se l'intrusione taglia le strutture delle rocce incassanti.



**Lopolite** : grande corpo tabulare-concavo (ad imbuto), dovuto a intrusioni di **magma basico (basaltico,  $\text{SiO}_2 \approx 50\%$ ) poco viscoso**. Spesso stratificato (variazione litologica verticale).  
Tipico dei complessi basici stratiformi.



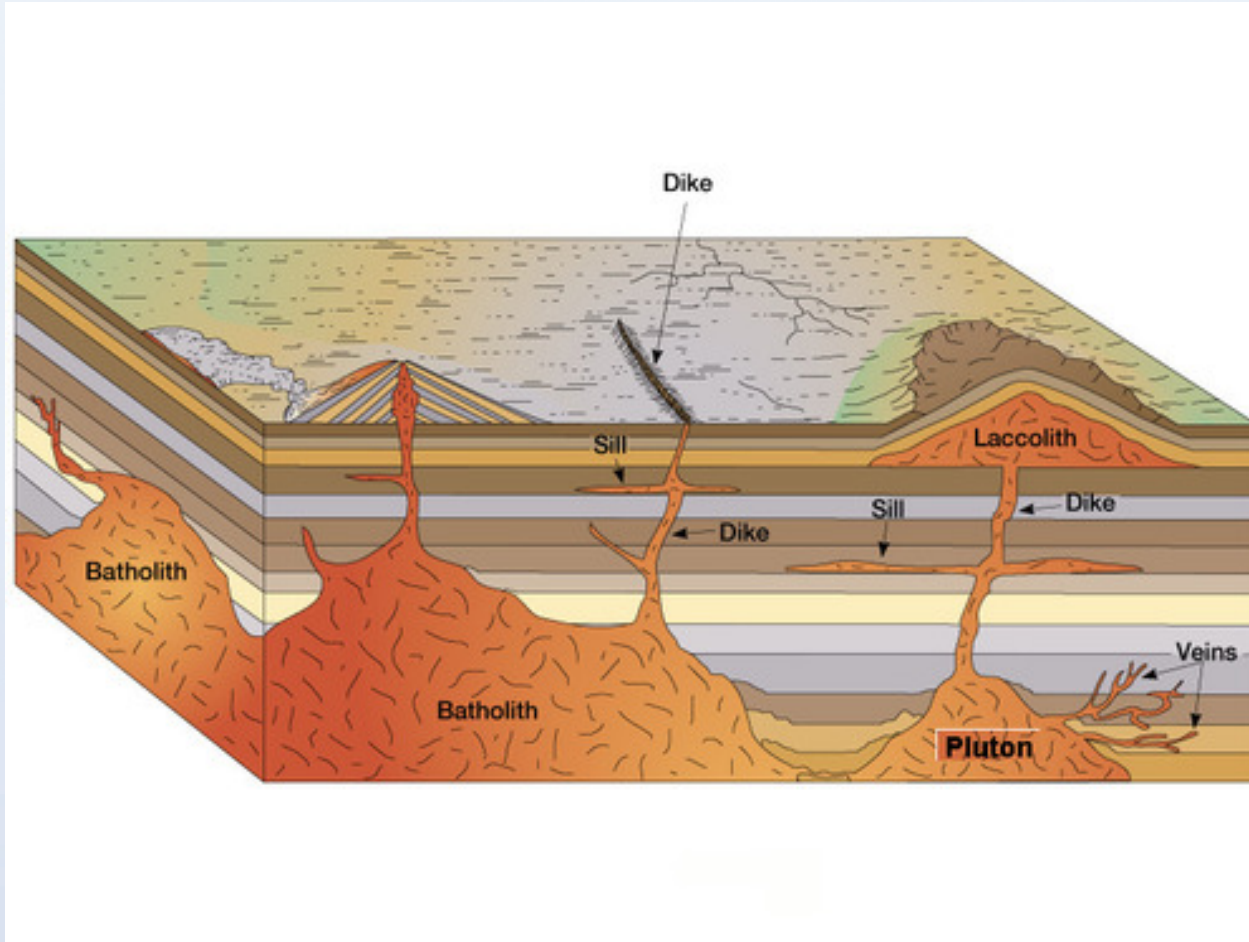
**Laccolite** : corpo piano-convesso con tetto arcuato, dovuto di solito a intrusioni di magma mediamente viscoso, di **composizione intermedio-acida ( $\text{SiO}_2 \geq 60\%$ )**



# Corpi ipoabissali (subvulcanici)

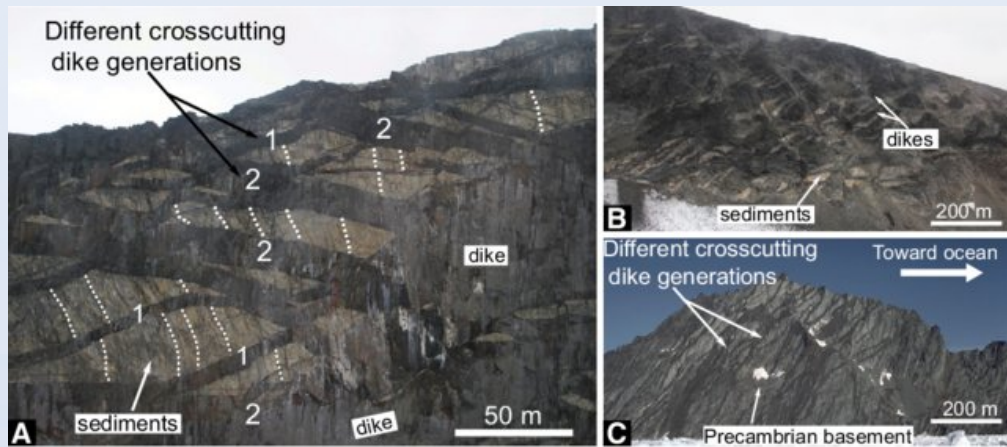
**Dicco:** corpi tabulari discordanti rispetto alle rocce incassanti (generalmente sedimentarie), basso rapporto spessore estensione (spessore da metrico a decine di metri, lunghezza anche chilometrica). Di composizione varia.

**Sill:** corpo tabulare subvulcanico concordante rispetto alle rocce incassanti, di spessore più potente del dicco e di composizione basica.

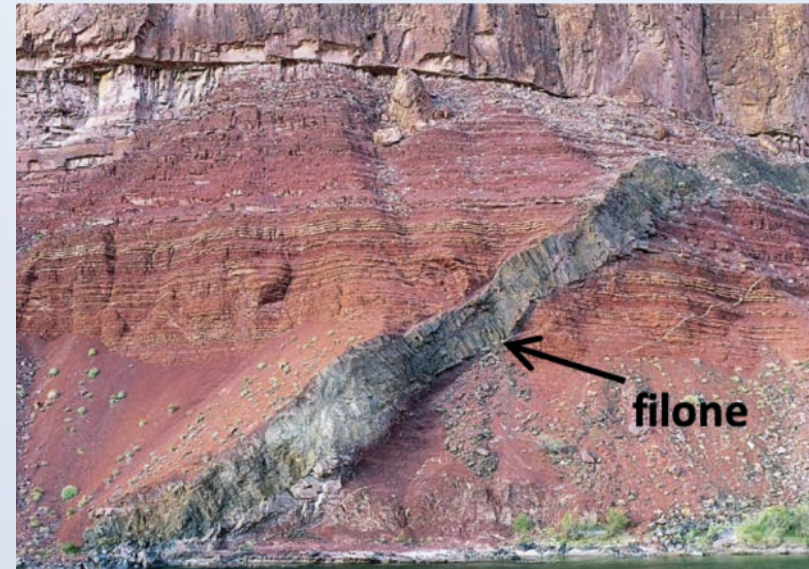




# Corpi ipoabissali (subvulcanici)



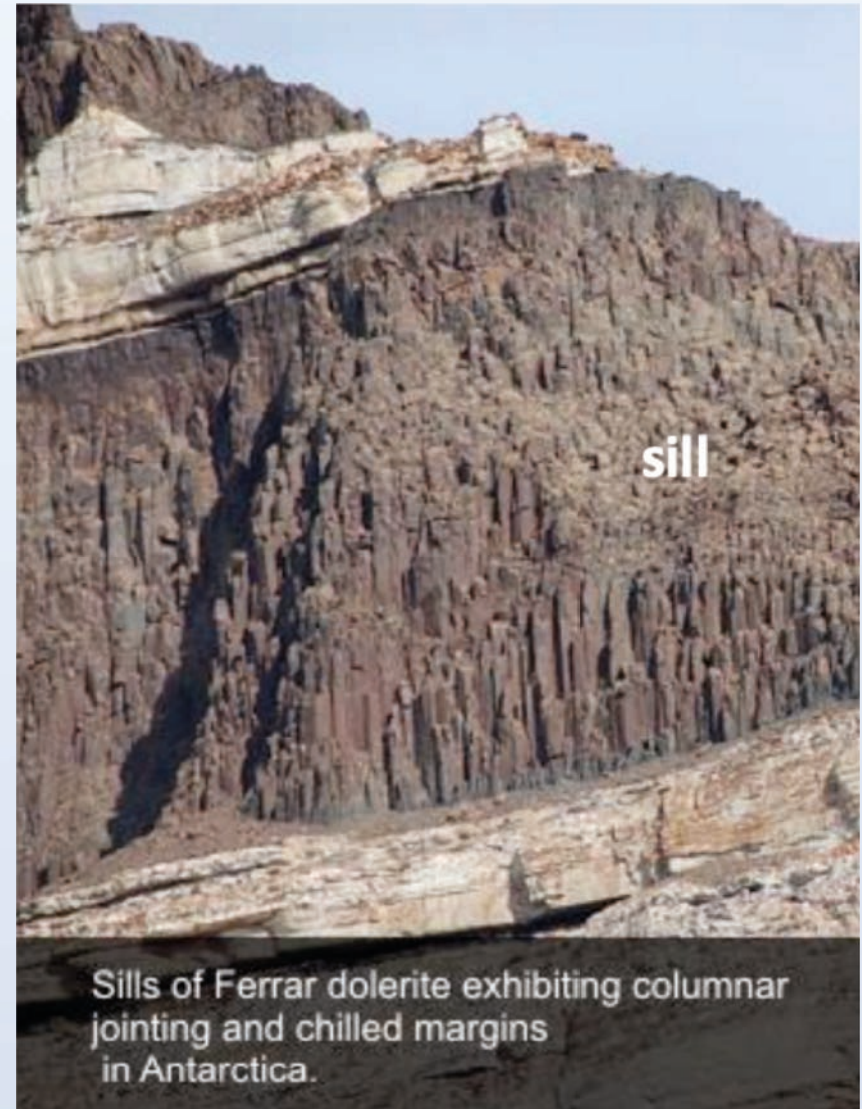
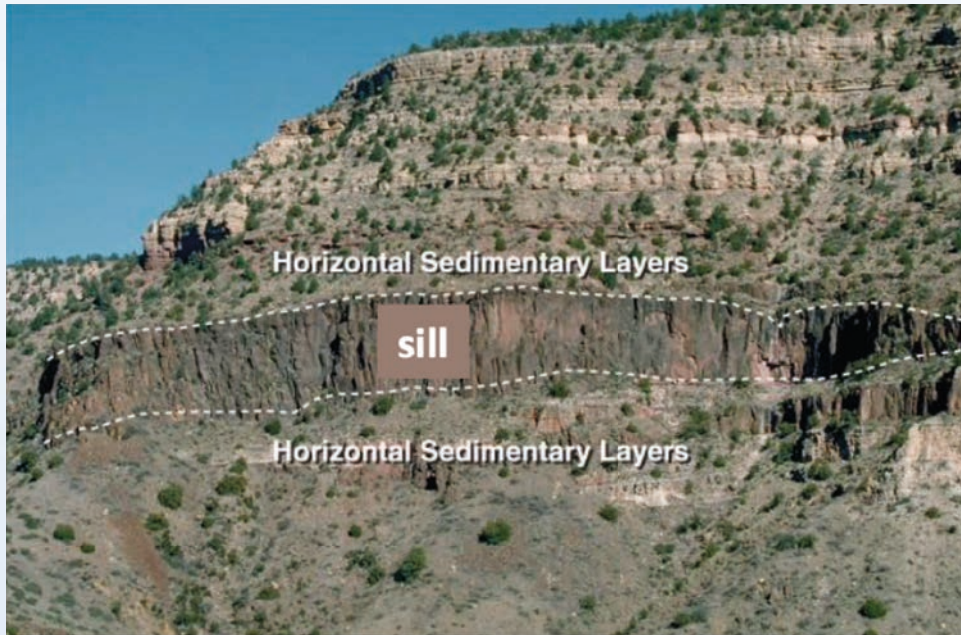
Abdelmalak et al (2015; Geology)



filone

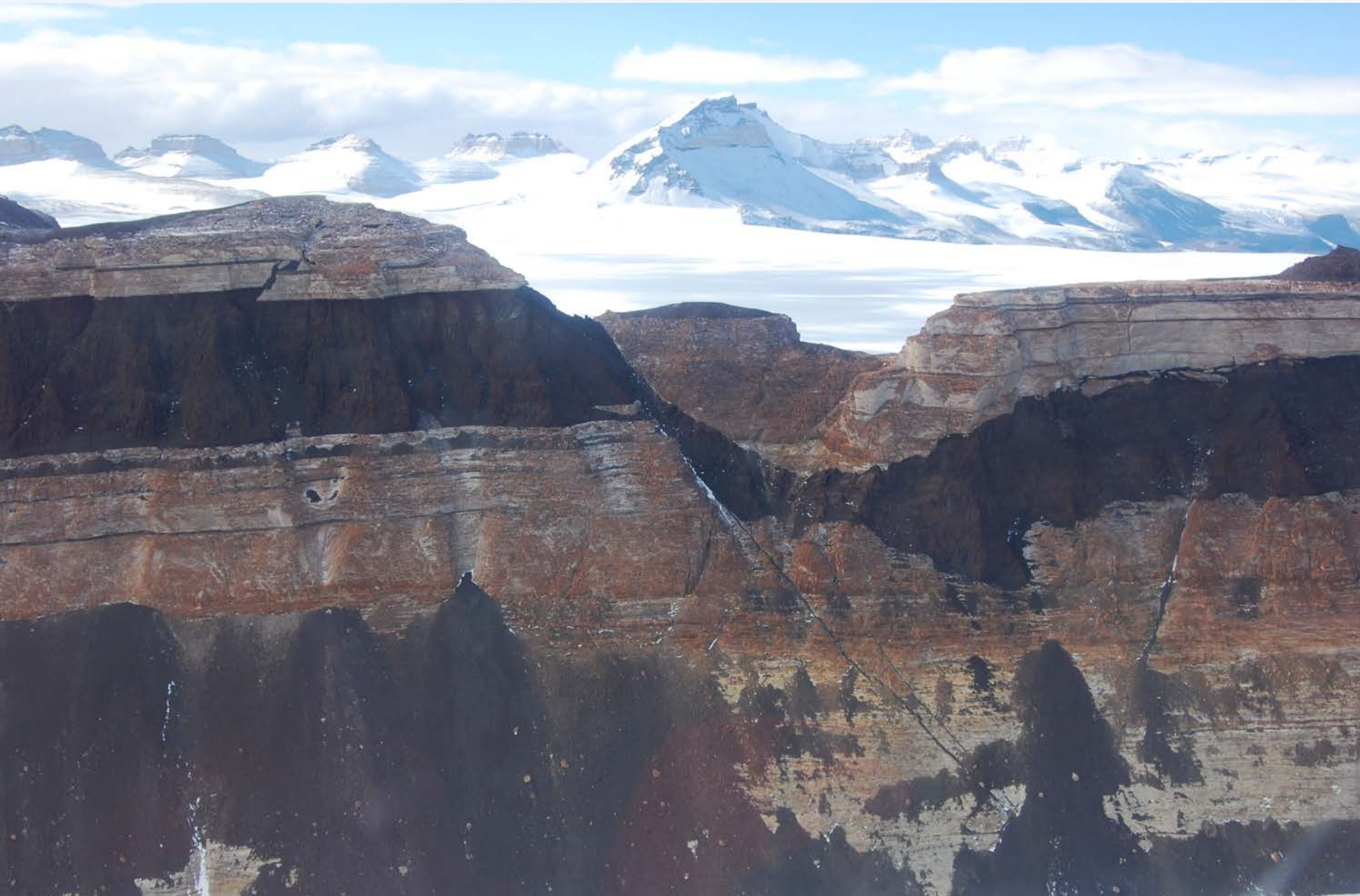


# Corpi ipoabissali (subvulcanici)



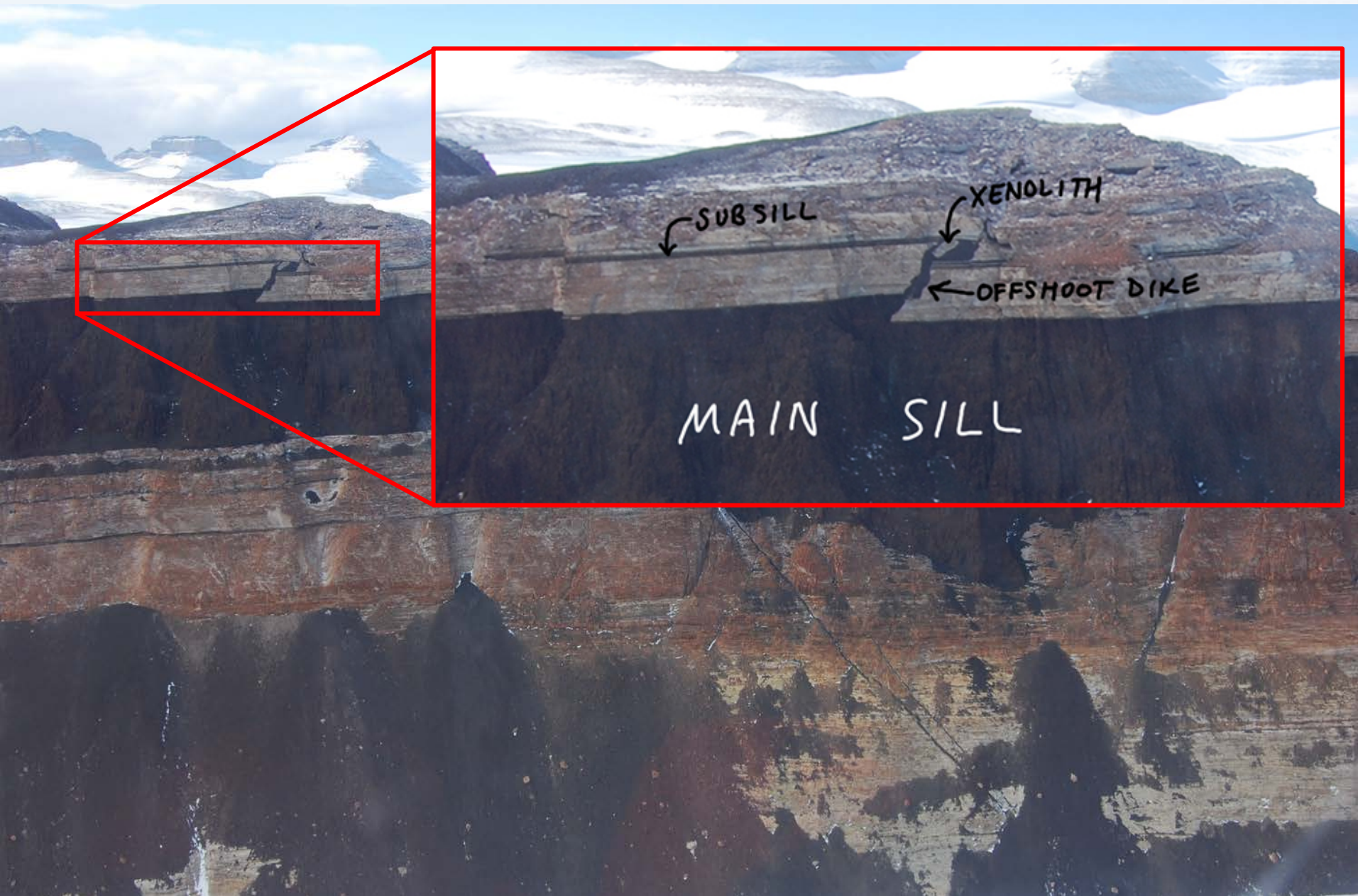


# Corpi ipoabissali (subvulcanici)





# Corpi ipoabissali (subvulcanici)





# Corpi ipoabissali (subvulcanici)

**Neck:** corpo monolitico dovuto al raffreddamento del magma all'interno del condotto vulcanico ed esposto per erosione delle rocce circostanti.



Neck basaltico, Hoggar, Algeria



Neck di Strombolicchio (Eolie)



# Vulcani e rocce vulcaniche

<https://www.youtube.com/watch?v=b9Hq6bTBF2A>



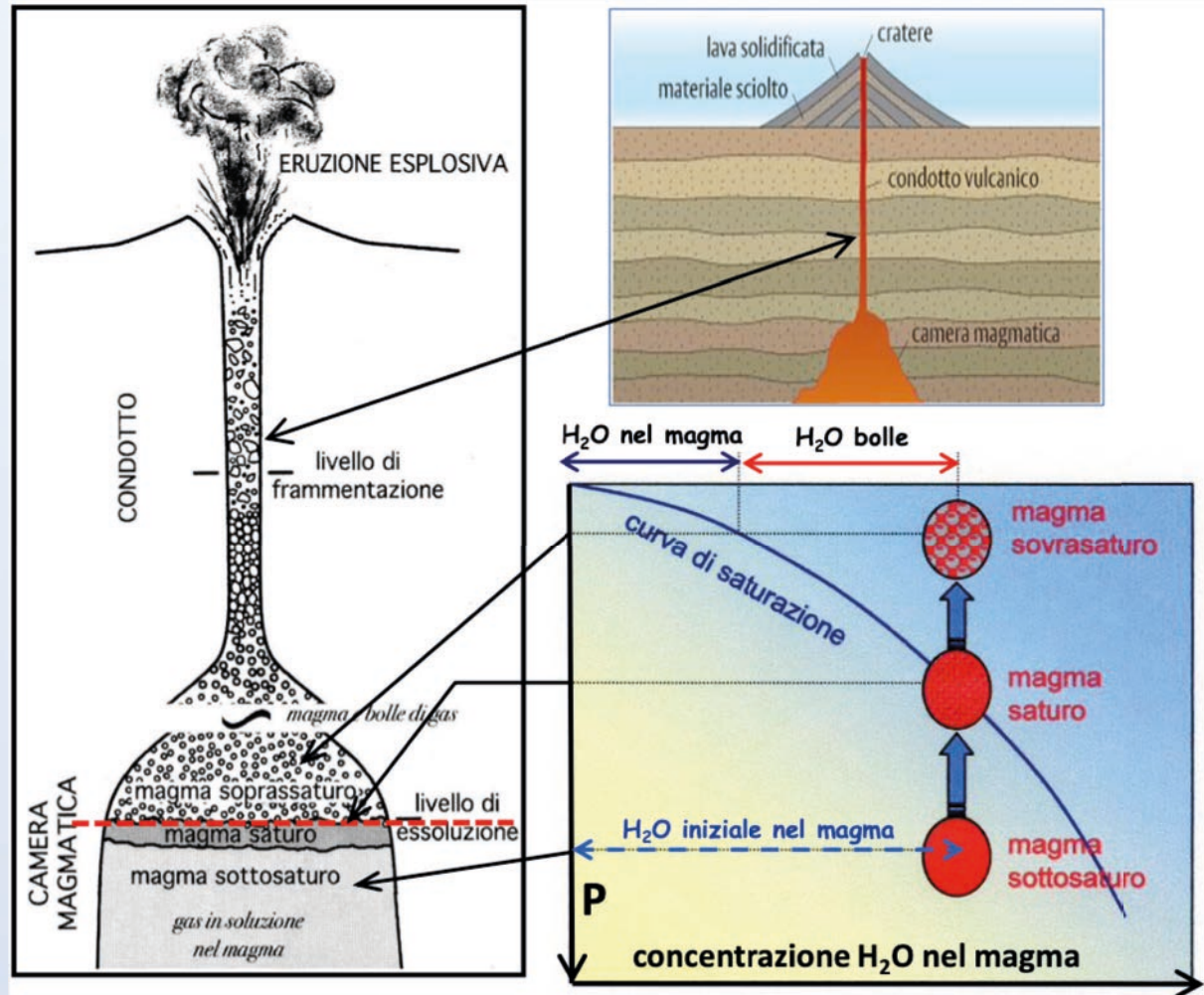


# Vulcani e rocce vulcaniche

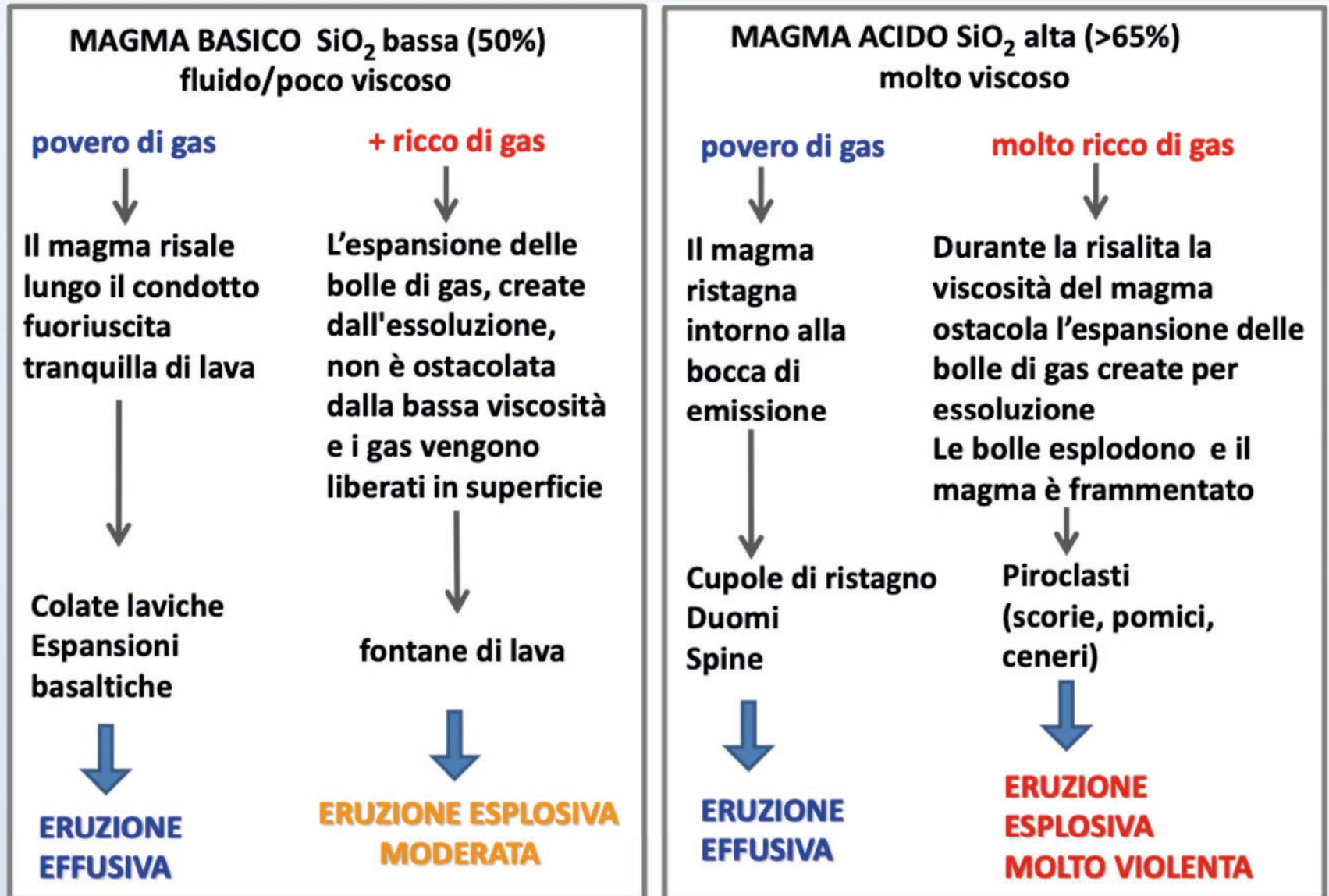
Il principale fattore di controllo sul tipo di eruzione (effusiva o esplosiva) e dei prodotti derivati è la composizione dei magmi, che è correlata alla viscosità ed al contenuto dei gas disciolti.

Da questi parametri dipendono i processi all'interno del condotto di risalita del magma.

Processo di liberazione dei gas disciolti nel magma (essoluzione) con formazione di bolle la cui espansione viene contrastata dalla viscosità del magma

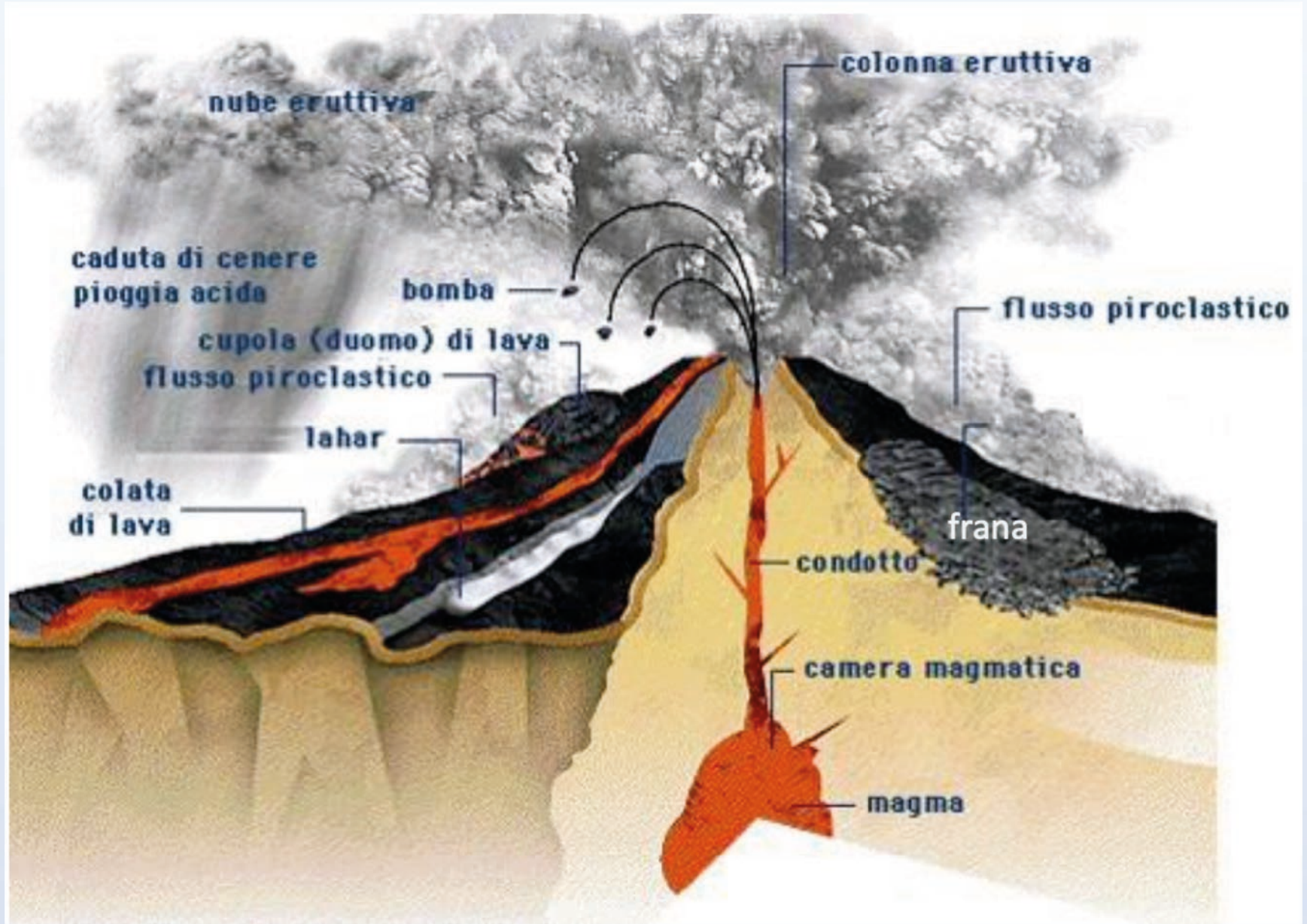


# Vulcani e rocce vulcaniche

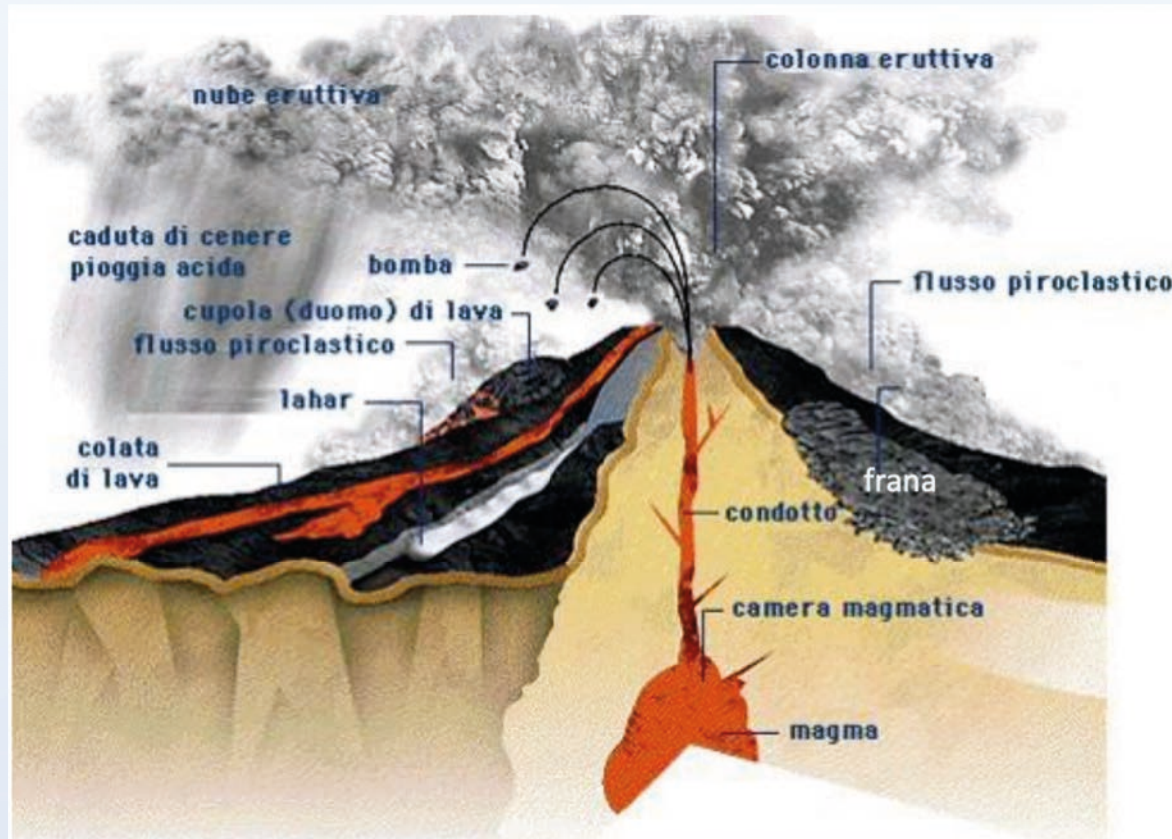




# I prodotti dell'attività vulcanica



# I prodotti dell'attività vulcanica



- Frequente il cambiamento del tipo di attività nel tempo che dipende dal cambiamento della composizione chimica del magma.
- Frequente anche il cambiamento dello stile eruttivo nel corso di una singola eruzione.
- Lo stile eruttivo determina la morfologia del vulcano