

● Punto critico di H<sub>2</sub>O  
T = 374°C  
P = 221 bar

curva di inizio fusione  
delle rocce metamorfiche

**posizione variabile in f.ne  
della composizione rocce e  
presenza di H<sub>2</sub>O (gas)**

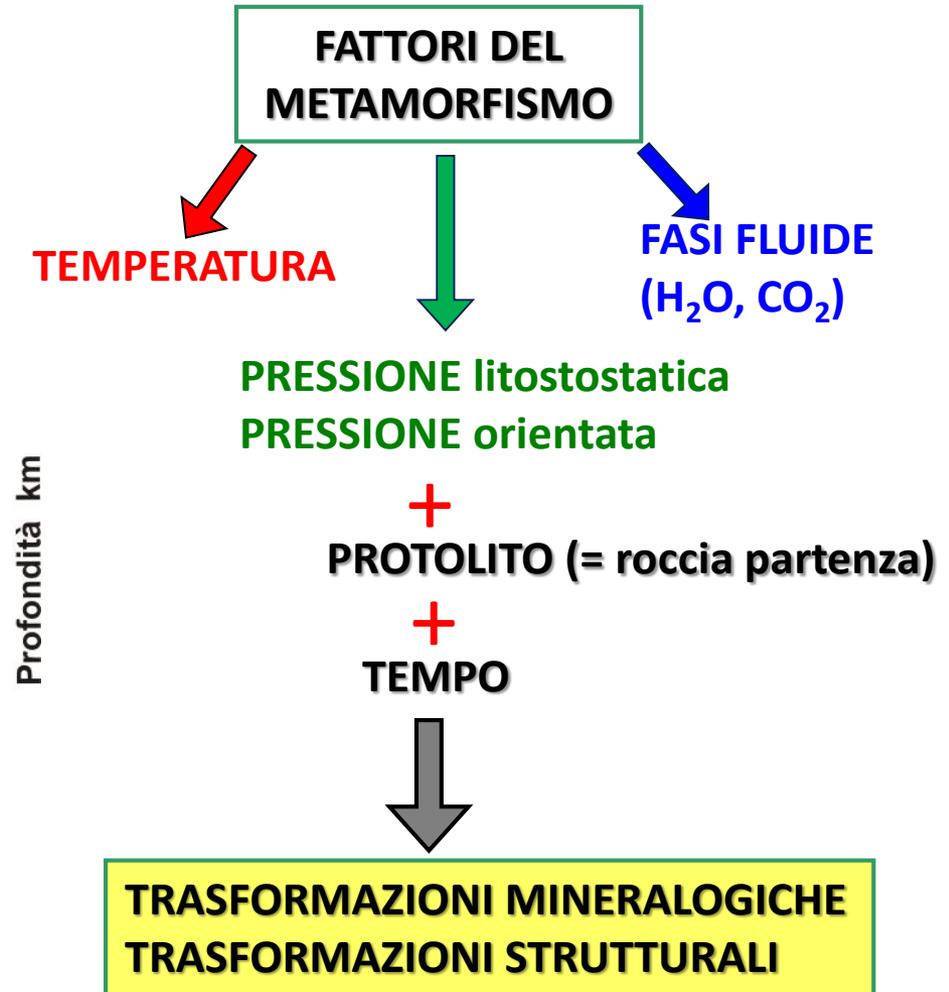
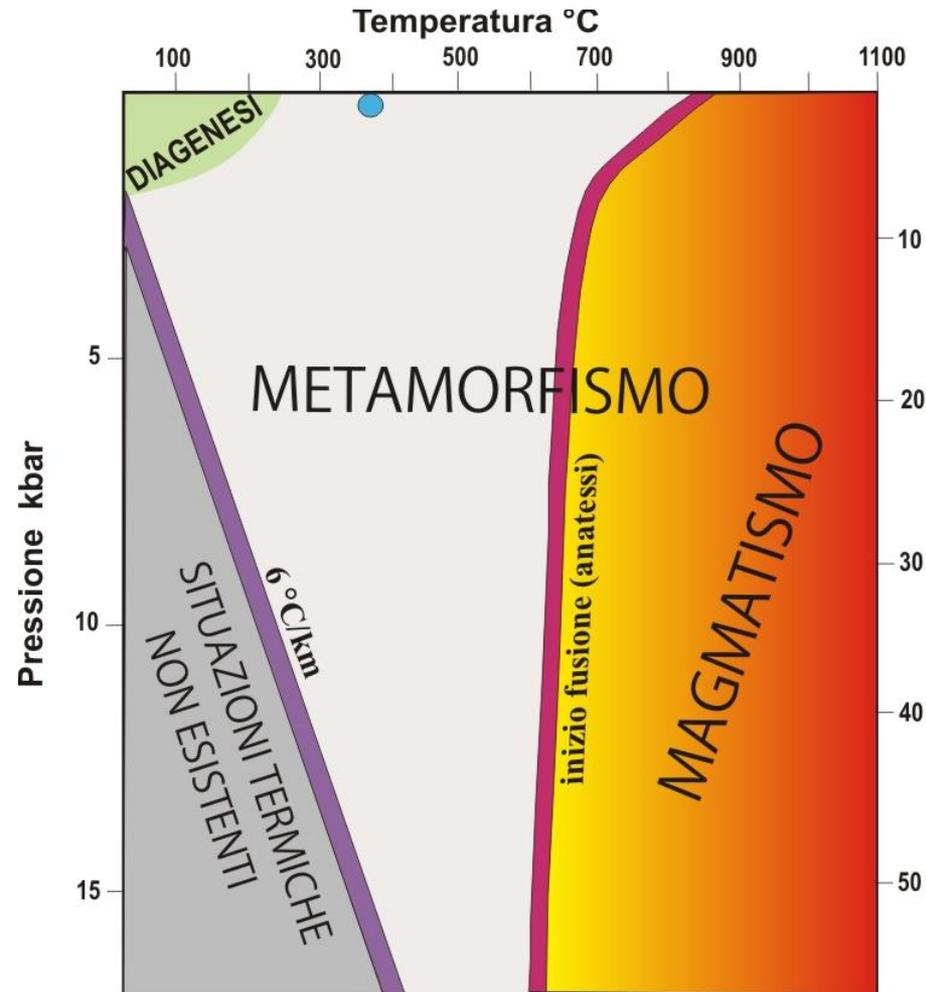
curva riportata = T minime di  
inizio fusione corrispondenti a  
una roccia idrata (con H<sub>2</sub>O) alta  
in SiO<sub>2</sub> (≥ 65%) e povera in FeO  
e MgO (tipo granitoide)  
Per rocce anidre, povere in SiO<sub>2</sub>  
e ricche in FeO e MgO la curva si  
sposta a destra (verso T più alte)



**Campo grigio = minimo campo  
del METAMORFISMO**

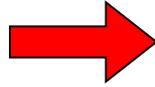
# METAMORFISMO

L'insieme di processi geologici che causano la TRASFORMAZIONE (=METAMORFOSI) di preesistenti rocce, siano esse magmatiche, sedimentarie o metamorfiche stesse. Tale trasformazione avviene allo stato solido senza presenza di FUSO. E' causata dalle nuove, diverse condizioni ambientali in cui vengono a trovarsi le rocce rispetto a quelle in cui si sono formate.



Roccia in condizioni di equilibrio  $\equiv$  Sistema mineralogico-strutturale con livello MINIMO di Energia libera  $\equiv$  minima tendenza a trasformarsi

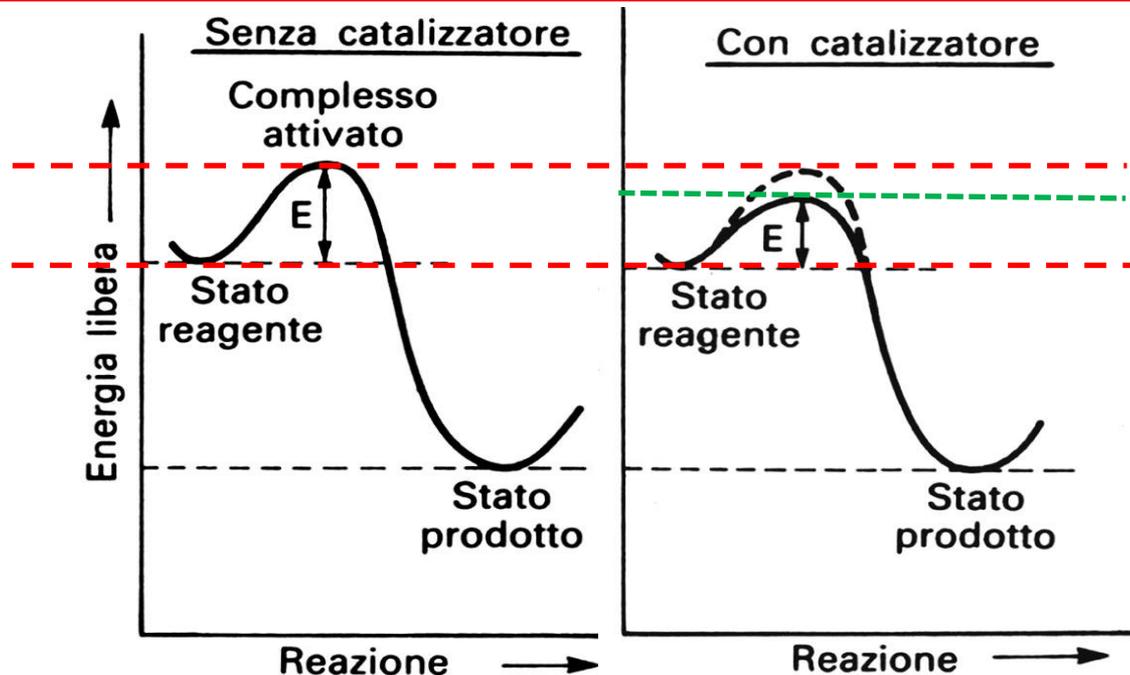
**INPUT ENERGETICO**  
**(TERMICO = T°C)**

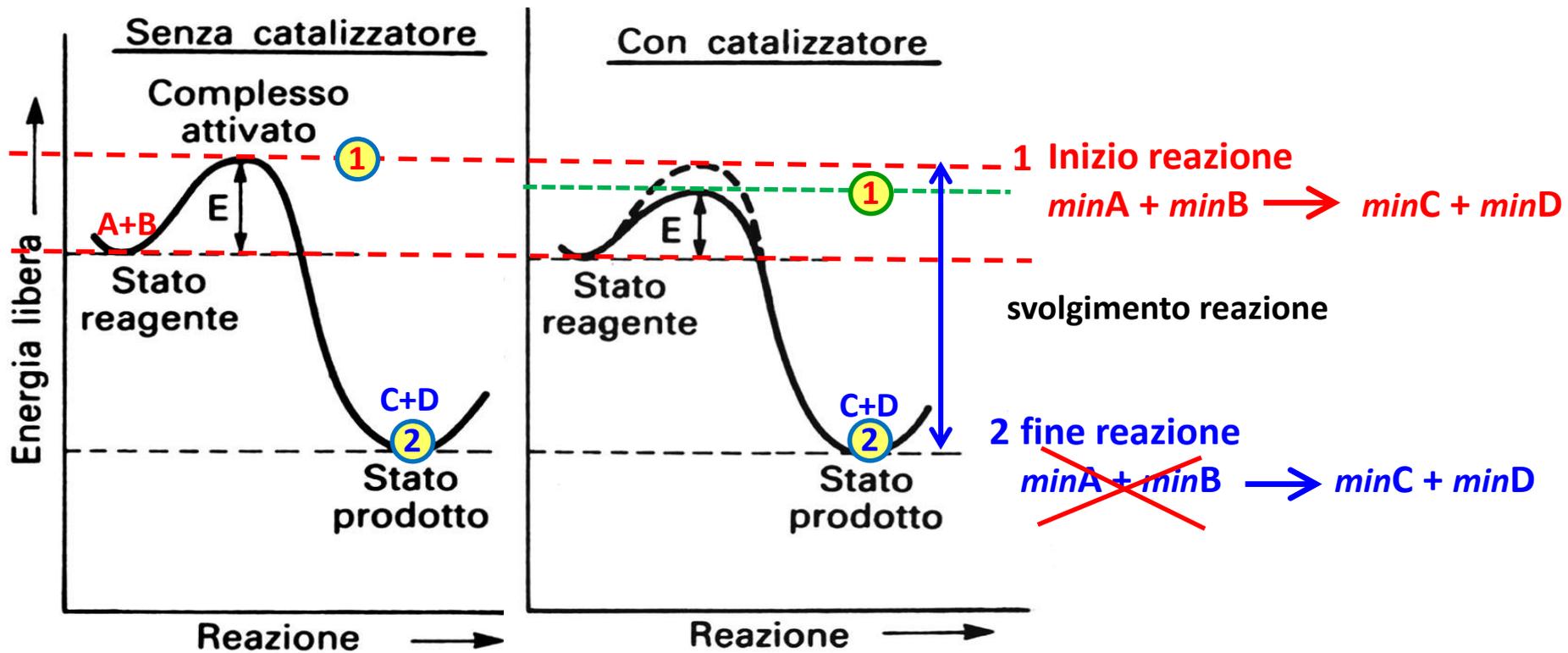


**AUMENTO DI ENERGIA libera del sistema**  
**CONDIZIONI DI DISEQUILIBRIO**  
**AUMENTO della TENDENZA a trasformarsi**  
sia **MINERALOGICAMENTE** sia **STRUTTURALMENTE**

Le reazioni metamorfiche avvengono SE, l'INPUT ENERGETICO (TERMICO) supera la SOGLIA DI ATTIVAZIONE

ENERGIA DI ATTIVAZIONE = quantità di Energia (max. termica) necessaria per ATTIVARE un sistema roccioso **reazione  $minA + minB \rightarrow minC + minD$**





**CATALIZZATORI** : fattori che diminuiscono la E termica necessaria per attivare il sistema roccioso, cioè per innescare le reazioni metamorfiche

**FASI VOLATILI** (gas) intergranulari

**DEFORMAZIONI** (Energia meccanica assorbita dai reticoli cristallini)



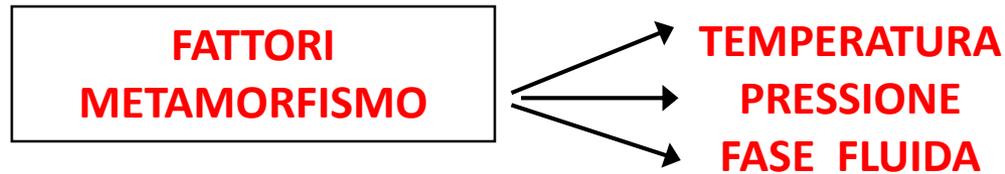
UNA NUOVA ROCCIA COSTITUITA DA

- NUOVI MINERALI
- NUOVE STRUTTURE

IL RISULTATO FINALE DEL PROCESSO METAMORFICO,  
cioè LE CARATTERISTICHE MINERALOGICHE/STRUTTURALI DELLA ROCCIA METAMORFICA,  
dipenderanno da :

- ✓ TEMPERATURA
- ✓ PRESSIONE { litostatica ( di carico) cioè idrostatica  
+ orientata
- ✓ PRESENZA FASE FLUIDA (GAS)
- ✓ NATURA DEL PROTOLITO (natura della roccia di partenza)

**+ TEMPO**



**FASE FLUIDA (= fase volatile) >> H<sub>2</sub>O <CO<sub>2</sub>**

## 1 - Presenza

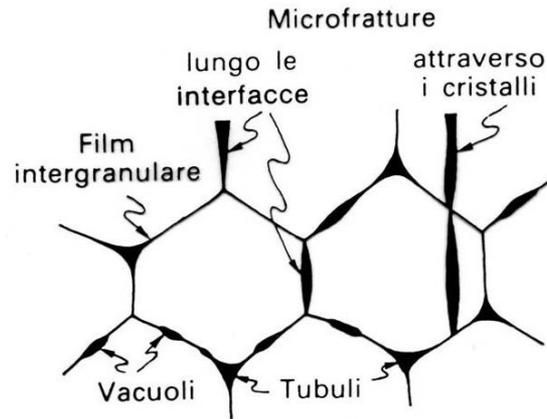
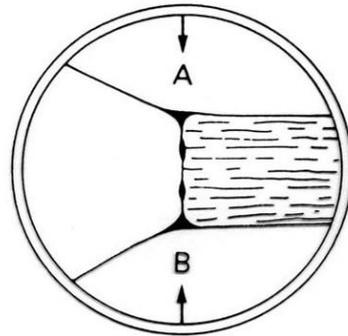
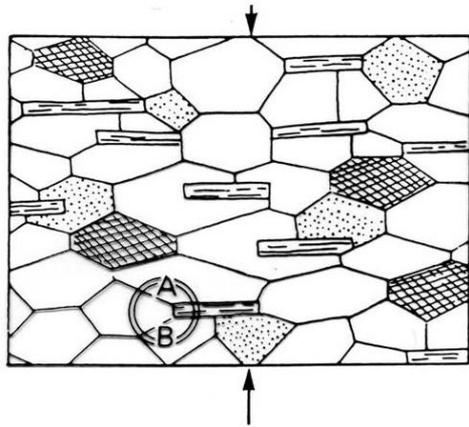
- a) La > parte dei minerali metamorfici contengono (OH)<sup>-</sup> nel reticolo, quindi minerali idrati
- b) I minerali metamorfici spesso contengono inclusioni fluide (gassose, >H<sub>2</sub>O, <CO<sub>2</sub>)
- c) Molte reazioni metamorfiche liberano fluidi (H<sub>2</sub>O, CO<sub>2</sub>), quindi viene prodotta durante il processo metamorfico

## 2 - Importanza

- a) Aumenta la mobilità delle specie chimiche, quindi la probabilità che avvengano le reazioni met.
- b) Aumenta la cinetica delle reazioni (funzione CATALIZZATORE)

**c) Rappresenta l'agente di trasferimento di calore a scala regionale per CONVEZIONE**

### 3 - Localizzazione



**Localizzazione fase fluida negli spazi intergranulari (microporosità) ± comunicanti**

### 4 – Circolazione della fase fluida

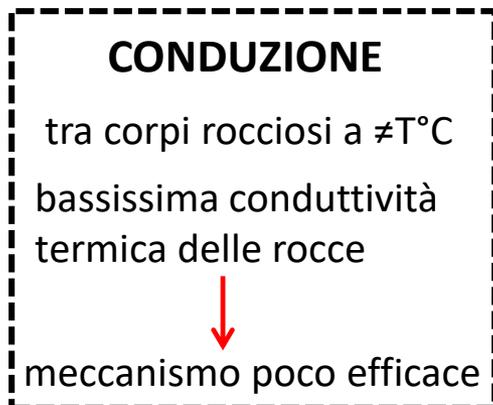
A) per **DIFFUSIONE** se le microporosità non sono comunicanti ---- efficace per piccole distanze (<1m)

B) per **FLUSSO** se le porosità sono comunicanti

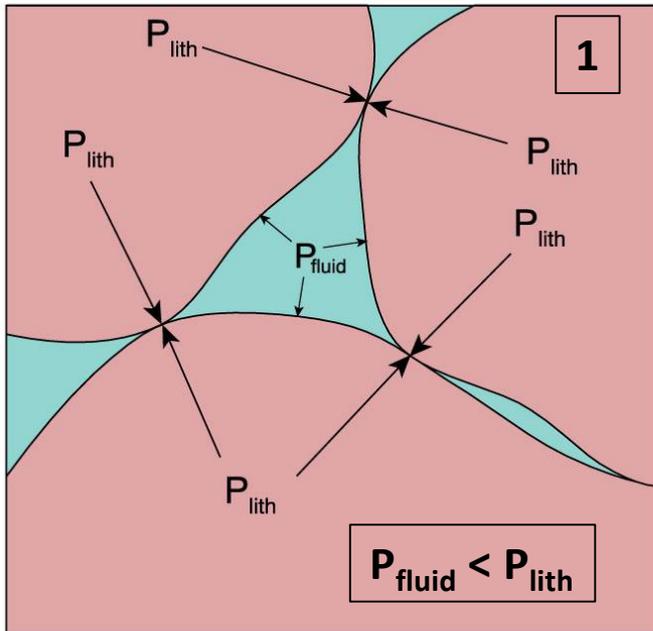
*dipende in primis dalla permeabilità della roccia (legge di Darcy)*

**efficace a grandi distanze → meccanismo fondamentale di trasferimento di calore**

### TRASFERIMENTO DI CALORE



## Raggiungimento della condizione $P_{\text{fluidi}} \approx P_{\text{litostatica}}$



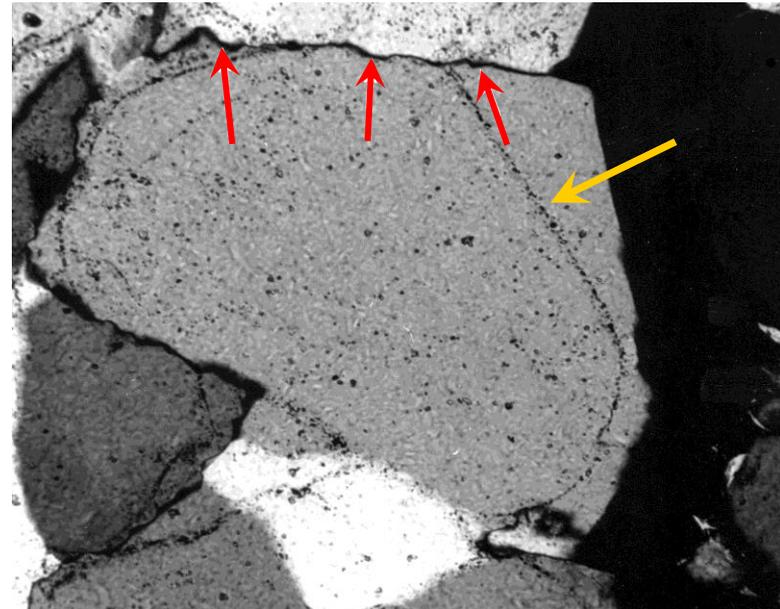
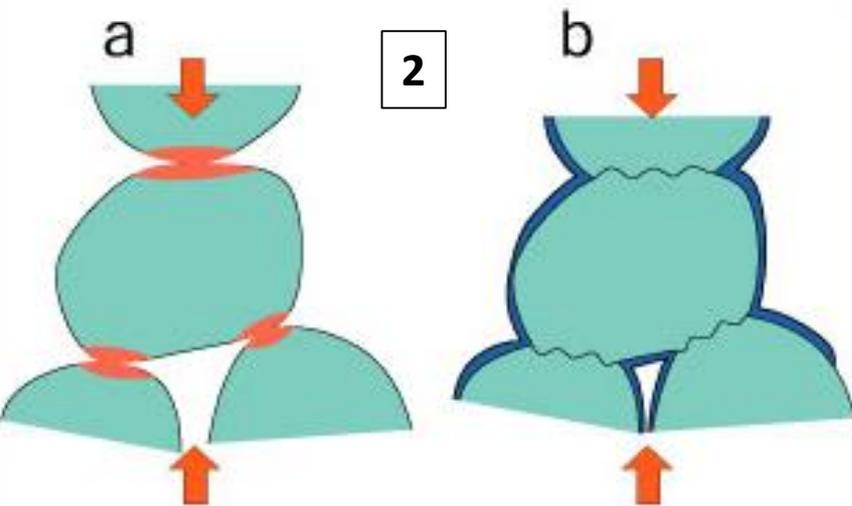
1. Situazione iniziale:  $P_{\text{litostatica}}$  ( $P_{\text{lith}}$ ) esercitata sui granuli è  $>$  della  $P$  esercitata dai fluidi contro le pareti dei granuli ( $P_{\text{fluid}}$ ).

2. Per effetto della  $P_{\text{litostatica}}$  (di carico) i minerali cominciano a “dissolversi” lungo i punti di contatto (a) con migrazione di materiale verso/nei pori occupati dai fluidi (b).

La diminuzione del volume dei pori fa aumentare la  $P_{\text{fluidi}}$  fino a renderla uguale alla  $P_{\text{litostatica}}$ .



$$P_{\text{fluidi}} \approx P_{\text{litostatica}} \text{ (o } P_{\text{carico}})$$



**TEMPERATURA**

=

**grado metamorfico**

**FATTORE PIU' IMPORTANTE !!**

Energia termica → rottura legami → disgregazione reticoli cristallini → mobilità ioni  
→ attivazione reazioni met. → cinetica reazioni → nuovi minerali

**Regime termico  
"normale"**



Quantità flusso di calore terrestre = quantità calore radiogenico  
prodotto per decadimento di elementi radioattivi

**Normalità termica  
(zone cratoniche)**



Quantità flusso di calore terrestre = 1HFU =  $1 \cdot 10^{-6}$  cal cm<sup>-2</sup>sec<sup>-1</sup>  
= 0.0418 W m<sup>-2</sup>

**GRADIENTE GEOTERMICO  
"NORMALE"**



= 13—15°C/Km (es , a 15 km T ≈ 200°C)

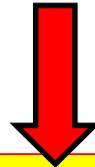
**REGIME TERMICO  
"ANORMALE"**



risalita/infittimento o diradamento delle isoterme

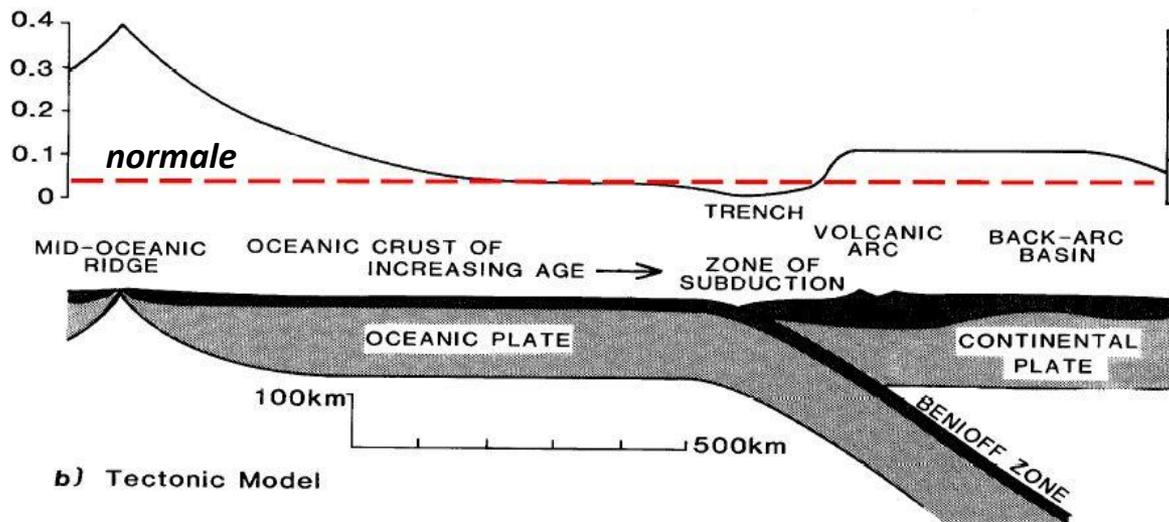


**AUMENTO o DIMINUZIONE DEL GRADIENTE TERMICO**

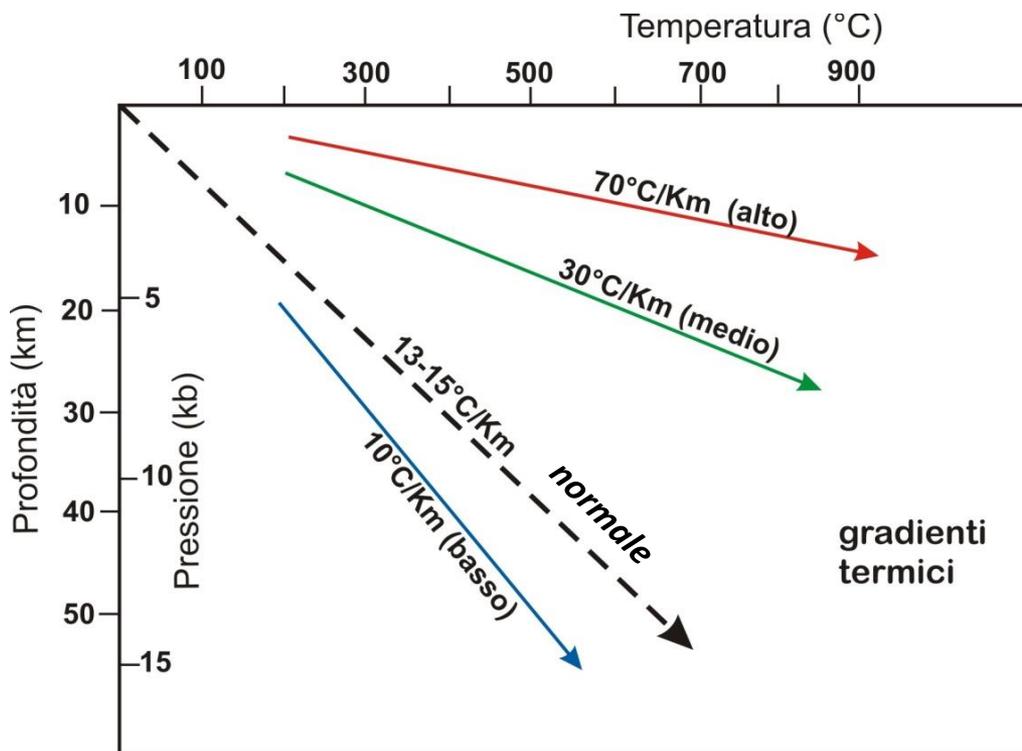


**DIVERSI TIPI DI METAMORFISMO**

a) Surface Heat Flow in  $W/m^2$



b) Tectonic Model

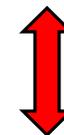


## METAMORFISMO – EVOLUZIONE CROSTALE

Correlazione tra:

- ▶ Regime di flusso termico
- ▶ Ambiente geodinamico
- ▶ Tipi di metamorfismo

Studio delle rocce metamorfiche



Ricostruzione dell'evoluzione dei settori crostali

**Anormalità termica** → collisione placche litosferiche + dorsali oceaniche

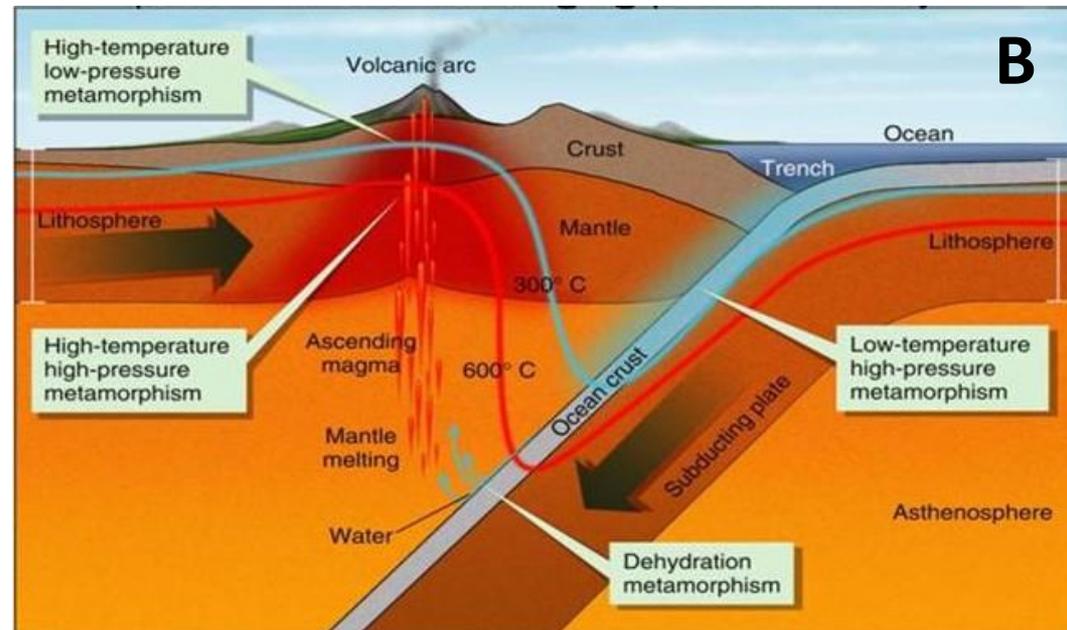
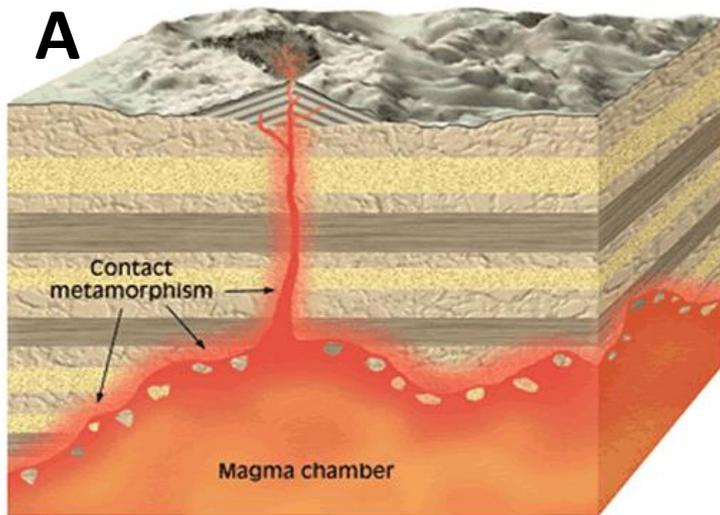
↓ ↓ ↓  
diminuzione/aumento dei gradienti geotermici

Meccanismi di propagazione calore → **conduzione**

→ **convezione (FLUIDI)**

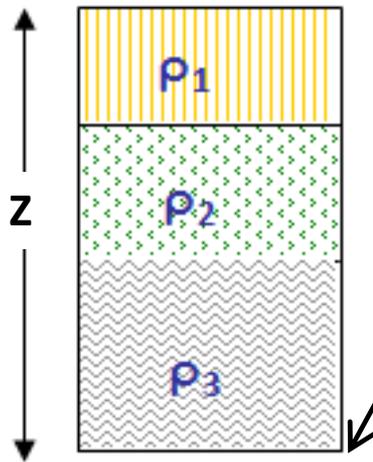
**(A) riscaldamento LOCALE** → intrusioni magmatiche: metamorfismo di “CONTATTO”

**(B) riscaldamento REGIONALE** → perturbazione a grande scala del regime termico: metamorfismo “REGIONALE”



## PRESSIONE

### Pressione litostatica o di carico (load pressure; $P_l$ )



$$P_l = \rho * g * Z$$

$\rho$  = densità litologie costituenti la colonna di carico  
 $g$  = accelerazione di gravità ( $9.822\text{m/s}^2$ )  
 $Z$  = altezza (=spessore) colonna

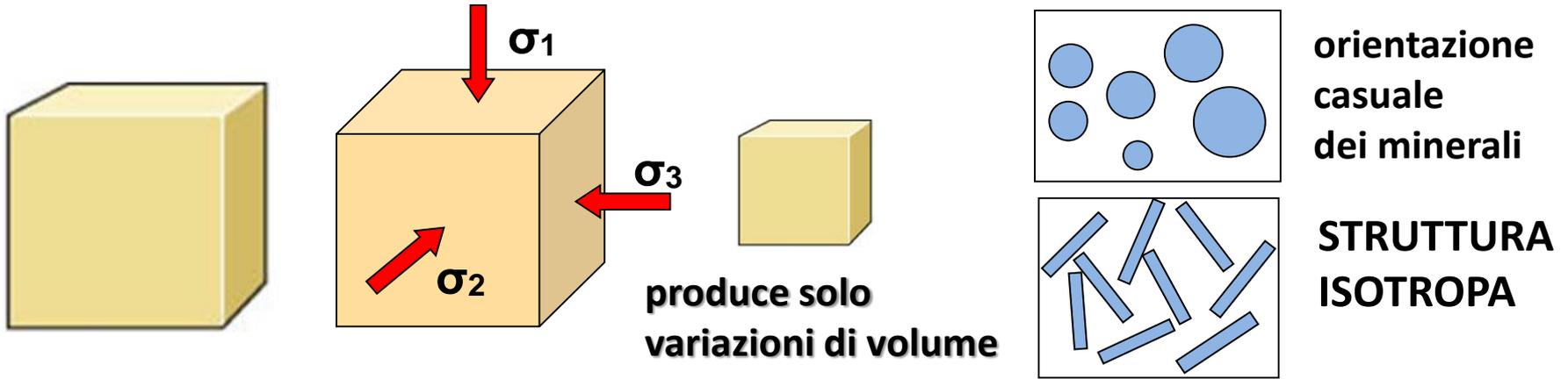
Gradiente di pressione (o barico) =  $\Delta P / \Delta Z$

**in crosta** = 0.27 kbar/km per =  $2.7\text{g/cm}^3$  rocce granitoidi  
= **aumento di 1kbar ogni 3.7km**

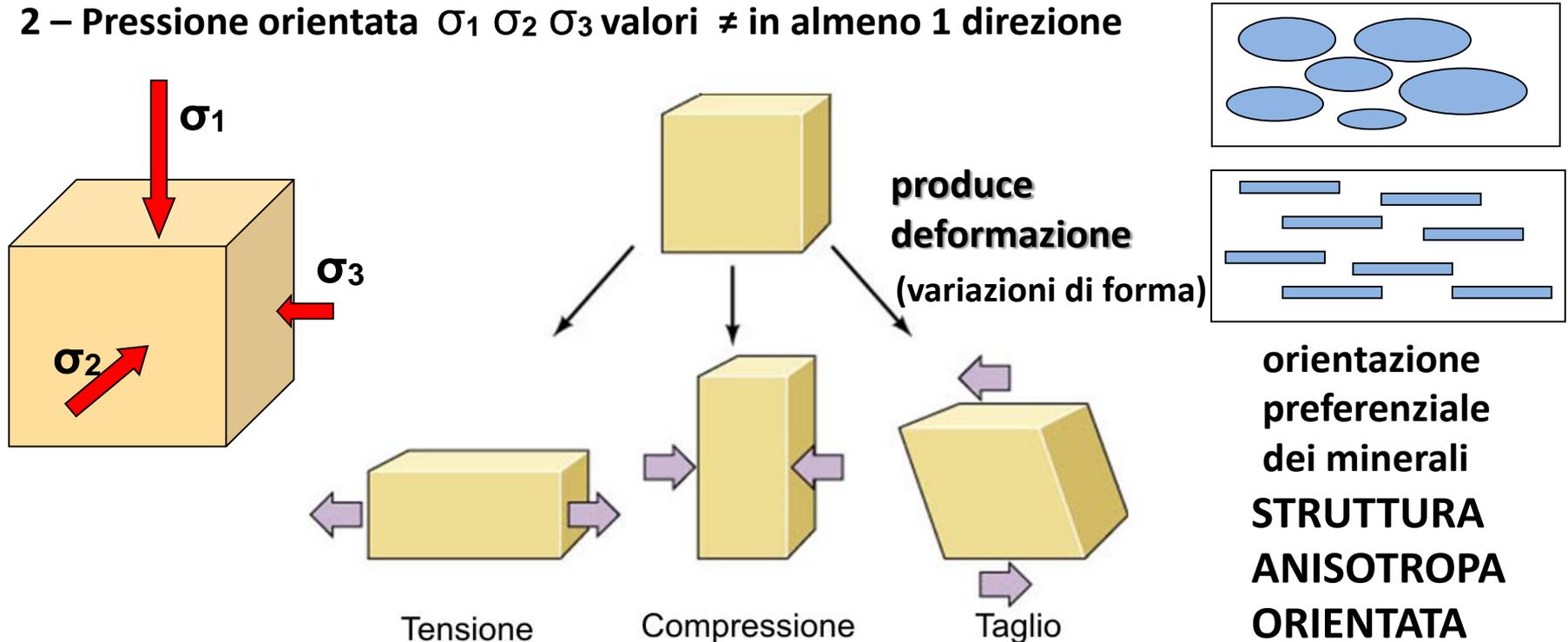
**nel mantello** = 0.33 kbar/km per =  $3.3\text{g/cm}^3$  rocce peridotitiche  
= **aumento di 1kbar ogni 3 km**

In funzione della situazione geologica cioè delle litologie presenti, i gradienti geobarici possono modificarsi. Es, in crosta superficiale con litologie sedimentarie ( $=1.7\text{ g/cm}^3$ ) o in crosta profonda con rocce basiche ( $= 3.0\text{ g/cm}^3$ )

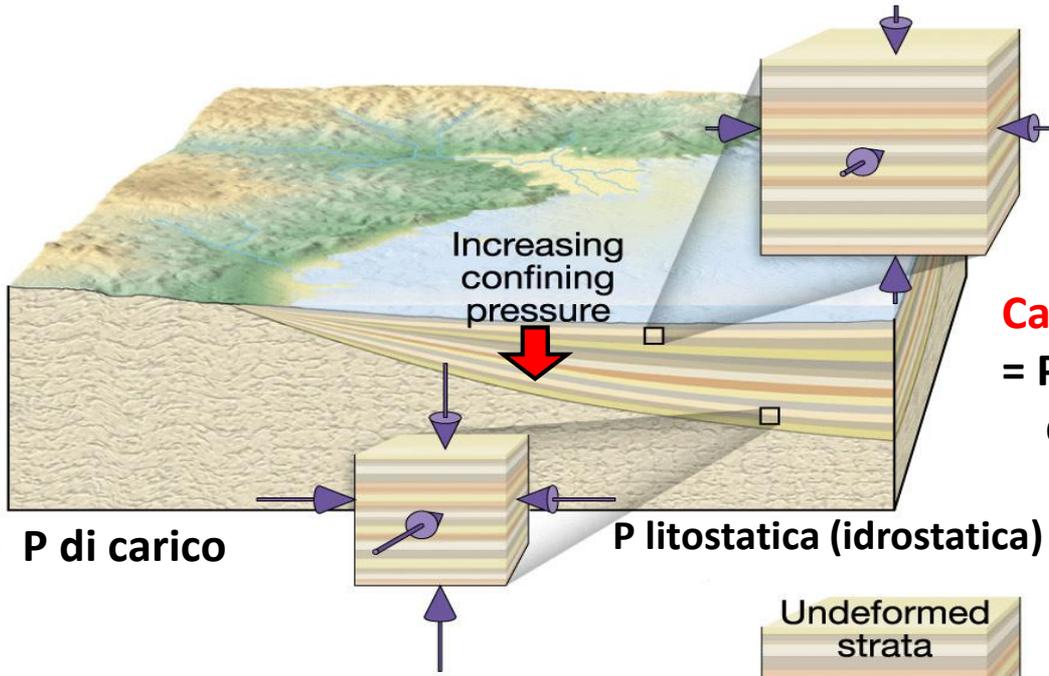
**1 – Pressione litostatica di tipo idrostatico (valori = in tutte le direzioni  $\sigma_1 = \sigma_2 = \sigma_3$ )**



**2 – Pressione orientata  $\sigma_1 \sigma_2 \sigma_3$  valori  $\neq$  in almeno 1 direzione**



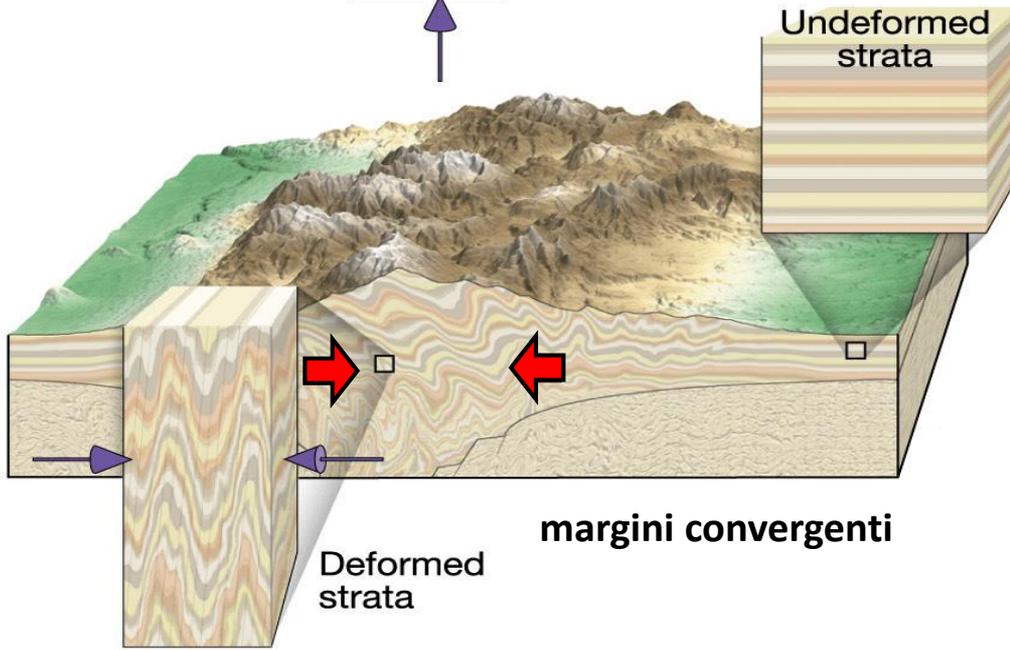
**A**



P aumenta con la profondità

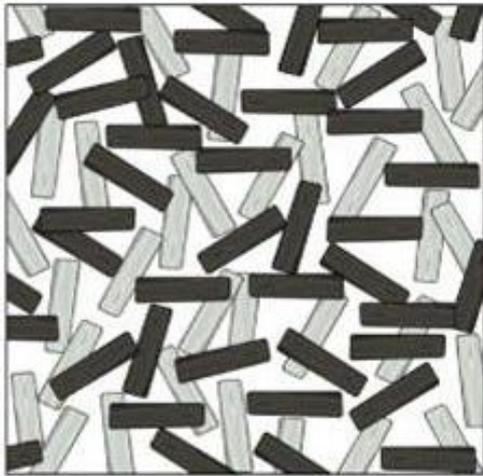
**Caso A** : P uguale in tutte le direzioni  
= P di carico o litostatica, idrostatica o di confinamento

**B**



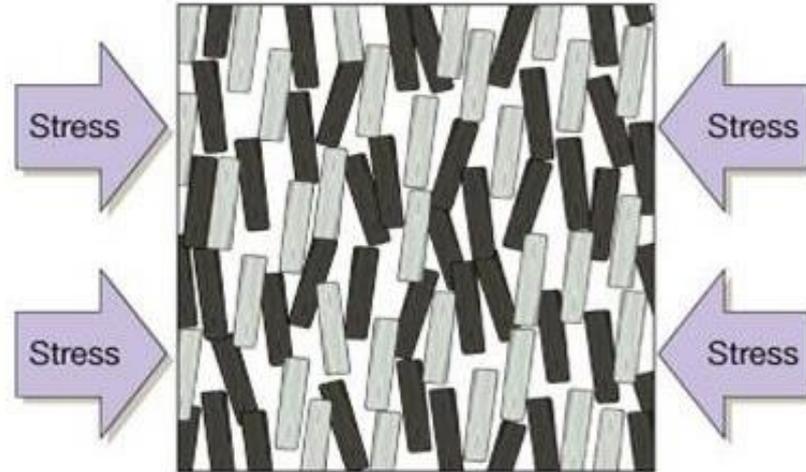
**Caso B** : P differenziale nelle diverse direzioni = P orientata (differential stress)

P orientata



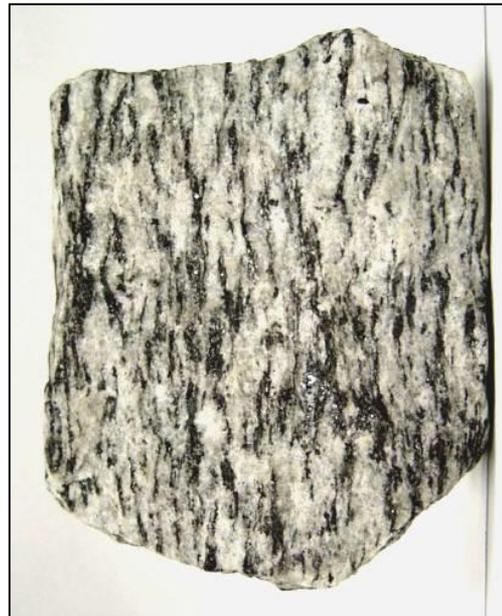
Before metamorphism

**Struttura isotropa**



After metamorphism

**Struttura orientata**





## COMPOSIZIONE DI ALCUNI PROTOLITI

**Table 2.3** Chemical compositions (wt %) of sedimentary and igneous rocks. (Carmichael 1989)

	SEDIMENTARIE				MAGMATICHE		
	Sand-stones, grey wackes	Shales (platforms)	Pelites, pelagic clays	Carbonates (platforms)	Tonalite	Granite	Basalt MORB
SiO <sub>2</sub>	70.0	50.7	54.9	8.2	61.52	70.11	49.2
TiO <sub>2</sub>	0.58	0.78	0.78	–	0.73	0.42	2.03
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	8.2	15.1	16.6	2.2	16.48	14.11	16.09
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.5	4.4	7.7	1.0	–	1.14	2.72
FeO	1.5	2.1	2.0	0.68	5.6	2.62	7.77
MgO	0.9	3.3	3.4	7.7	2.8	0.24	6.44
CaO	4.3	7.2	0.72	40.5	5.42	1.66	10.46
Na <sub>2</sub> O	0.58	0.8	1.3	–	3.63	3.03	3.01
K <sub>2</sub> O	2.1	3.5	2.7	–	2.1	6.02	0.14
H <sub>2</sub> O	3.0	5.0	9.2	–	1.2	0.23	0.70
CO <sub>2</sub>	3.9	6.1	–	35.5	0.1		
C	0.26	0.67	–	0.23			

**ARENARIE**
**ARGILLOSE-PELITICHE**
**CARBONATICHE**

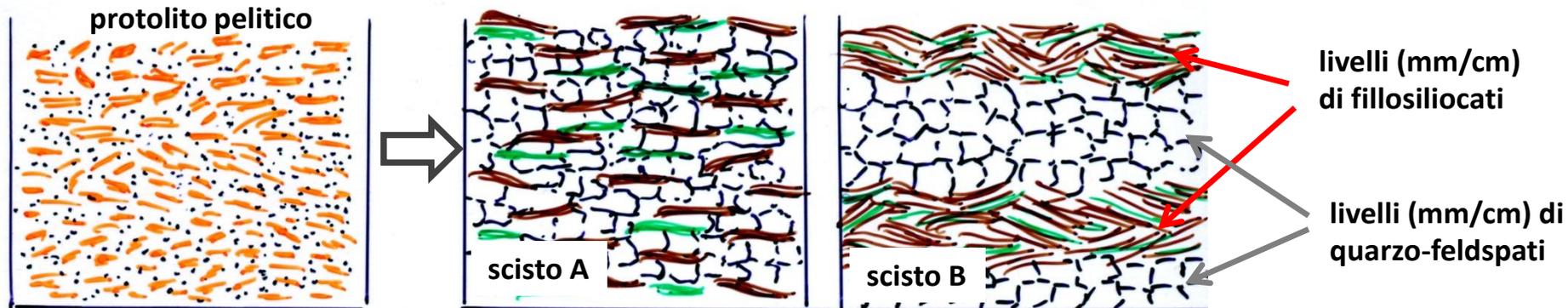
## **MOBILITA' PARZIALE A PICCOLA SCALA (cm) dei componenti chimici NON VOLATILI**

**→** MIGRAZIONE e RIDISTRIBUZIONE dei COMPONENTI CHIMICI ALL'INTERNO DEL SISTEMA RISPETTO AL PROTOLITO

### **DIFFERENZIAZIONE METAMORFICA**

comparsa di volumi arricchiti o impoveriti in alcune specie mineralogiche (es: microlivelli, a scala cm, arricchiti in quarzo + feldspati e microlivelli arricchiti in miche ; caso molto frequente in filladi, scisti, gneiss, anfiboliti...)

**TUTTAVIA** se si considerano volumi più ampi, ovvero a più grande scala (affioramento), la natura chimica del PROTOLITO è **CONSERVATA**



**CASI "SPECIALI" : MOBILITA' DELLE SPECIE CHIMICHE NON VOLATILI A GRANDE SCALA**

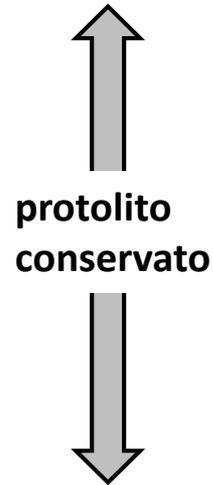
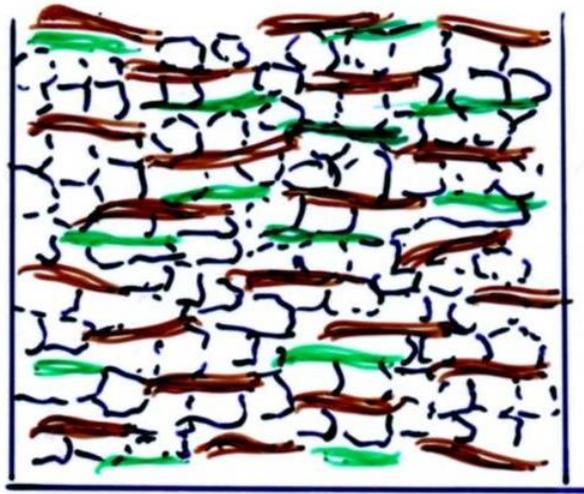
**→ SISTEMA CHIMICO "APERTO"**

**METAMORFISMO ALLOCHIMICO  
o METASOMATISMO METAMORFICO**

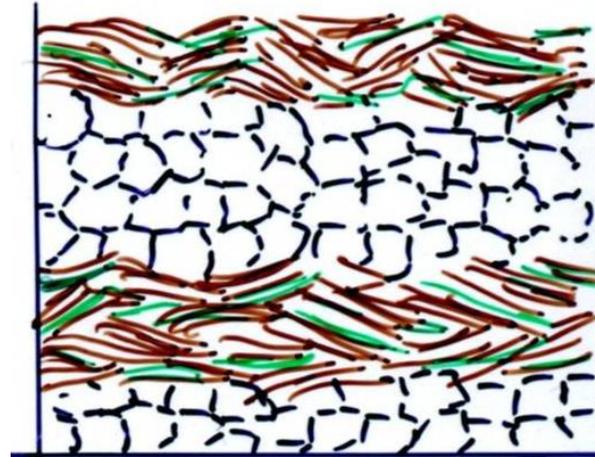
**Es: aureole metamorfiche-  
metamorfismo di contatto**

# DIFFERENZIATIONE METAMORFICA

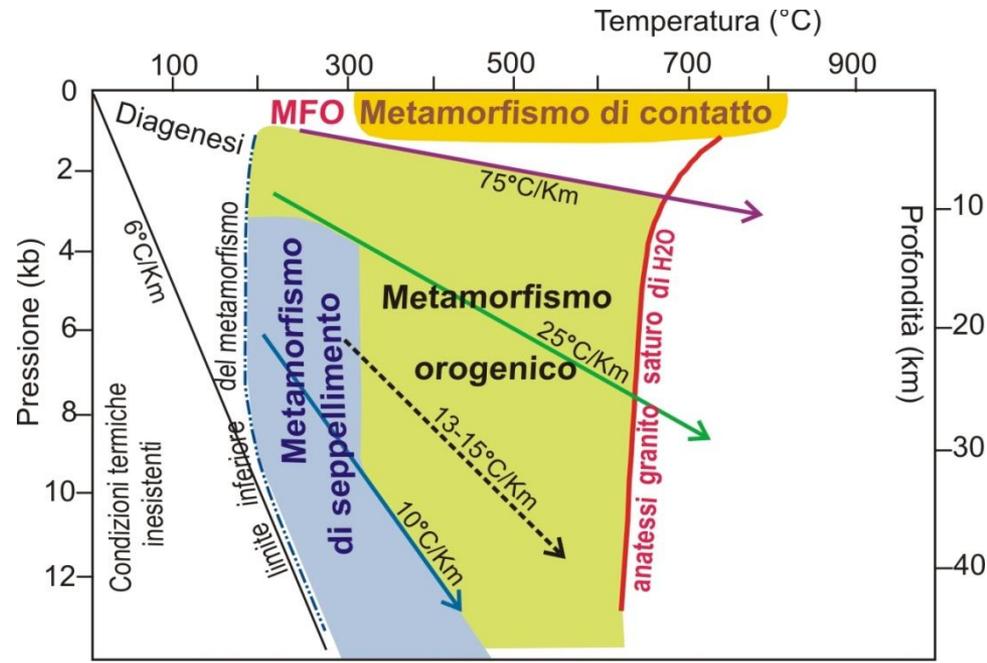
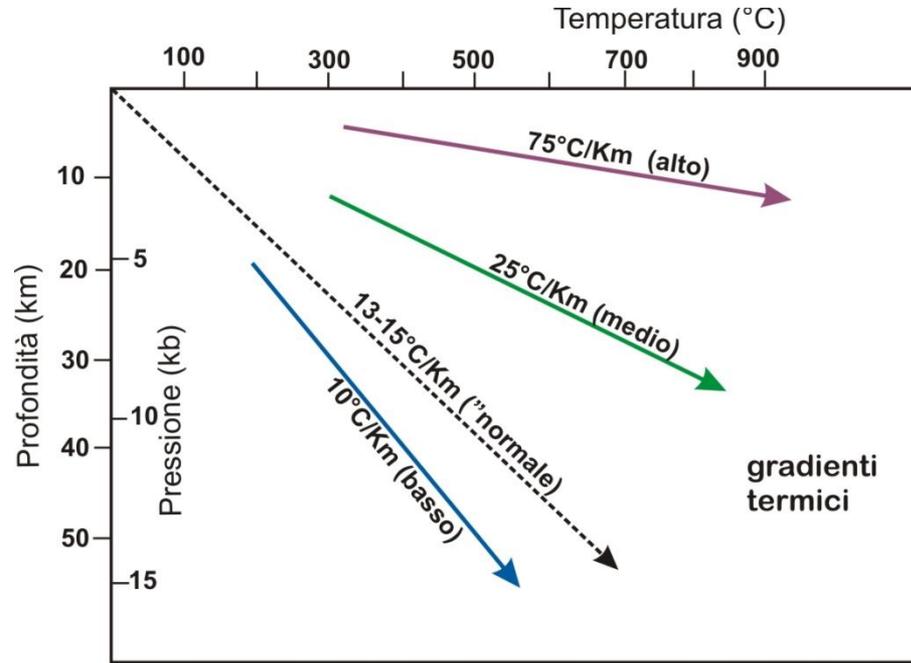
Distribuzione omogenea dei componenti chimici e quindi delle fasi mineralogiche (caso A)



Mobilizzazione a piccola scala con produzione di banding composizionale e mineralogico : microlivelli arricchiti in fasi diverse(caso B)



# GRADIENTI TERMICI – TIPI DI METAMORFISMO



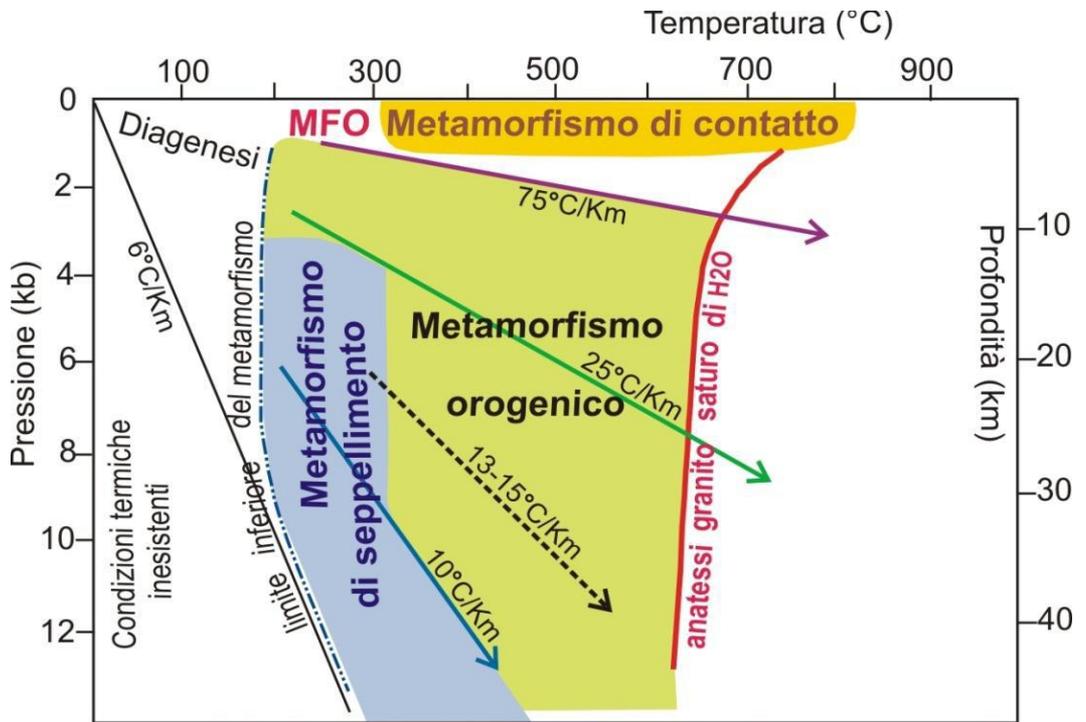
- ➔ **Gradiente termico "normale"**  
 (≡ 1 HFU =  $1 \cdot 10^{-6} \text{ cal cm}^{-2} \text{ sec}^{-1}$ )
- ➔ **Gradiente termico intermedio**
- ➔ **Gradiente termico alto**
- ➔ **Gradiente termico basso**

- MFO **Metamorfismo di Fondo Oceanico**
  - Met. Orogenico**
  - Met. Seppellimento & Subduzione**
  - Met. Contatto**
- } **estensione regionale**  
 } **estensione locale**

## TIPI DI METAMORFISMO

Estensione geologica

COLLOCAZIONE GEOLOGICA

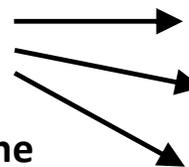


**METAMORFISMO A  
SCALA LOCALE**  
qualche km di estensione



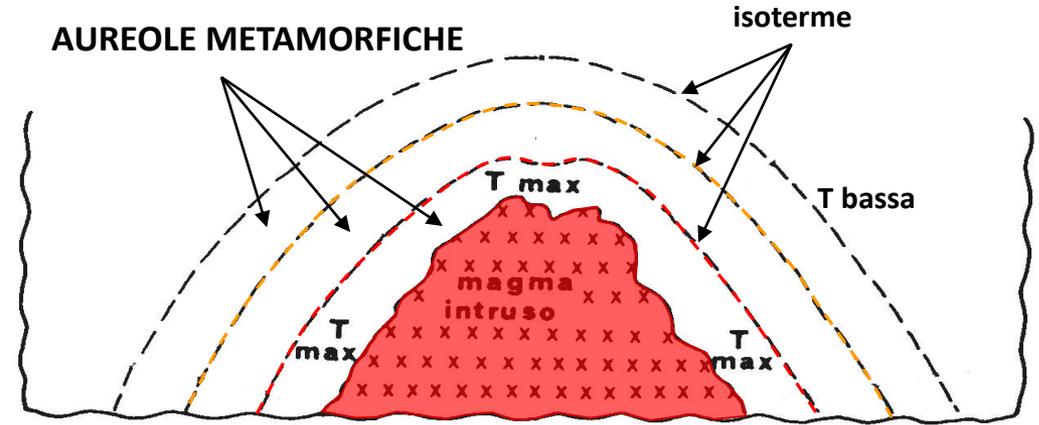
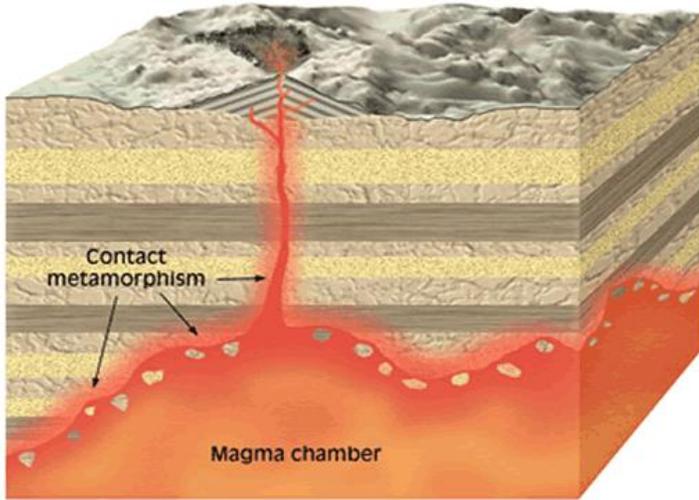
**CONTATTO o TERMOMETAMORFISMO  
di CATACLASI**

**METAMORFISMO A  
SCALA REGIONALE**  
migliaia km<sup>2</sup> di estensione



**OROGENICO o di COLLISIONE  
SEPPELLIMENTO/SUBDUZIONE  
di **FONDO OCEANICO (MFO)****

# METAMORFISMO A SCALA "LOCALE" : DI CONTATTO (o TERMOMETAMORFISMO)



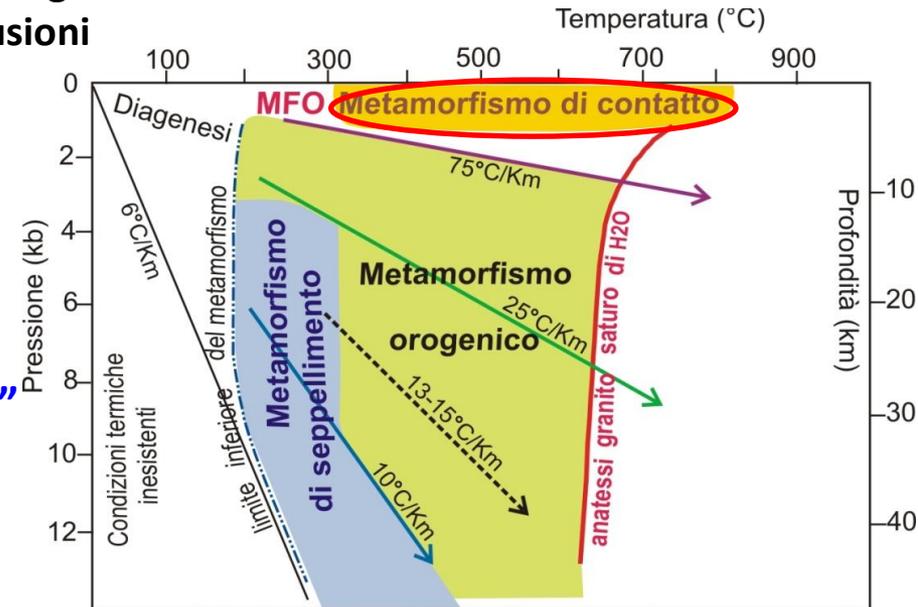
► riscaldamento delle rocce incassanti da parte di intrusioni magmatiche a bassa profondità (5 - max 10km; P max  $\approx$  3kbar) – produzione di **AUREOLE METAMORFICHE**

► Ampio range di T, in f.ne della vicinanza alla massa magmatica  $\approx$  600°C vicino a intrusioni acide ;  $\approx$  800°C vicino a intrusioni basiche

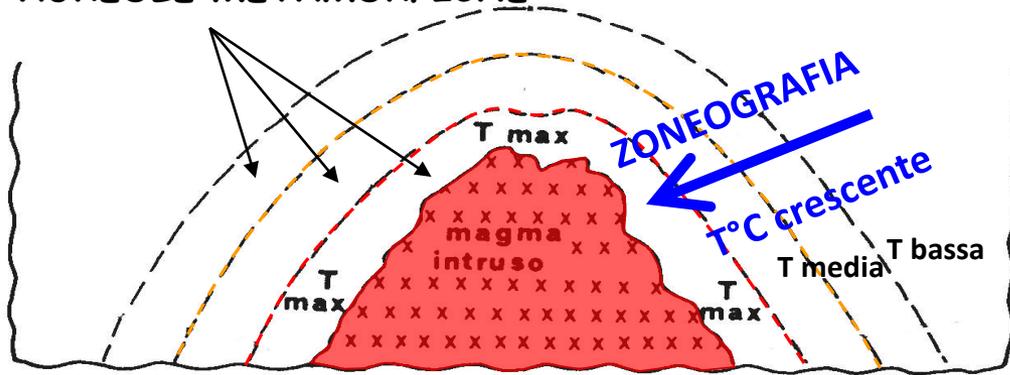
► METAMORFISMO **TERMICO** – **STATICO**  
di ALTO/ALTISSIMO GRADIENTE TERMICO (>70-75°C/km)

SI' CAMBIAMENTO MINERALOGICO  
 $\pm$  spinto in f.ne di T  $\rightarrow$  "ZONE METAMORFICHE"

**NO PRESSIONI ORIENTATE**  
 $\rightarrow$  **STRUTTURE MASSIVE**



## AUREOLE METAMORFICHE



Avvicinandosi alla massa magmatica si distinguono delle fasce con associazioni mineralogiche di T crescente e ricostruzione strutturale crescente

↓  
**ZONEOGRAFIA**

L'estensione delle aureole (da pochi metri a qualche km) e il cambiamento mineralogico e strutturale **DIPENDE** da:

**Caratteristiche  
intrusione ignea**

+

**Caratteristiche  
rocce incassanti**

+

*Profondità intrusione  
Modalità trasporto  
calore (conduzione,  
convezione)*

Massa, Temperatura,  
chimismo,  
contenuto in volatili

Chimismo,  
porosità/permeabilità

NB: attorno alle intrusioni acide (plutoni granitoidi) le aureole sono + estese rispetto a quelle basiche (gabbri) – contraddizione rispetto alla T (masse acide T 700-750°C; basiche 1000-1200°C) !!!!!

**? Effetto dei FLUIDI e trasporto di calore ad opera dei fluidi – le masse acide sono + ricche in FLUIDI !!!**

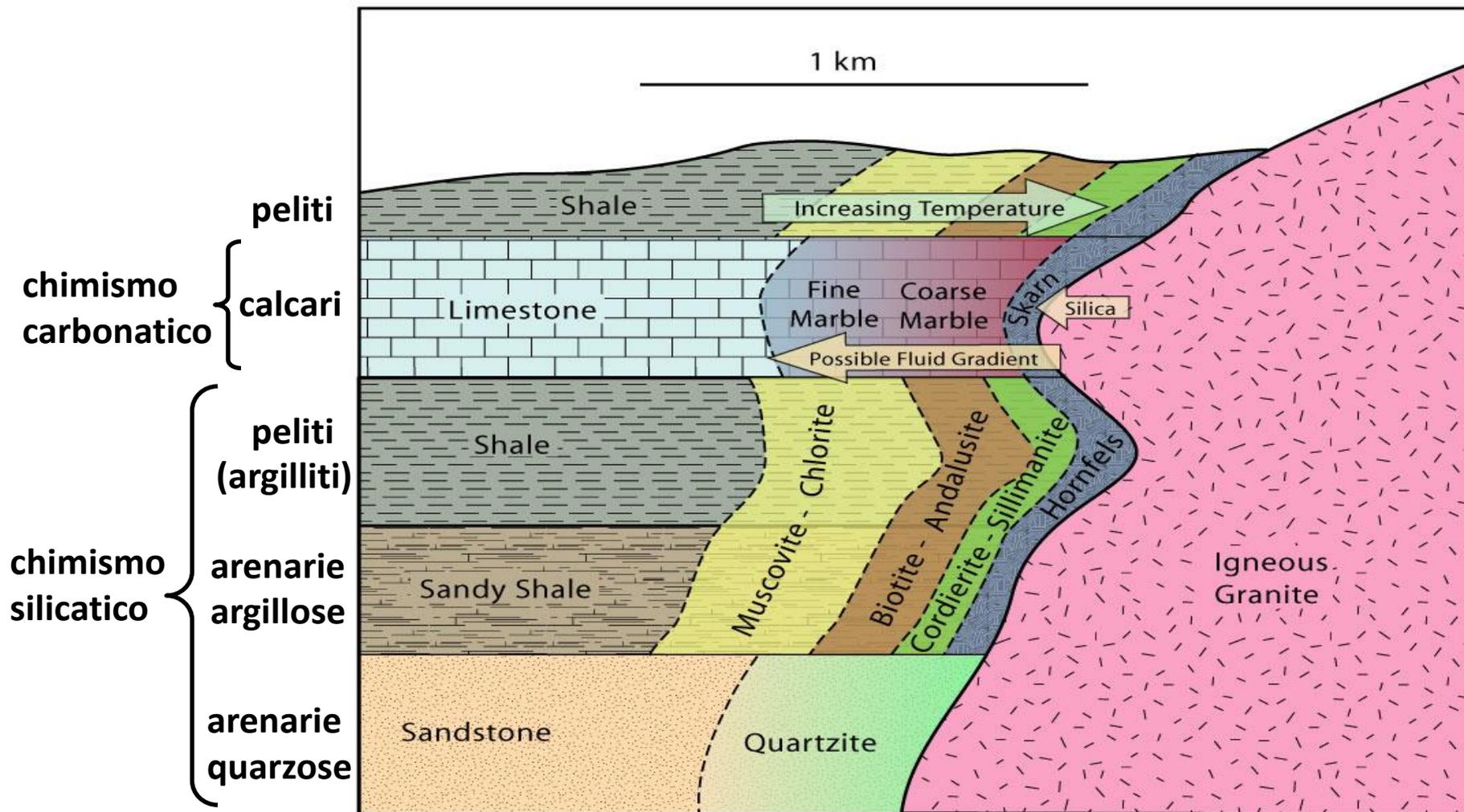
I FLUIDI : calore + componenti chimici derivanti dalla massa magmatica → rocce incassanti con composizioni

→ **CASO DI SISTEMA CHIMICO APERTO** → **METASOMATISMO METAMORFICO**

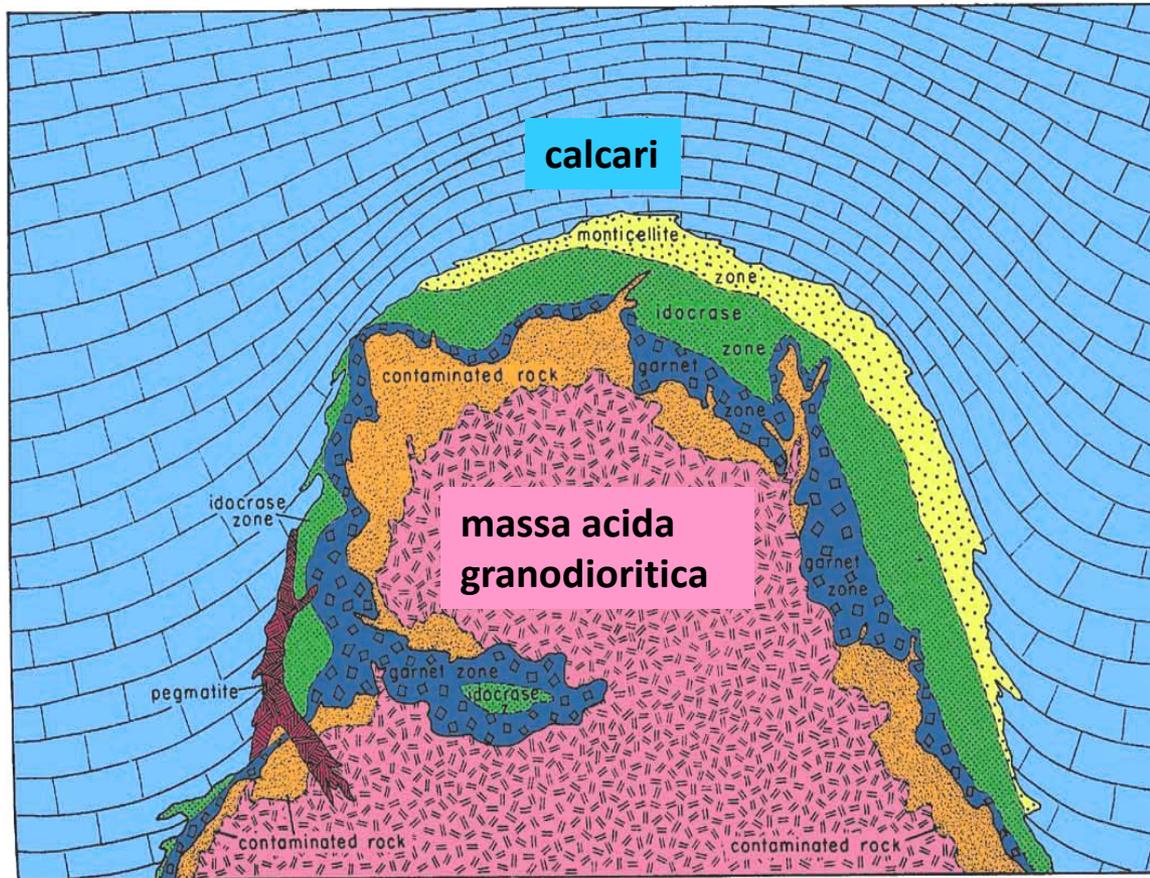
“INQUINATE”

# effetti del metamorfismo di contatto su incassanti di composizione diversa e nomi delle risultanti rocce metamorfiche

Zoneografia = zone metamorfiche = zone definite dalla comparsa di specifici minerali o specifiche associazioni di minerali in f.ne della T (quindi vicinanza alla massa magmatica)



**Aureole metamorfiche prodotte da intrusione acida su incassante calcareo:  
 esempio di zoneografia Sono riportati i minerali SILICATICI (tutti di Ca !! effetto incassante)  
 che caratterizzano le diverse "zone"**



**ZONEOGRAFIA**

**CALCITE  $\text{CaCO}_3$**

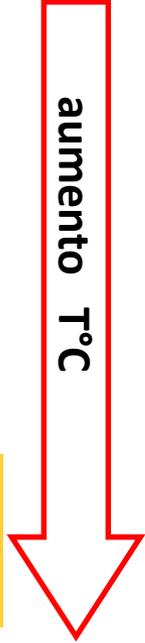
**+**

**monticellite**

**idocrasio  
(vesuviana)**

**Ca-granato  
grossularia**

**SKARN  
roccia  
contaminata**



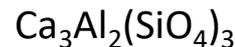
Monticellite



Vesuviana (Idocrasio)



Grossularia



## Termini GENERALI usati per le metamorfite di contatto

**CONTATTITE** : metamorfite di contatto di qualsiasi composizione

**FELS (GRANOFELS)** : metamorfite isotropa, priva di qualsiasi anisotropia strutturale

NB : il termine **FELS** è usato in generale per tutte quelle rocce metamorfiche a struttura isotropa, indipendentemente dal tipo di metamorfismo !!!!

### Termini specifici In funzione della diversa composizione:

**CORNUBIANITE (HORNFELS)** : metamorfite di composizione silicatica (solo a silicati)

**CALCEFIRO** : metamorfite di composizione mista carbonatica-silicatica  
minerali: carbonati (>> calcite) + Ca-silicati

**MARMO** : metamorfite di contatto di composizione carbonatica  
minerali : calcite ( $\pm$ dolomite) >95%

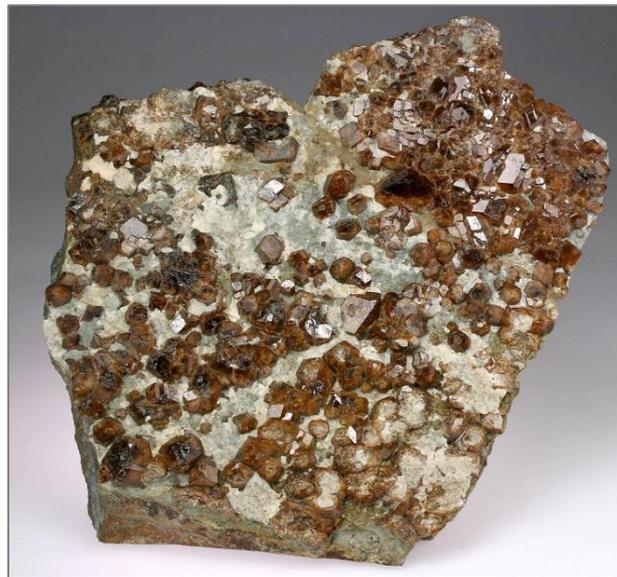
**SKARN** : metamorfite carbonatiche (calcari o dolomie) ricche di Ca-Mg-Fe-silicati  
+ Cu-solfuri + Magnetite (spesso in depositi economicamente utili)  
prodotte per metasomatismo da fluidi di provenienza magmatica  
ROCCE CARBONATICHE TERMOMETAMORFICHE METASOMATICHE



Cornubianite (aureole di contatto dell'Adamello; zona di alta T)



Marmo di metamorfismo di contatto



Cristalli di Ca-granato in calcefiro (aureole di contatto dell'Adamello)

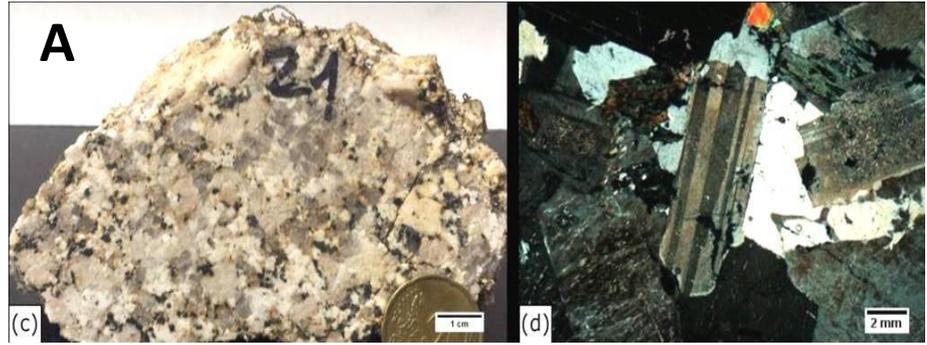
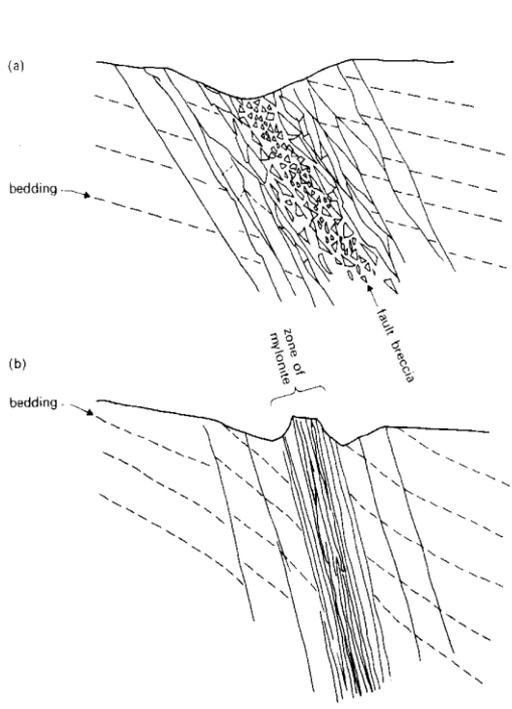
# METAMORFISMO A SCALA "LOCALE" : DI CATACLASI o DISLOCAZIONE

- lungo le faglie, fasce di sovrascorrimento, limiti di falde tettoniche
- frantumazione meccanica con variabili gradi di distruzione della originaria struttura della roccia

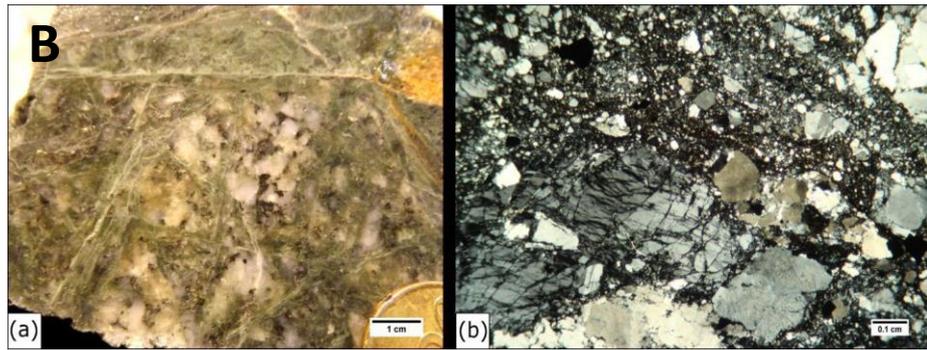


Brecce di faglia → cataclasiti → pseudotachiliti tachiliti → miloniti → ultramiloniti blastomiloniti

↓  
diminuzione di grana // deformazione da fragile a duttile // ricristallizzazione ± spinta



A : granito macro e al microscopio, con tessitura magmatica ipidiomorfa (plutone di Valle Mosso, Sudalpino occidentale)

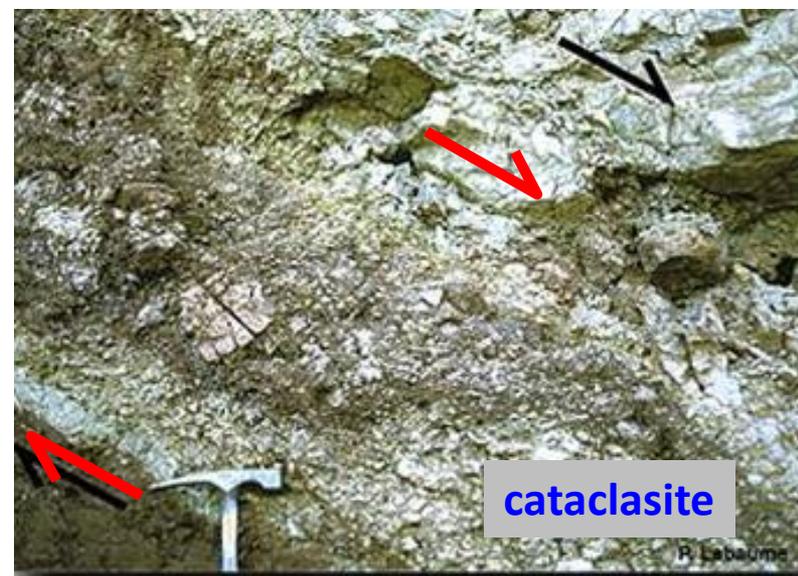


B : stesso granito campionato lungo una faglia (Cremosina Line), con tessitura cataclastica/milonitica (frammenti di cristalli e matrice a grana fine)



**breccia di faglia**

In zone superficiali di faglia (<10-15km):  
comportamento fragile delle rocce

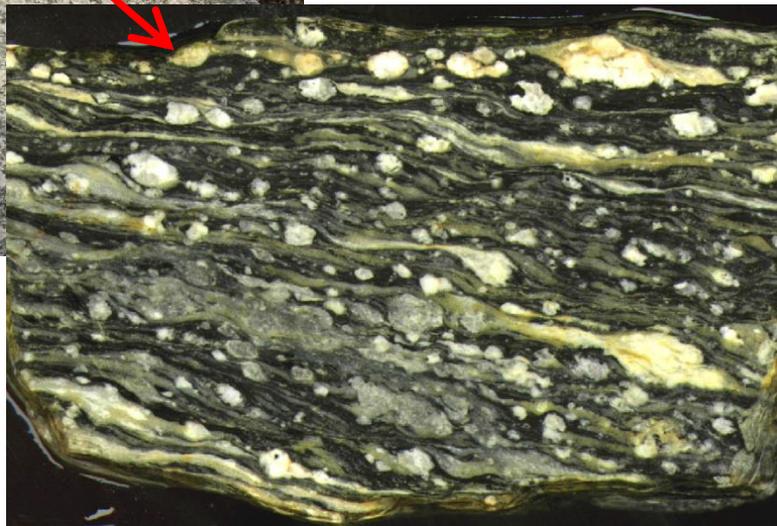


**cataclasite**

P. Labaume



**milonite**



**tachilite**

con presenza di vetro prodotto dal calore di frizione



**milonite**

In zone profonde di faglia (>10-15km): comportamento plastico, struttura orientata

# METAMORFISMO REGIONALE : OROGENICO

## o di COLLISIONE (o DINAMO-TERMICO)

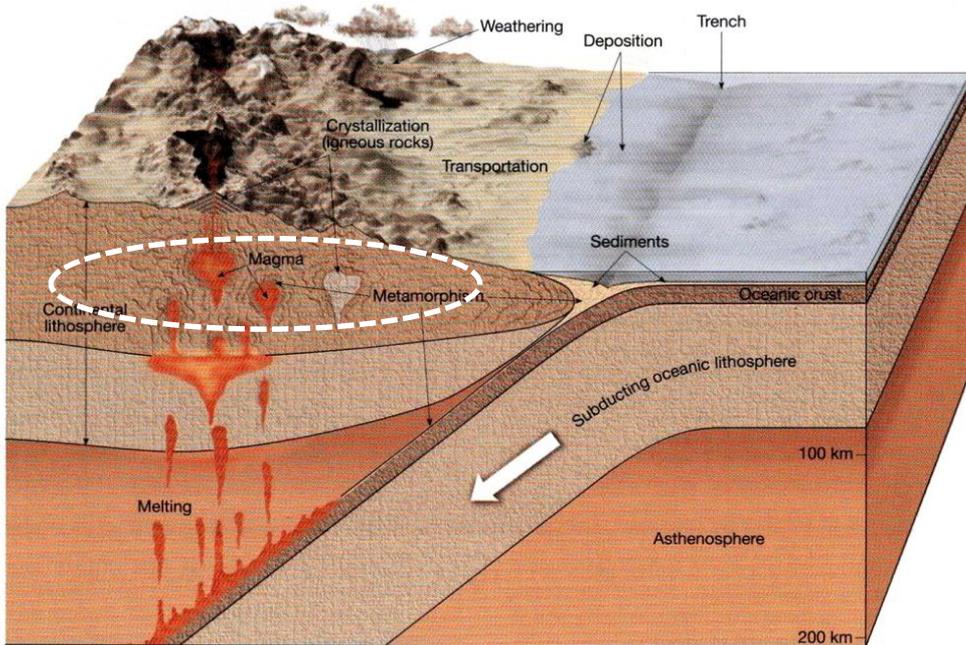
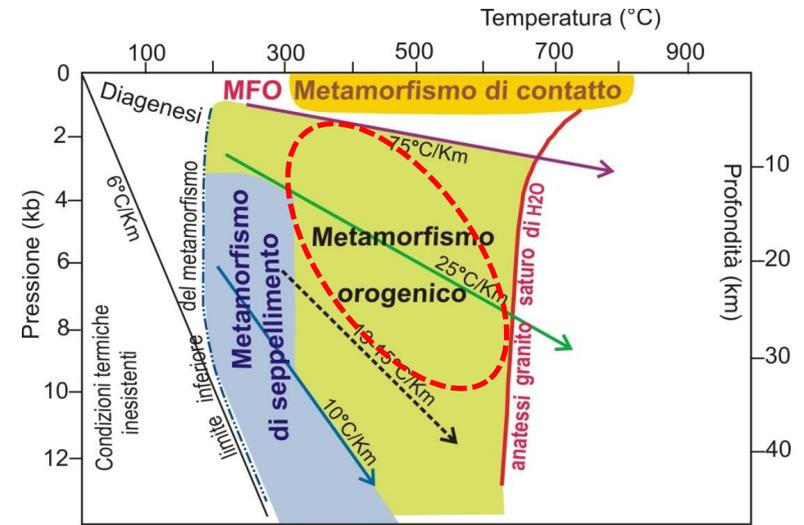
- ▶ Relazionato alle cinture orogeniche
- ▶ Coinvolge migliaia di km<sup>2</sup> di estensione

2 parametri :

**TEMPERATURA : gradienti termici  
MEDI 15-40°C/km e ALTI 40-70°C/km  
PRESSIONE ORIENTATA**

Cambiamenti mineralogici in f.ne del gradiente termico

Cambiamenti strutturali → strutture ANISOTROPE → rocce con STRUTTURE ORIENTATE



## COLLOCAZIONE GEODINAMICA

Zona di collisione tra le  
placca oceanica-continentale



Sede di magmatismo



flusso termico "anormale"



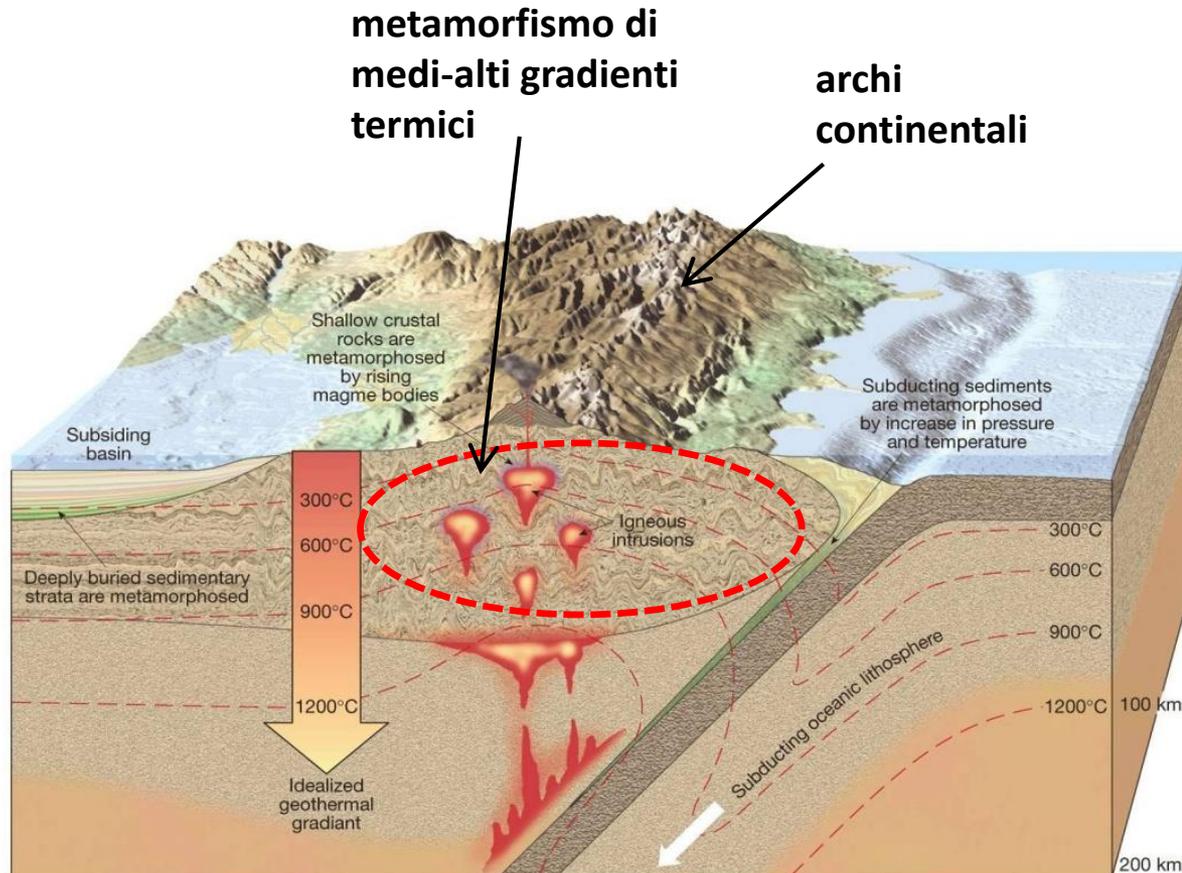
gradienti geotermici  
superiori al normale

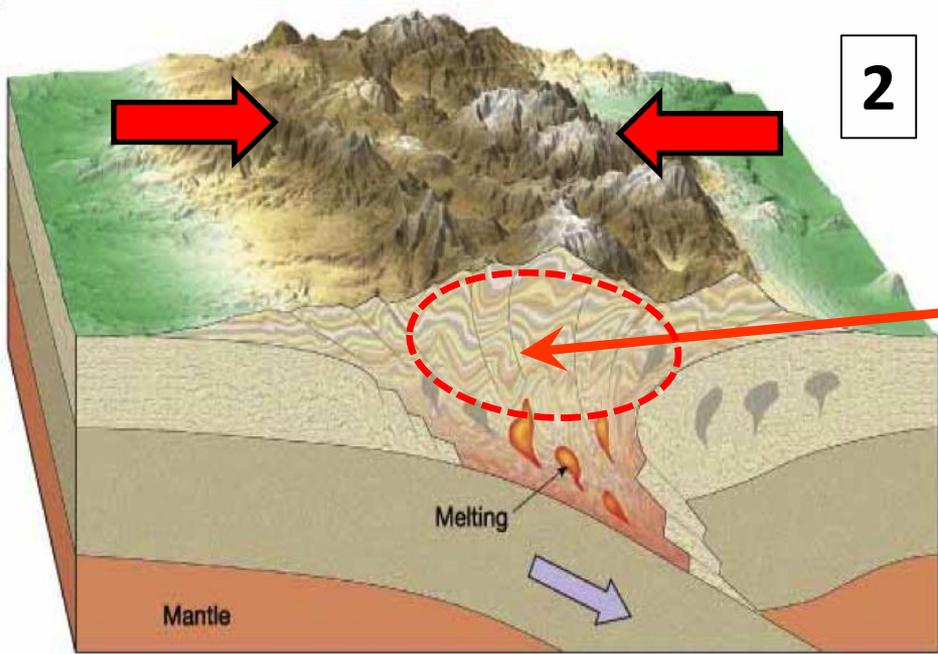
# METAMORFISMO REGIONALE : OROGENICO o di COLLISIONE (DINAMO-TERMICO)

- ❑ collisione placca oceanica - placca continentale
- ❑ esempi: cordigliera Nord Americana e Andina

1

- ❑ lungo il margine della placca continentale, metamorfismo di gradiente termico medio-alto relazionato alle zone di magmatismo BASICO prevalentemente andesitico; presenza nella crosta continentale anche di magmatismo GRANITICO



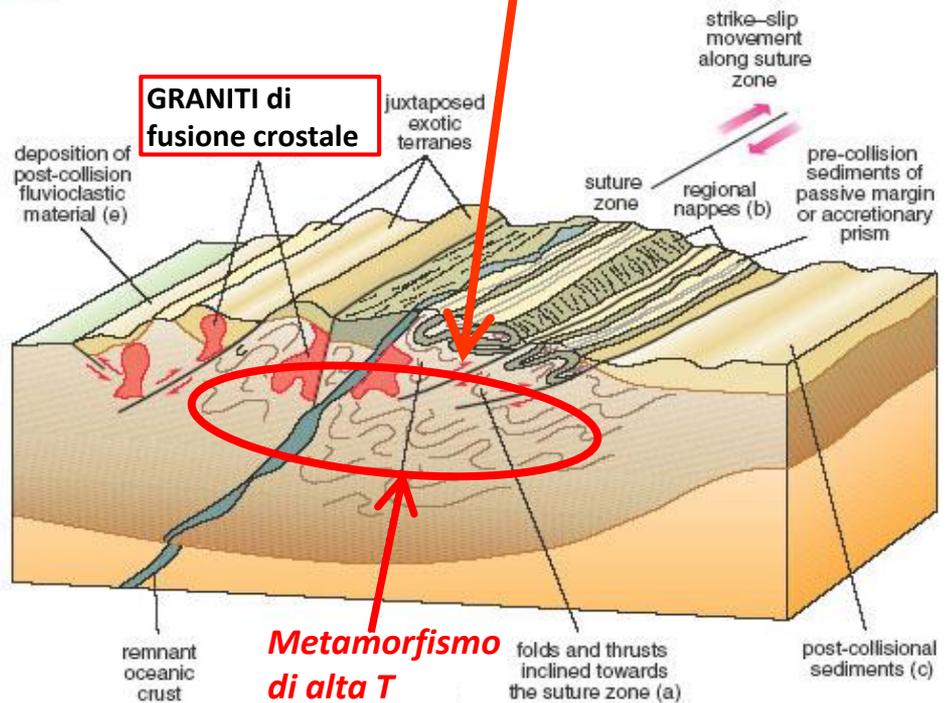


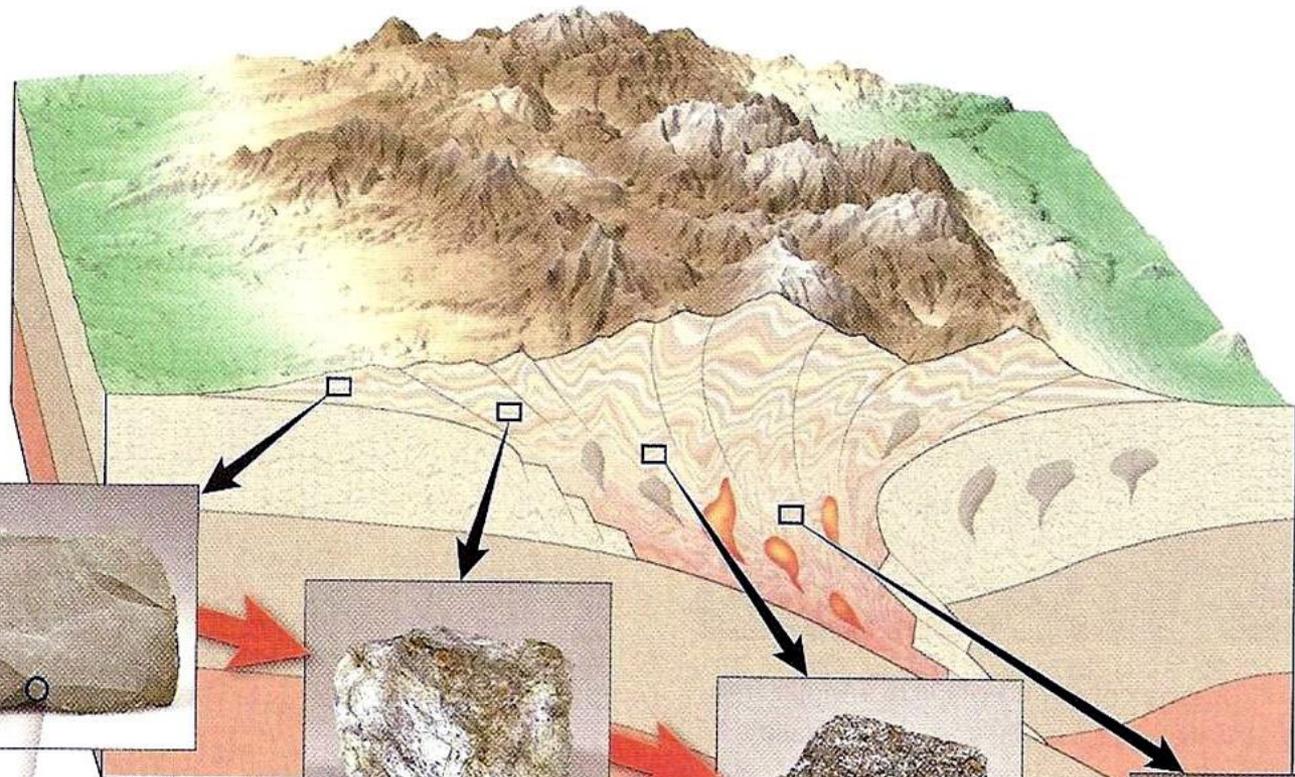
2



## METAMORFISMO REGIONALE OROGENICO (o di COLLISIONE)

- ❑ collisione placca continentale-placca continentale (es: Alpi, Himalaya)
- ❑ gradienti termici da medio ad alti, fino ad anatessi + P orientata
- ❑ sede SOLO di magmatismo GRANITICO





ARDESIA

FILLADE

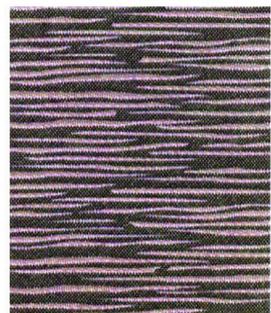
SCISTO

GNEISS

**METAMORFISMO  
REGIONALE DI COLLISIONE  
STRUTTURE ORIENTATE**

roccia di partenza  
pelitica- ARGILLITE

INTENSITA' CRESCENTE DEL METAMORFISMO ( T°C)  
GRADO METAMORFICO



stratificazione

FILLADE



Scistosità  
a scala mm

SCISTO



Scistosità  
a scala cm

GNEISS



Scistosità  
a scala > cm

SCISTOSITA' (= tipo di foliazione cioè di anisotropia planare) prodotta dall'orientazione dei FILLOSILICATI detti anche minerali SCISTOGENI



**Termini di base strutturali :**

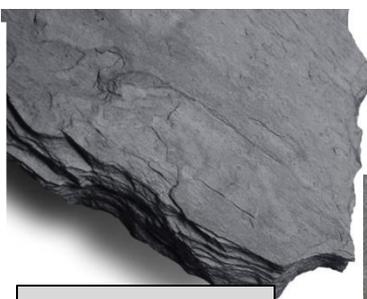
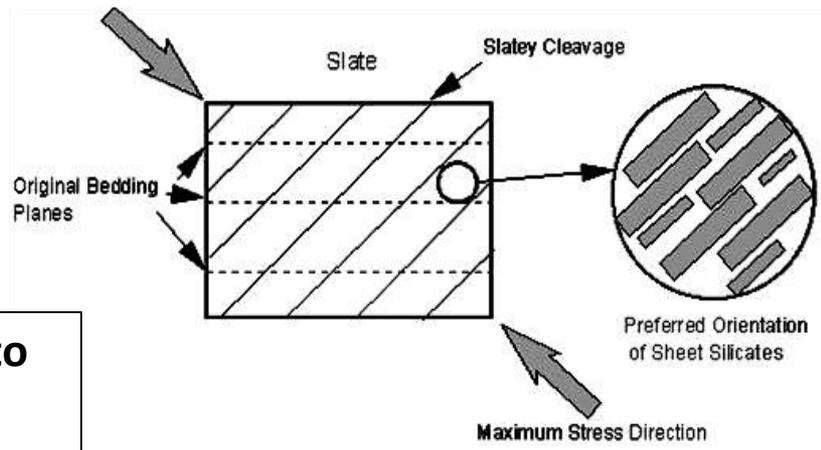
**META-** : prefisso associato ad una r. magmatica/sedimentaria indicante la trasformazione in r. metamorfica

**FILLADE** : r. pelitica/argillosa a grana finissima con PIANI DI SCISTOSITA' a scala mm. (**FISSILITA'**) ad andamento piano/ondulato/pieghettato

**SCISTO** : r. metamorfica con PIANI DI SCISTOSITA' che si sviluppano a scala cm

**GNEISS** : r. quarzosa-feldspatica (scarse miche) a grana medio/grossa e SCISTOSITA' poco marcata discontinua o non ben definita (**GNEISSOSITA'**) che si sviluppa a scala > cm

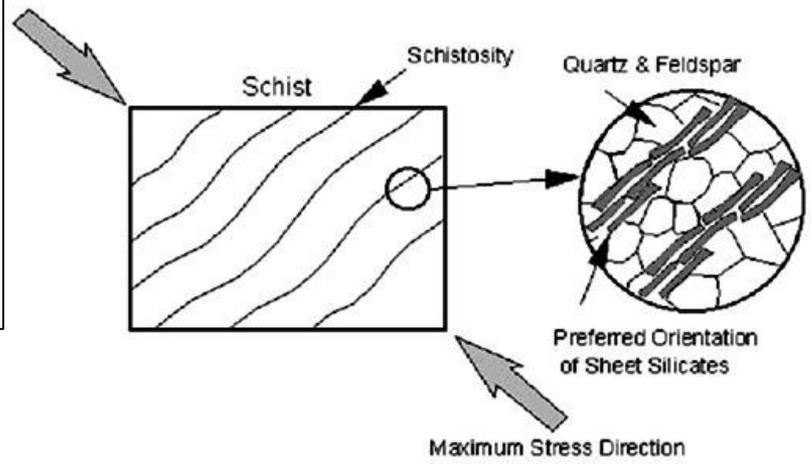
**Cambiamento  
dei caratteri  
strutturali  
all'aumentare  
del grado  
metamorfico,  
cioè della  
TEMPERATURA**



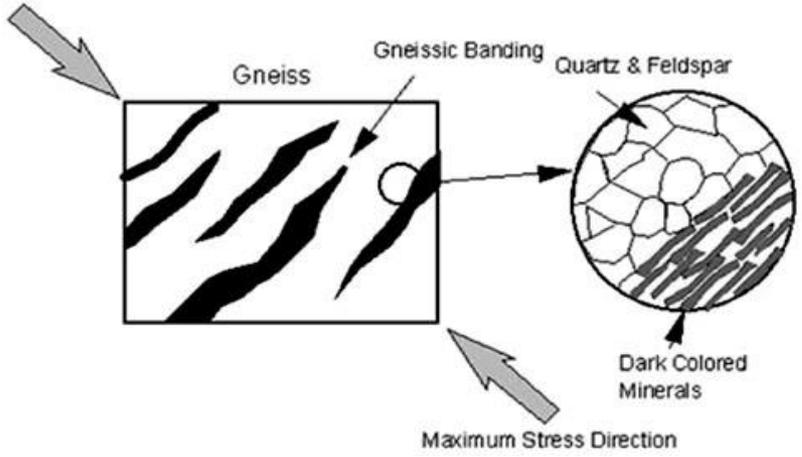
**argilloscisto  
(ardesia)**



**fillade**



**scisto**

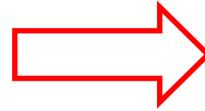


**gneiss**



## ARGILLITE (roccia pelitica) PROTOLITO

Roccia sedimentaria detritica (o clastica) formata per diagenesi di sedimenti argillosi



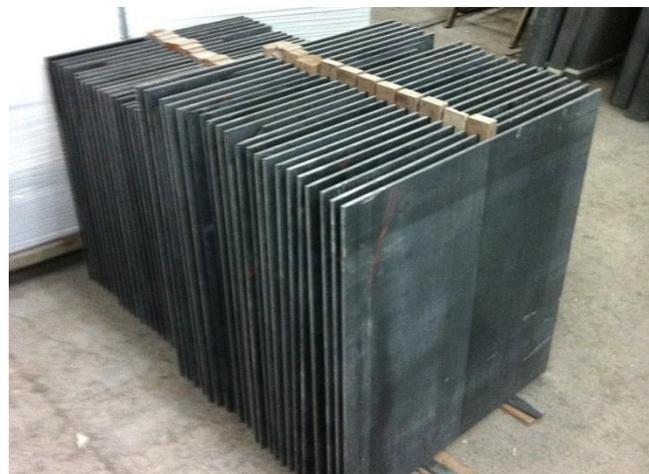
## ARGILLOSCISTO o ARDESIA

prodotto semi-metamorfico da argilliti. grana finissima, costituita da minerali argillosi con subordinato quarzo, miche e feldspati, spesso con sostanze carboniose che danno alla roccia il colore grigio-nerastro. Metamorfismo regionale di bassissimo grado ( $T \approx 250^{\circ}\text{C}$ )



# ARGILLOSCISTO o ARDESIA

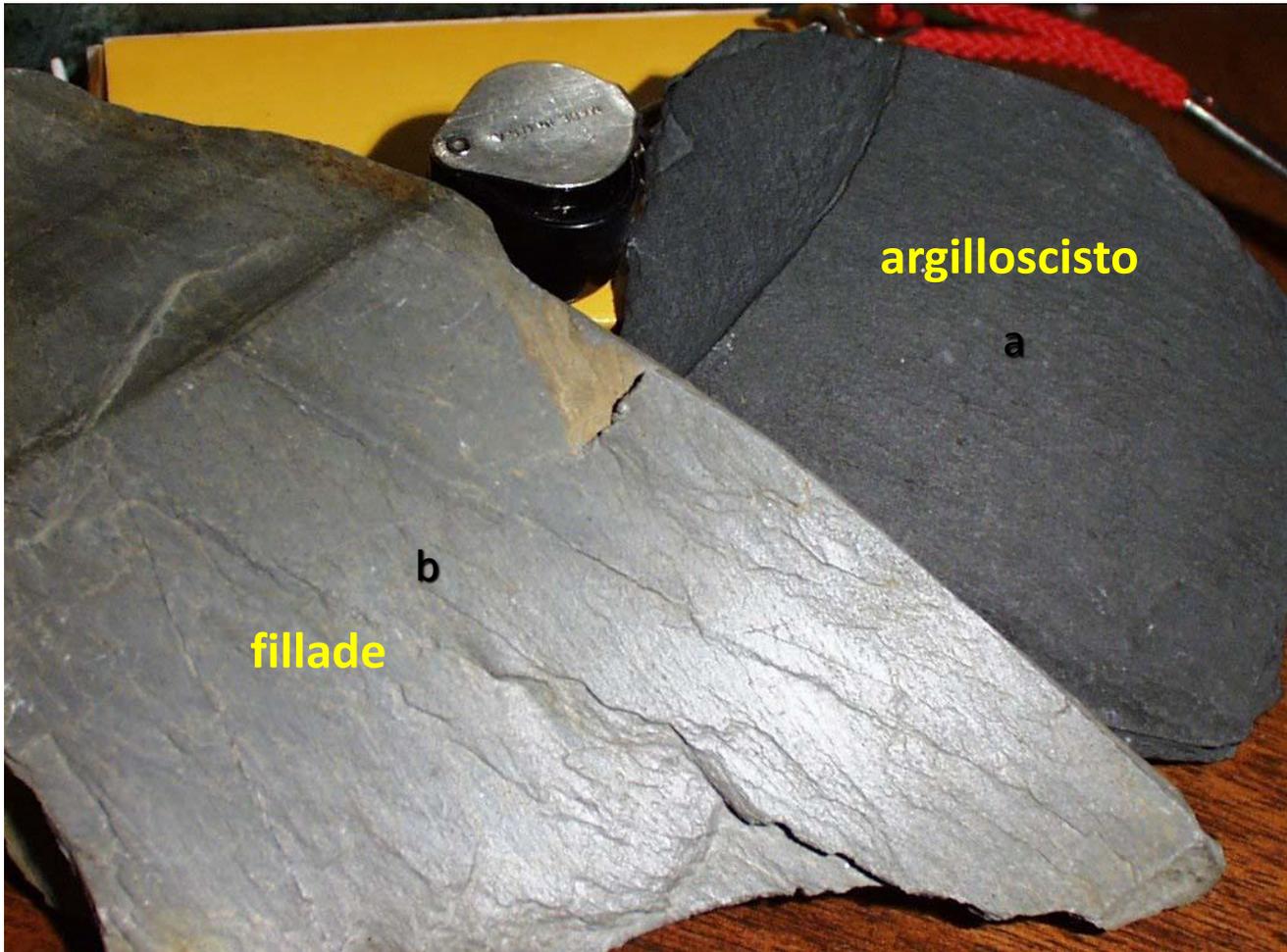
# UTILIZZI



## FILLADE

Derivazione pelitica, da argilloscisto, a grana molto fine, costituita da fillosilicati (clorite, sericite /fengite) + quarzo e feldspati. Scistosità a scala mm  
Metamorfismo regionale di basso grado (  $T \approx 300-350^{\circ}\text{C}$  )





**SCISTO** Derivazione pelitica, a grana media, costituita da abbondanti miche (muscovite+xbiotite) + quarzo e feldspati ± granati ± staurolite ± cianite/andalusite. Scistosità a scala cm. Metamorfismo regionale da basso a medio grado ( $T \approx 400-600^{\circ}\text{C}$ )

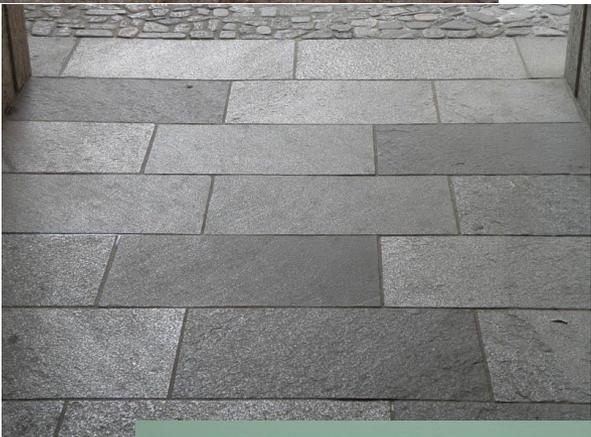
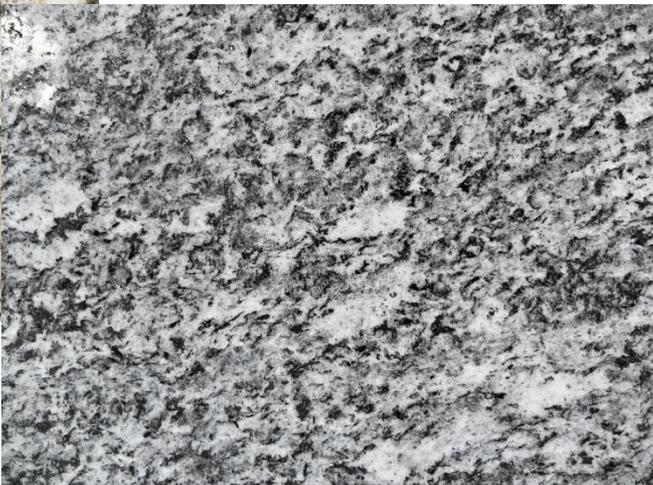


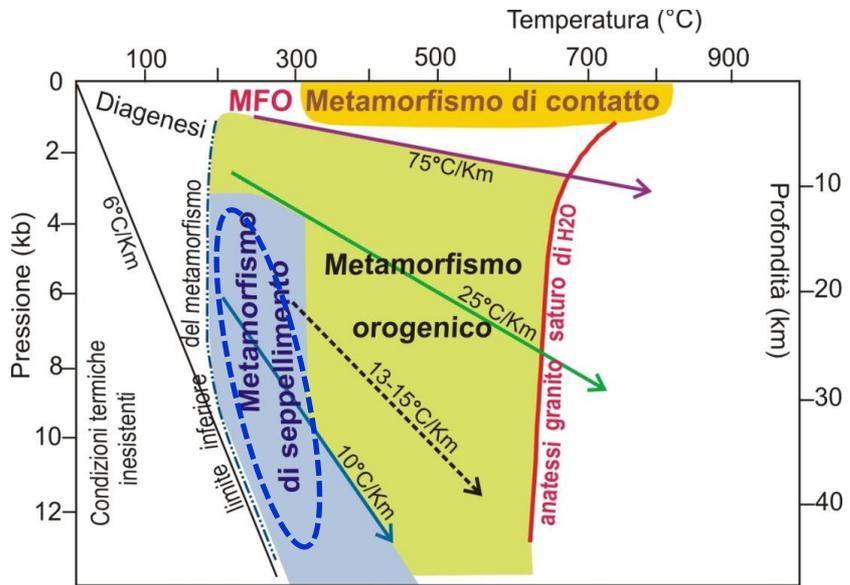
## GNEISS

Derivazione sia sedimentaria (PARA) che magmatica (ORTO). Prevalenza di quarzo+feldspati su miche (biotite>muscovite). Spesso a grana grossa e a bande (ma dipende dalla derivazione). Scistosità discontinua o irregolare a scala > cm  
Metamorfismo regionale di medio-alto grado (  $T > 600^{\circ}\text{C}$  )

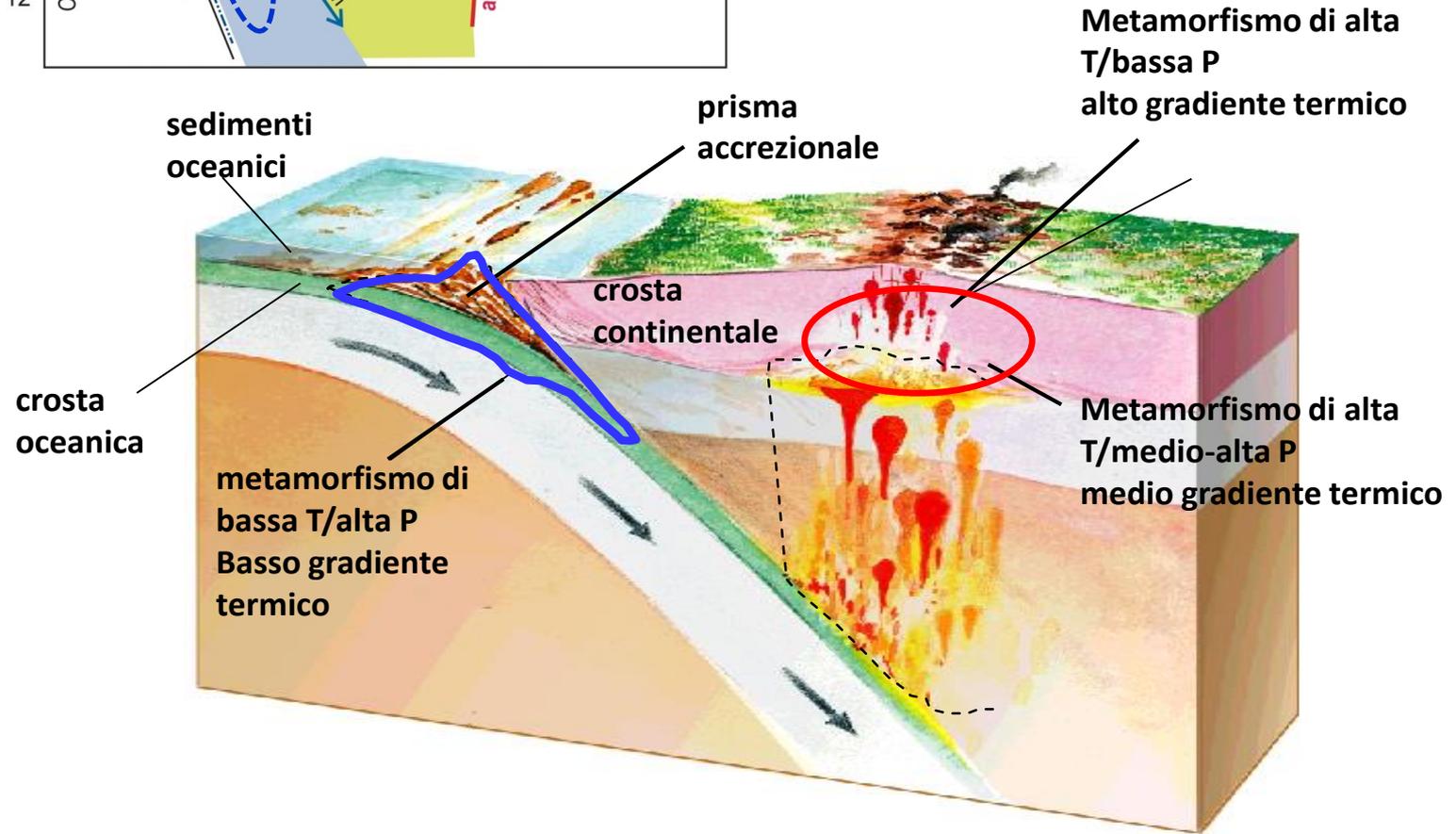


**GNEISS Termine commerciale SERIZZO**





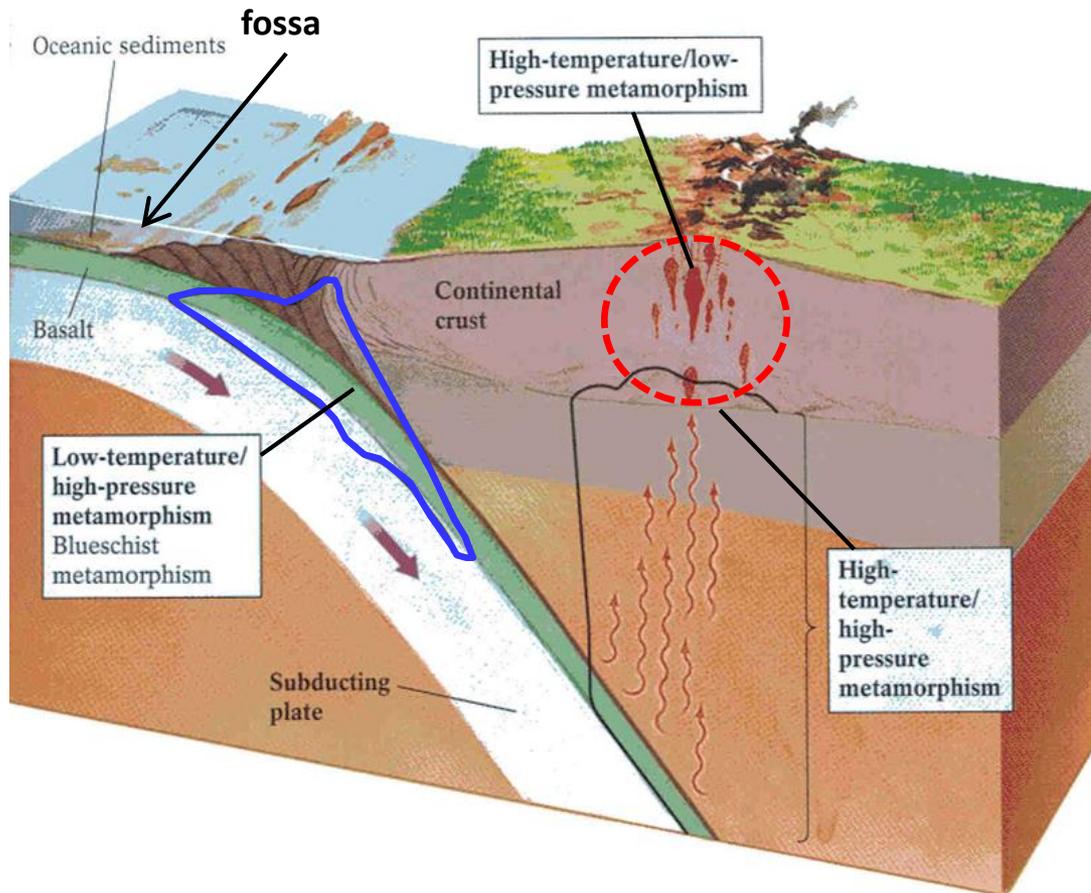
## METAMORFISMO REGIONALE : di SEPPELLIMENTO & SUBDUZIONE



## METAMORFISMO REGIONALE di SEPPELLIMENTO/SUBDUZIONE di basso gradiente termico (bassa T alta P)

► lungo la zona di collisione all'interno della placca oceanica subdotta, in corrispondenza della zona di subduzione

► di basso GRADIENTE GEOTERMICO  $\approx 10^{\circ}\text{C}/\text{km}$  ; inferiore a quello normale  $15^{\circ}\text{C}/\text{Km}$   
( $T = 350^{\circ}\text{C}$  a  $P = 10 \text{ kbar}$  cioè  $\approx 30 - 40 \text{ km}$  di profondità)



► serie metamorfiche di alta P

*L'assenza di importanti regimi tensionali si manifesta nella frequente mancanza di effetti deformativi nelle rocce*



**Cambiamenti strutturali spesso poco evidenti**

**Cambiamenti mineralogici in f.ne della Pressione**



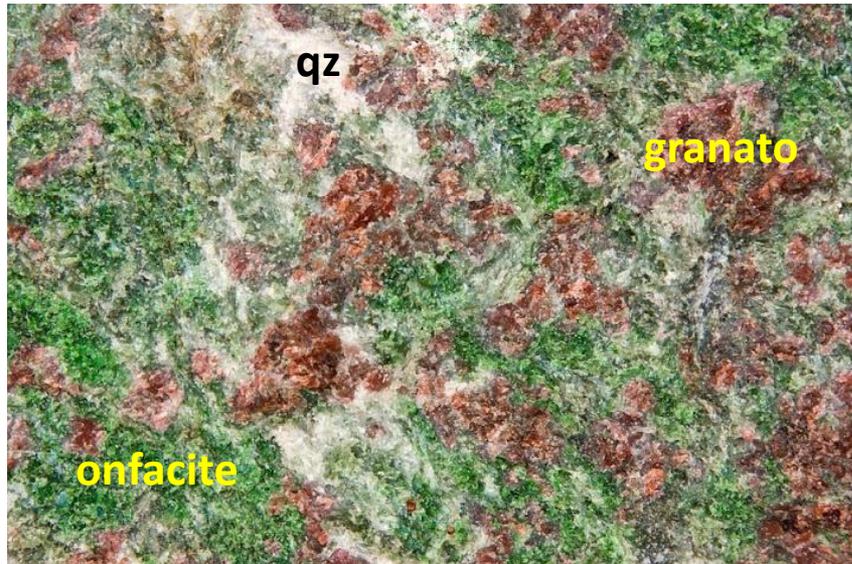
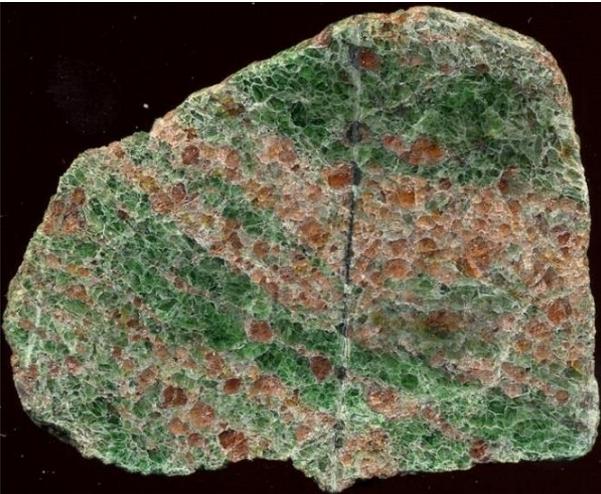
# ROCCE METAMORFICHE DI ALTA/ALTISSIMA PRESSIONE

## Scisto blu (California)



Cristalli blu scuro di  
Glaucofane (Na-anfibolo)  
(Gln)

## Eclogite

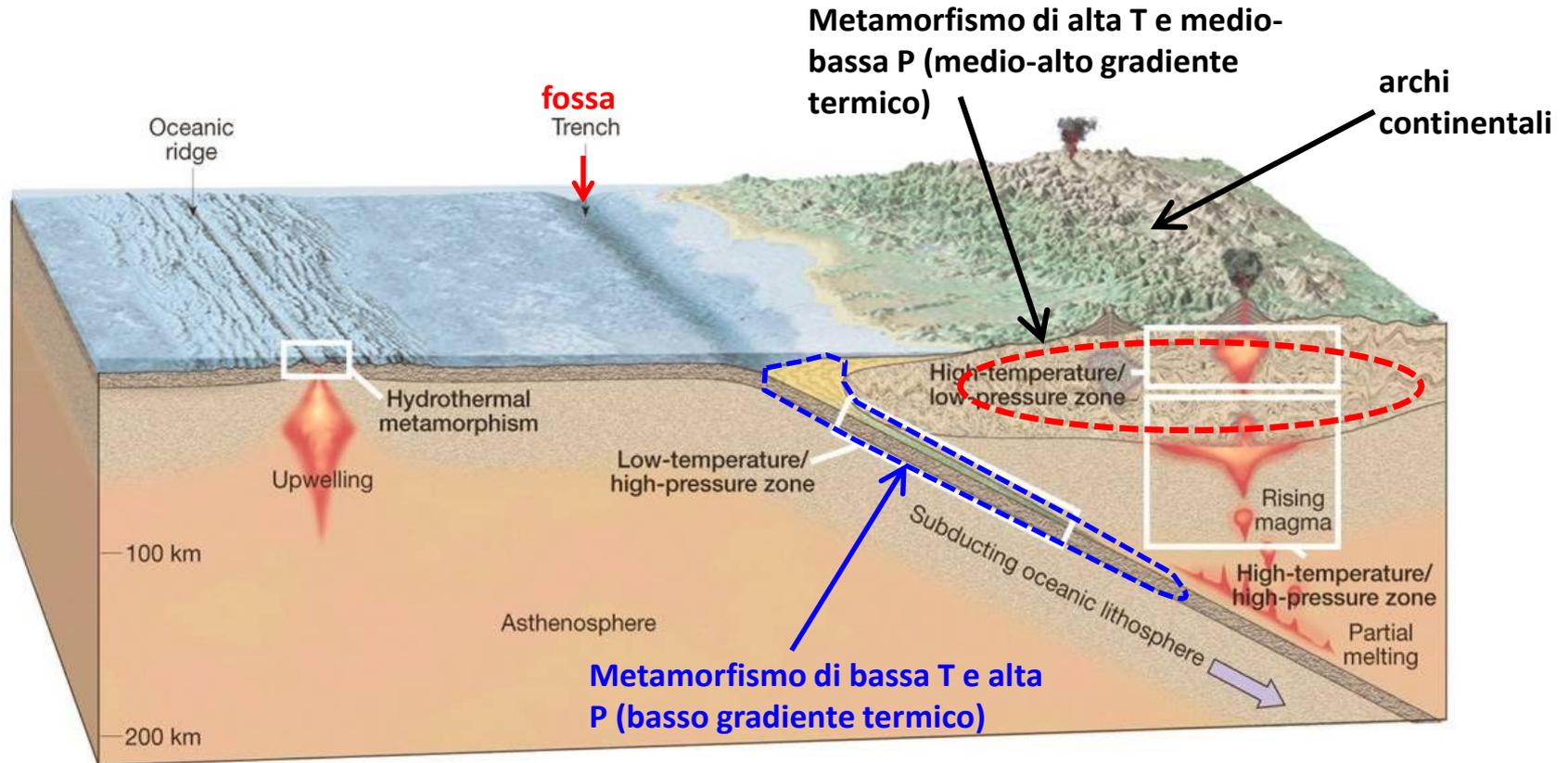


Omphacite (verde)  
(Na-pirosseno)

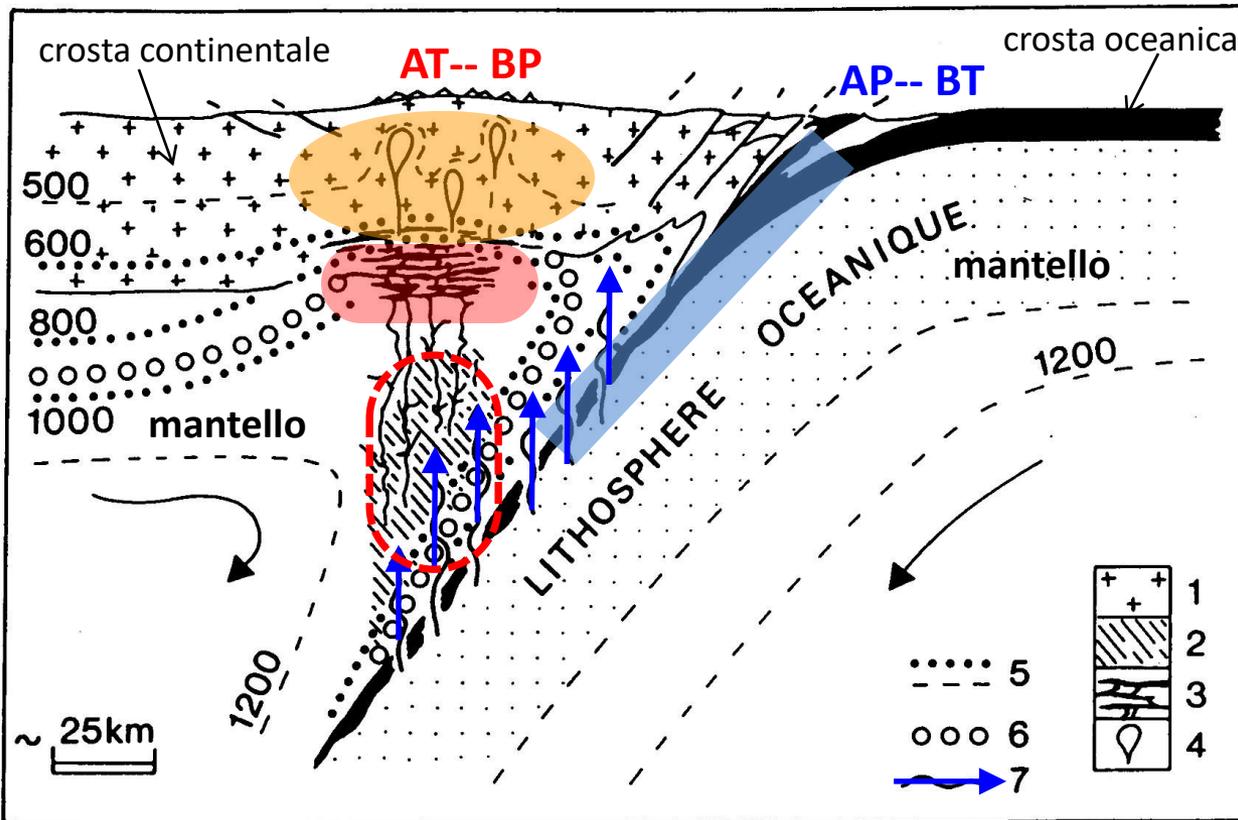
Granato  
(rosso)

# METAMORFISMO REGIONALE : OROGENICO o di COLLISIONE (DINAMO-TERMICO) + SEPPELLIMENTO/SUBDUZIONE

- ❑ collisione placca oceanica - placca continentale
- ❑ **lungo il margine della placca continentale : metamorfismo di medio-alto gradiente termico nelle zone di risalita e ristagno dei magmi basici e produzione anche di magmi acidi**
- ❑ **nella fossa (trench) e lungo il margine della placca oceanica subdotta : metamorfismo di basso gradiente termico (= bassa T/alta-altissima P) cioè metamorfismo di seppellimento/subduzione**



# ZONE DI COLLISIONE : CINTURE METAMORFICHE APPAIATE



AT-- BP

serie metamorfiche di alto gradiente termico  
alta T / medio-bassa P

AP-- BT

serie metamorfiche di basso gradiente termico  
alta P / bassa T

1 crosta continentale

2 zona produzione magmi basici dal mantello

3 accumulo di magmi basici alla base della crosta ("underplating")

4 plutoni granitici

5 isoterme

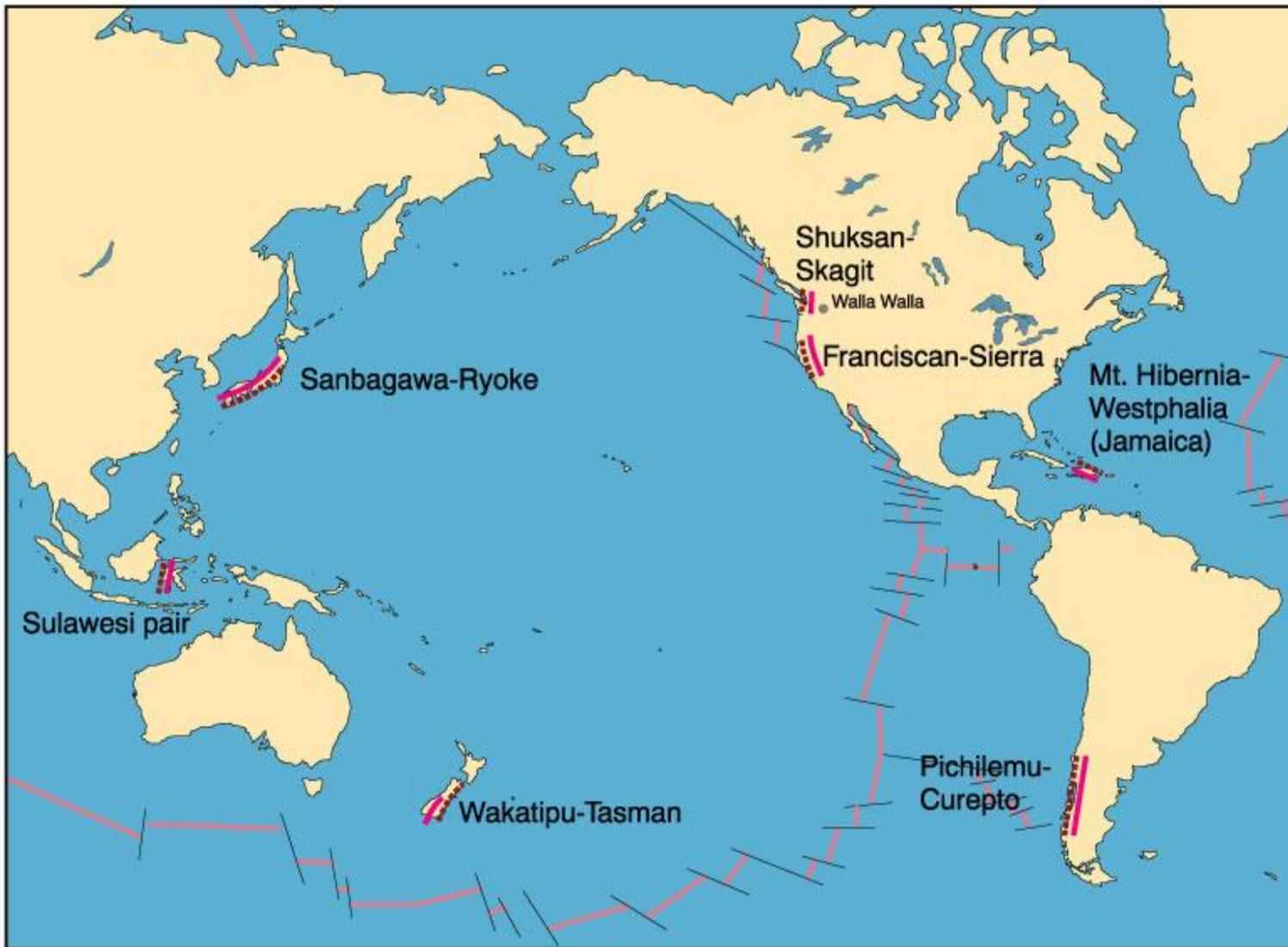
6 solidus idrato peridotite

7 H<sub>2</sub>O-fluidi provenienti dalla litosfera oceanica subdotta

a) La crosta oceanica si incunea lungo la zona di subduzione e si trasforma **in serie metamorfica di alta P e bassa T** ;

b) le reazioni metamorfiche nella crosta oceanica rilasciano H<sub>2</sub>O-fluidi che provocano la fusione parziale del mantello sottocontinentale con produzione di magmi basaltici;

c) i magmi basaltici migrano verso la base della crosta e generano una perturbazione termica che produce nella crosta continentale **una serie metamorfica di alta T e bassa-media P**, fino a provocare la fusione parziale della crosta con produzione di magmi granitici

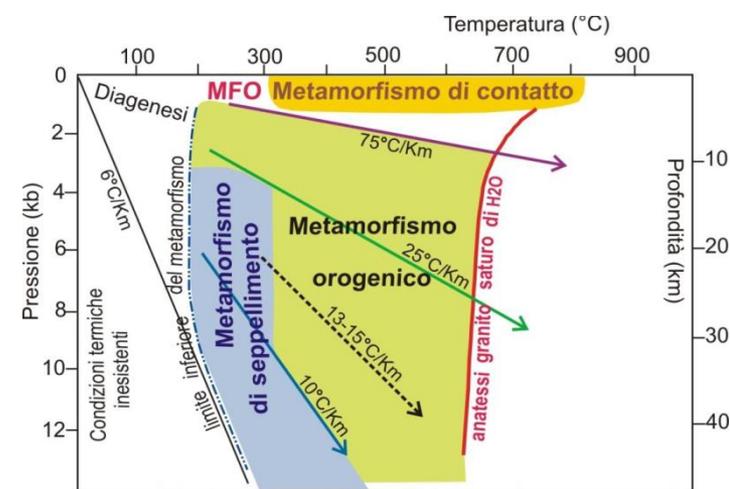
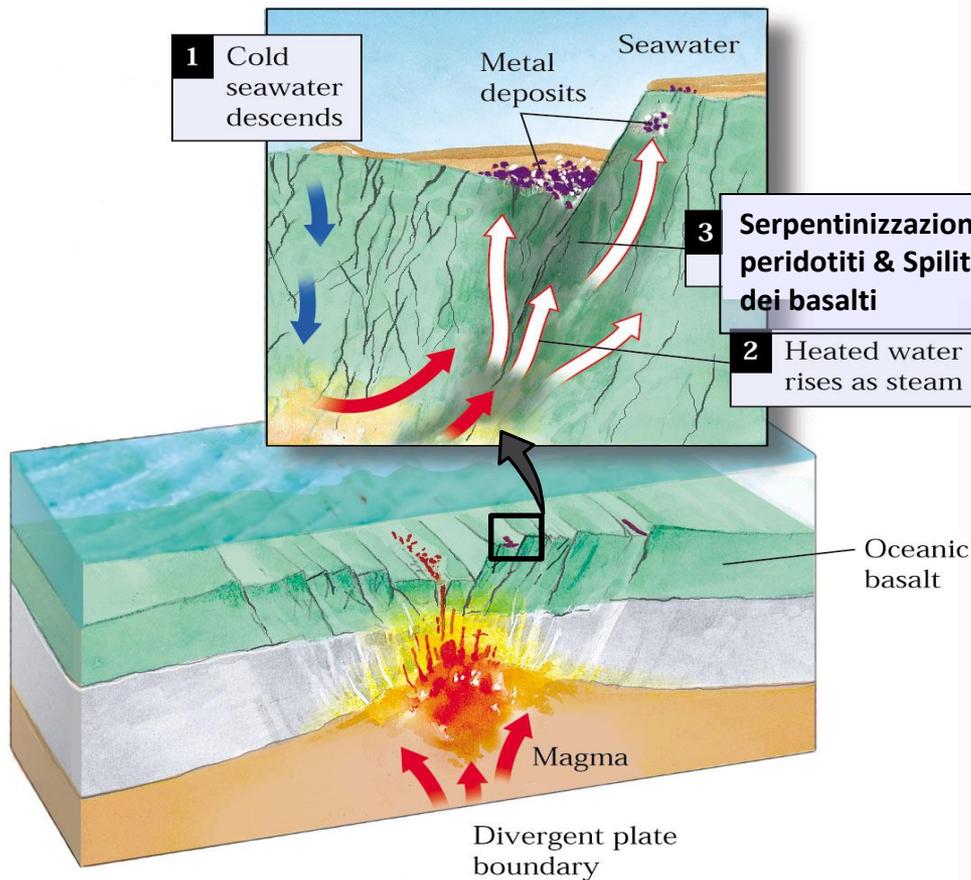


- ..... serie metamorfica di bassa T/alta P
- serie metamorfica di alta T/bassa P

Alcune delle cinture metamorfiche appaiate della regione circumpacifica. Da Miyashiro (1994) *Metamorphic Petrology*.

# METAMORFISMO REGIONALE DI FONDO OCEANICO

- coinvolge la crosta oceanica in prossimità delle dorsali
- causato da circuiti idrotermali di acqua "calda": circolazione termoconvettiva dell'H<sub>2</sub>O, favorito dalla fratturazione delle rocce
- effetti prodotti : idratazione della crosta oceanica (da paragenesi anidre a idrate) + produzione di CaCO<sub>3</sub> e solfuri nelle fratture + depositi selciferi + depositi di metalli pesanti (V, Mn, Fe, Co, Ni, Zn, Cd, Ag) nei sedimenti sovrastanti i basalti-pillow.



- condizioni metamorfiche:  
150° max 500°C P≤1Kbar
- idratazione: nei basalti e gabbri i minerali anidri (plag, px, ol) si trasformano in minerali idrati (clorite, epidoti, anfiboli..). Le peridotiti si trasformano in serpentiniti (olivina in serpentino)

► **IMPORTANZA del MFO**  
spiega perché la crosta oceanica, in origine anidra, si idrata e quando entra in subduzione – per instabilità dei minerali idrati all’aumentare della P - rilascia H<sub>2</sub>O-fluidi che innescano la fusione parziale del mantello sottocontinentale.