

● Punto critico di H₂O
T = 374°C
P = 221 bar

curva di inizio fusione
delle rocce metamorfiche

**posizione variabile in f.ne
della composizione rocce e
presenza di H₂O (gas)**

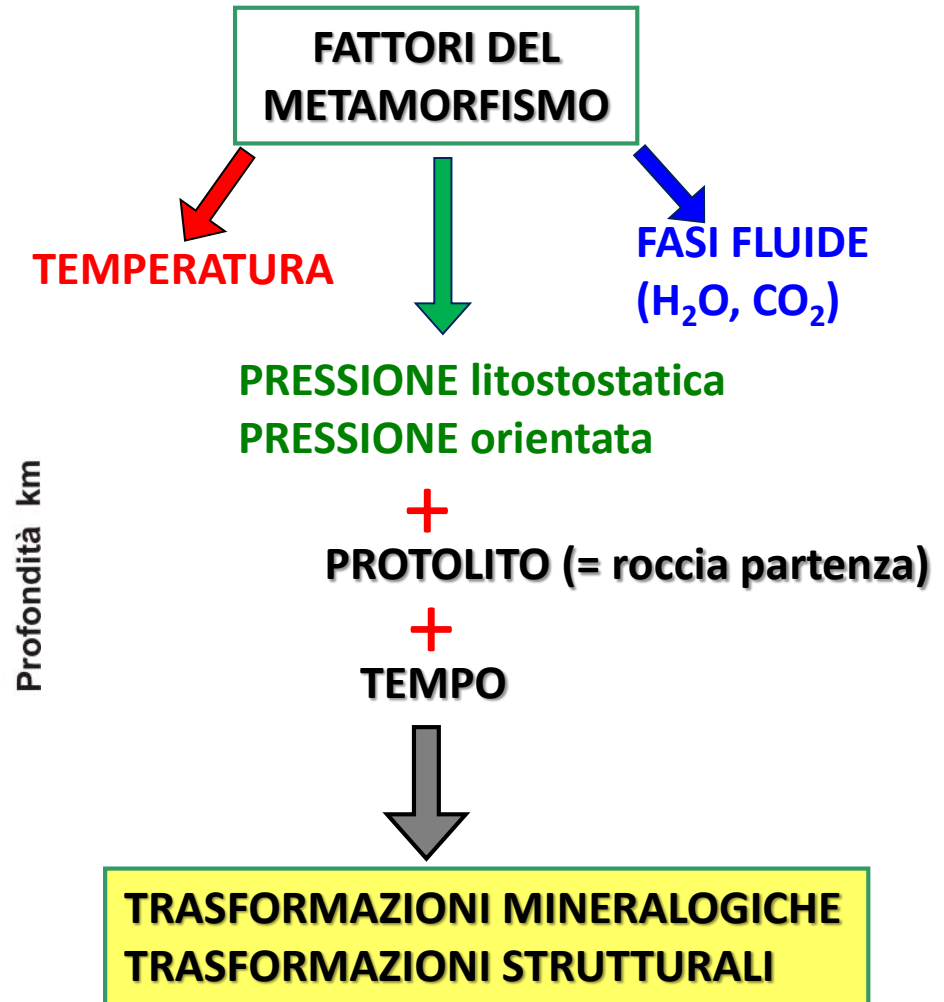
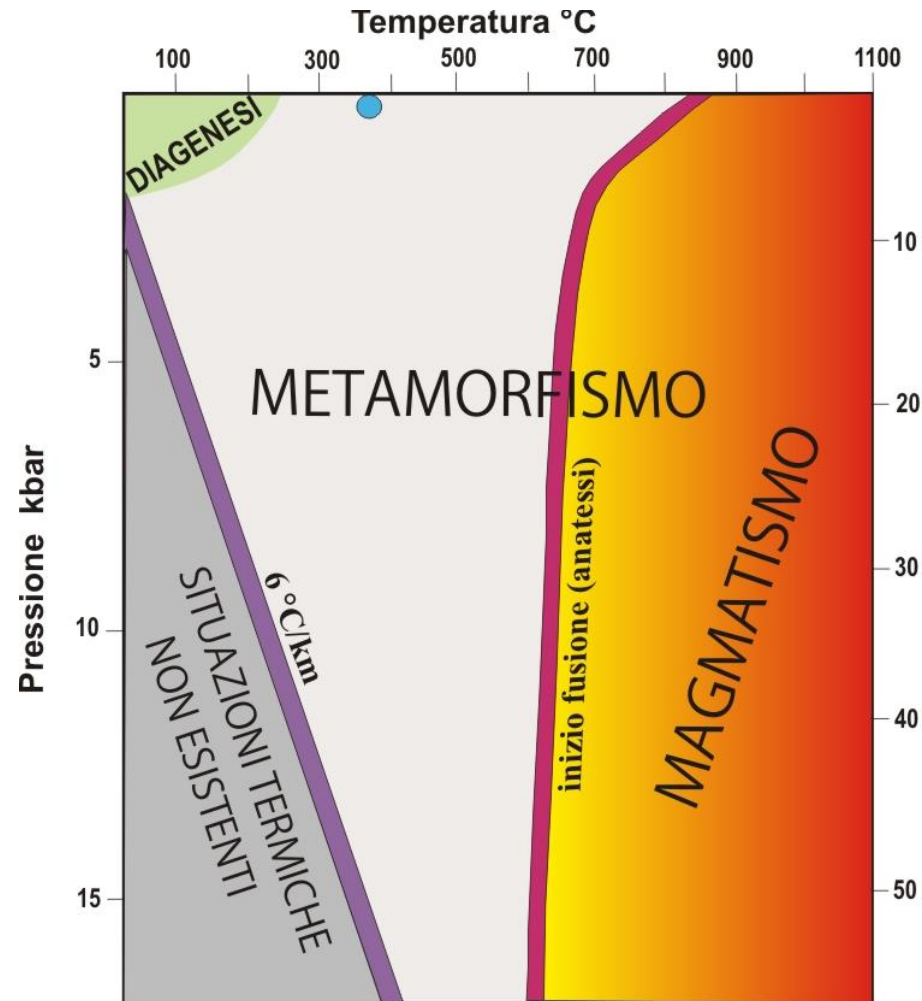
curva riportata = T minime di
inizio fusione corrispondenti a
una roccia idrata (con H₂O) alta
in SiO₂ (≥ 65%) e povera in FeO
e MgO (tipo granitoide)
Per rocce anidre, povere in SiO₂
e ricche in FeO e MgO la curva si
sposta a destra (verso T più alte)



**Campo grigio = minimo campo
del METAMORFISMO**

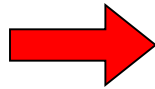
METAMORFISMO

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

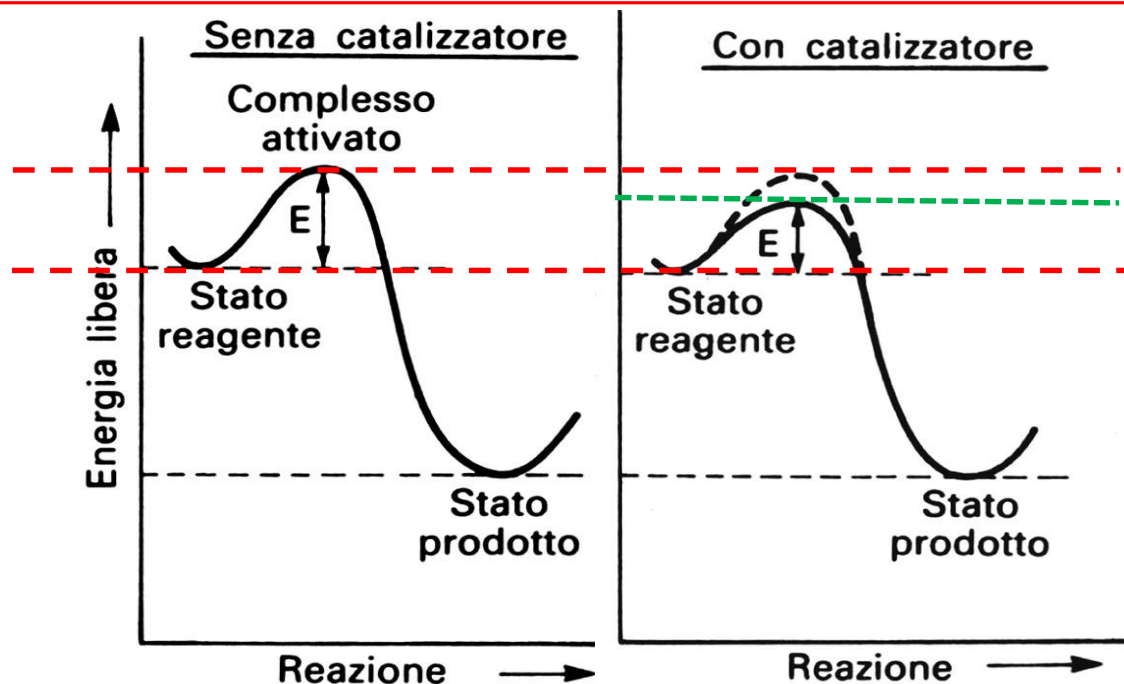
INPUT ENERGETICO
(TERMICO = T°C)

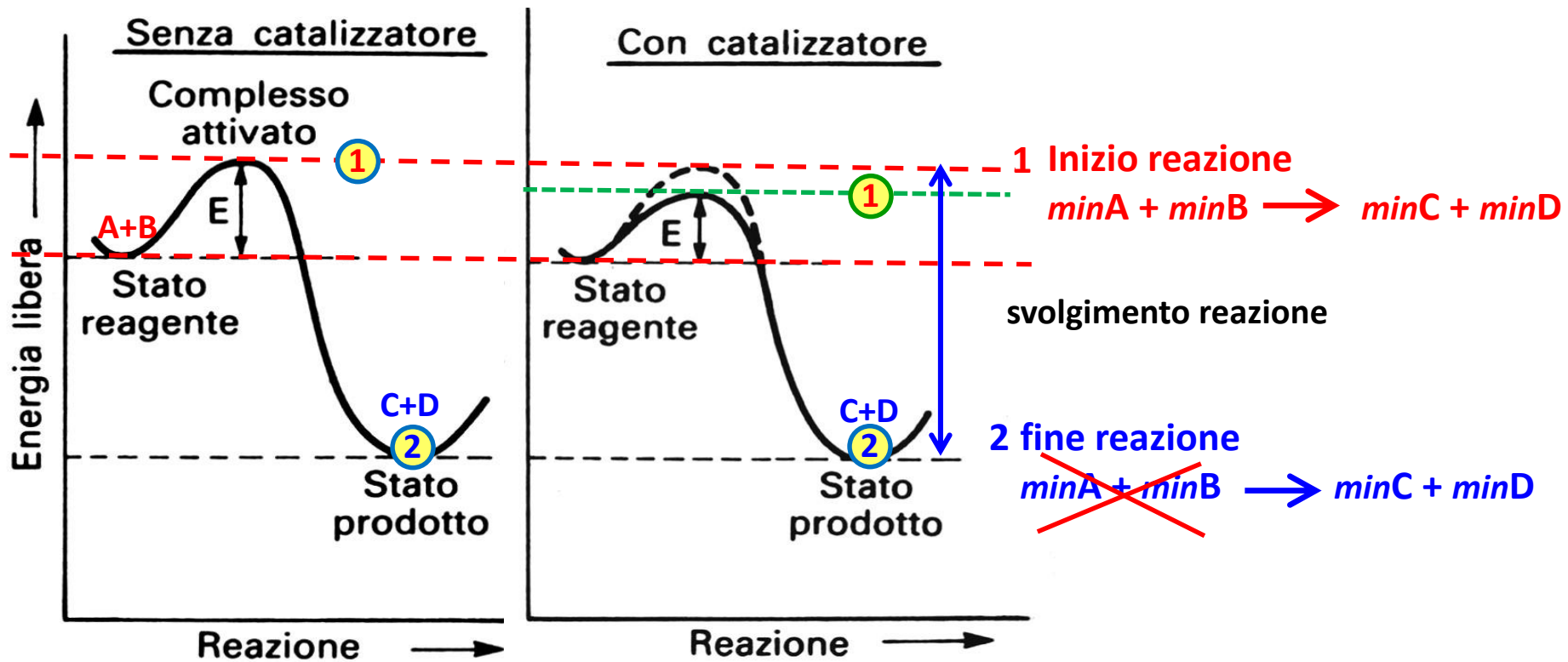


AUMENTO DI ENERGIA libera del sistema
CONDIZIONI DI DISEQUILIBRIO
AUMENTO della TENDENZA a trasformarsi
sia **MINERALOGICAMENTE** sia **STRUTTURALMENTE**

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)



PROCESSI SENZA PRESENZA DI FUSO !!!!

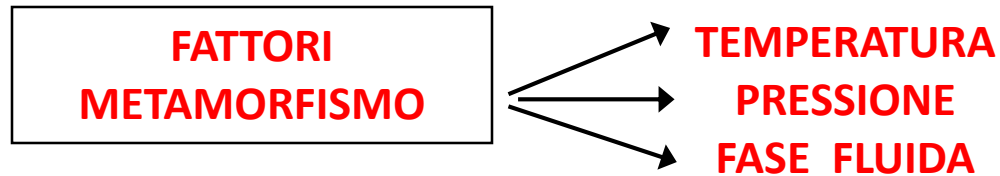
UNA NUOVA ROCCIA COSTITUITA DA

- **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) >> H₂O <CO₂

1 - Presenza

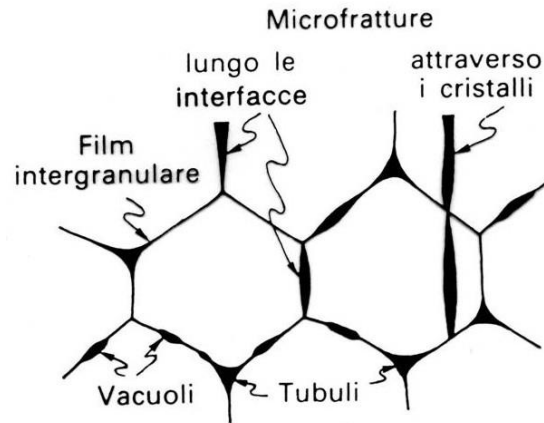
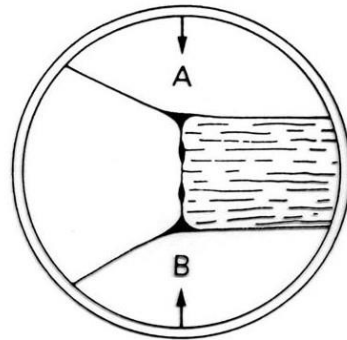
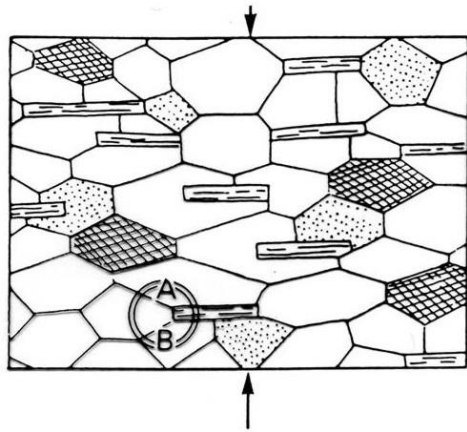
- a) La > parte dei minerali metamorfici contengono (OH)⁻ nel reticolo, quindi minerali idrati
- b) I minerali metamorfici spesso contengono inclusioni fluide (gassose, >H₂O, <CO₂)
- c) Molte reazioni metamorfiche liberano fluidi (H₂O, CO₂), quindi viene prodotta durante il processo metamorfico

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

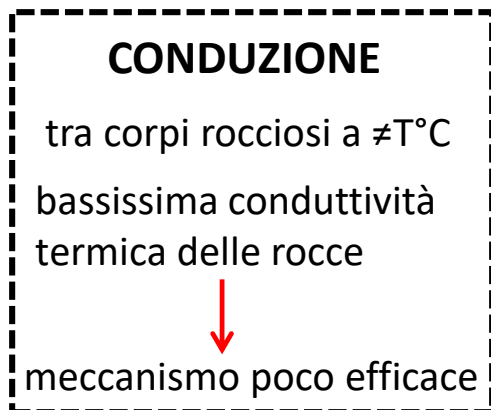
A) per **DIFFUSIONE** se le microporosità non sono comunicanti ---- efficace per piccole distanze (<1m)

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

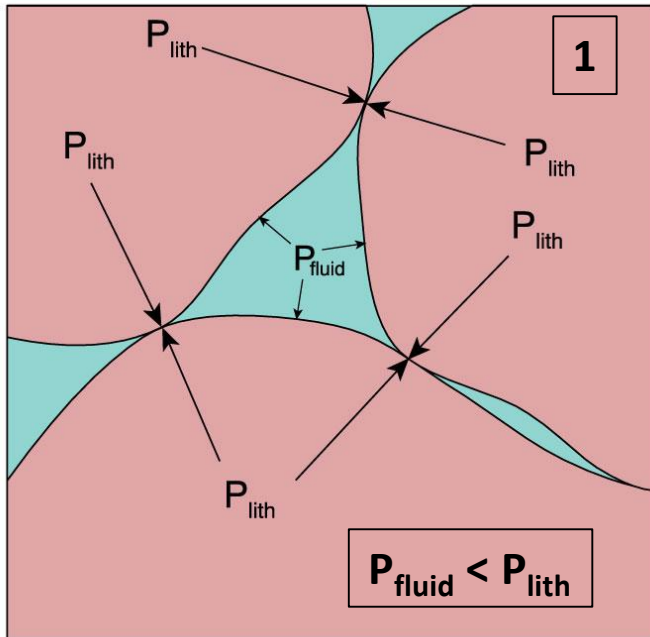
dipende in primis dalla permeabilità della roccia (legge di Darcy)

efficace a grandi distanze → meccanismo fondamentale di trasferimento di calore

TRASFERIMENTO DI CALORE



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



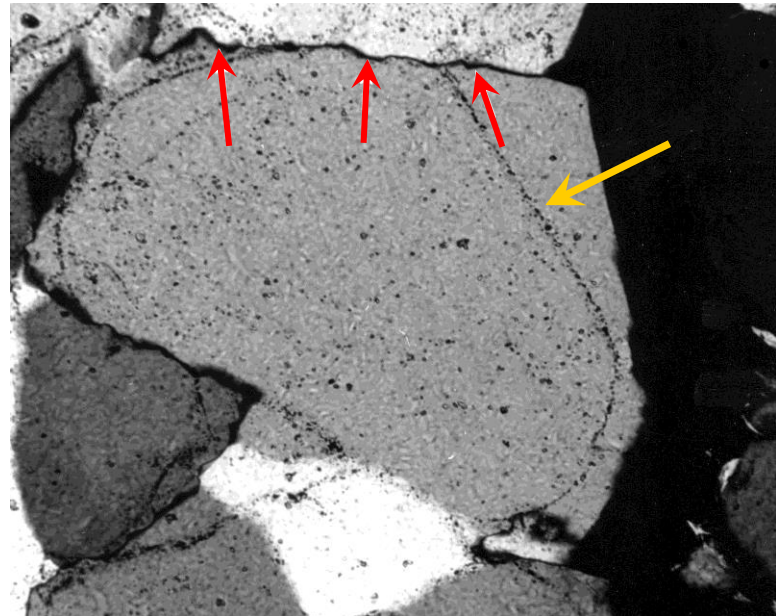
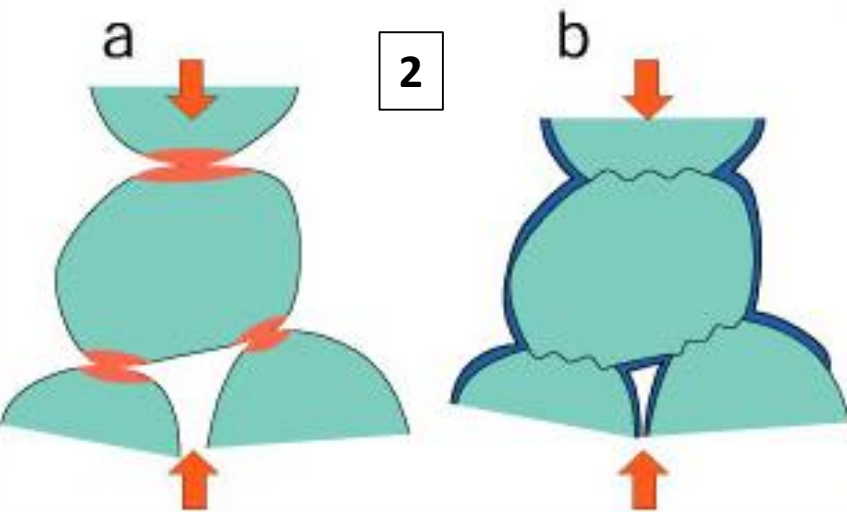
1. Situazione iniziale: $P_{\text{litostatica}} (P_{\text{lith}})$ esercitata sui granuli è $>$ della P esercitata dai fluidi contro le pareti dei granuli (P_{fluid}).

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_{fluidi} fino a renderla uguale alla $P_{\text{litostatica}}$.



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



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⁻²sec⁻¹
= 0.0418 W m⁻²

**GRADIENTE GEOTERMICO
"NORMALE"**



= 13—15°C/Km (es , a 15 km T ≈ 200°C)

**REGIME TERMICO
"ANORMALE"**



risalita/infittimento o diradamento delle isoterme

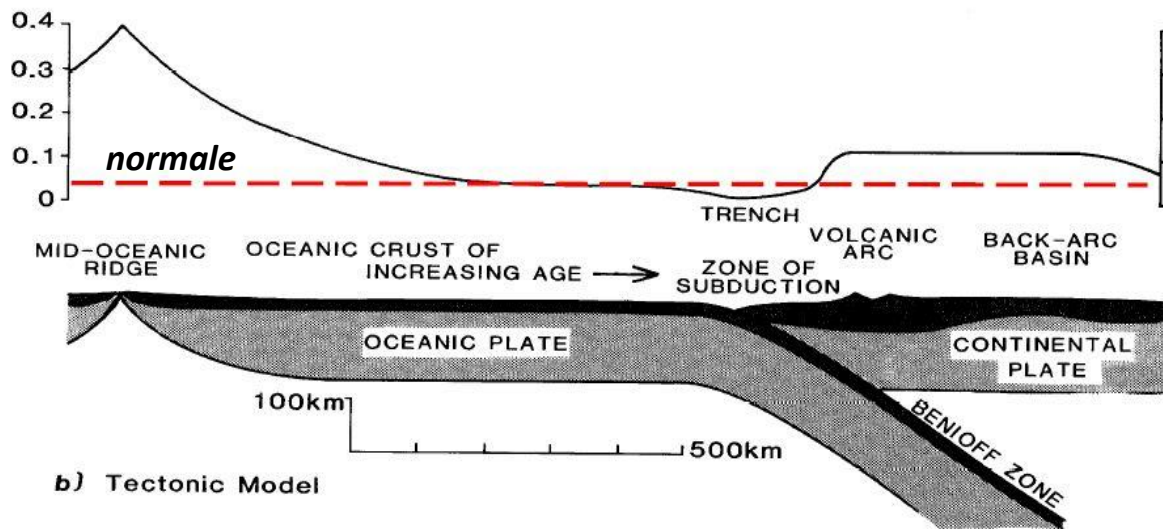


AUMENTO o DIMINUIZIONE DEL GRADIENTE TERMICO

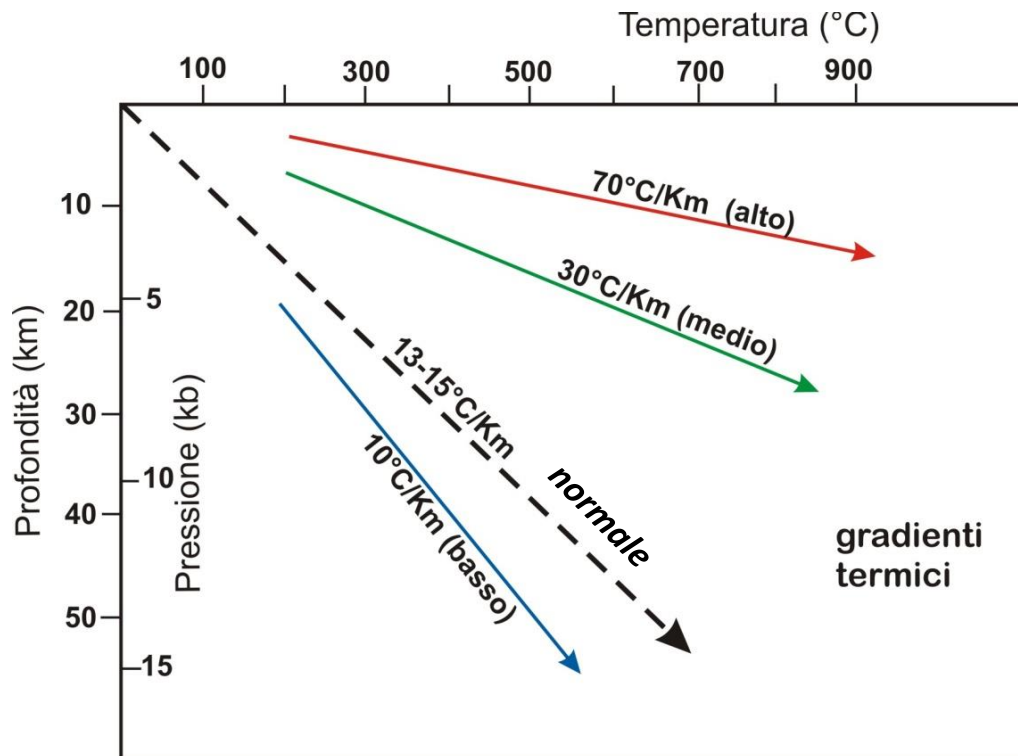


DIVERSI TIPI DI METAMORFISMO

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

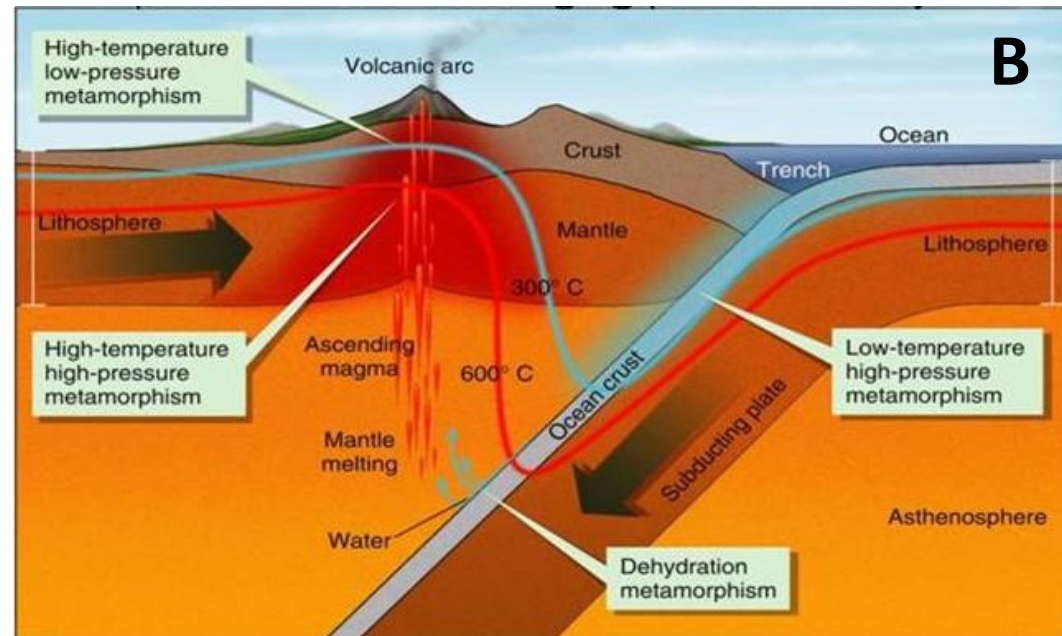
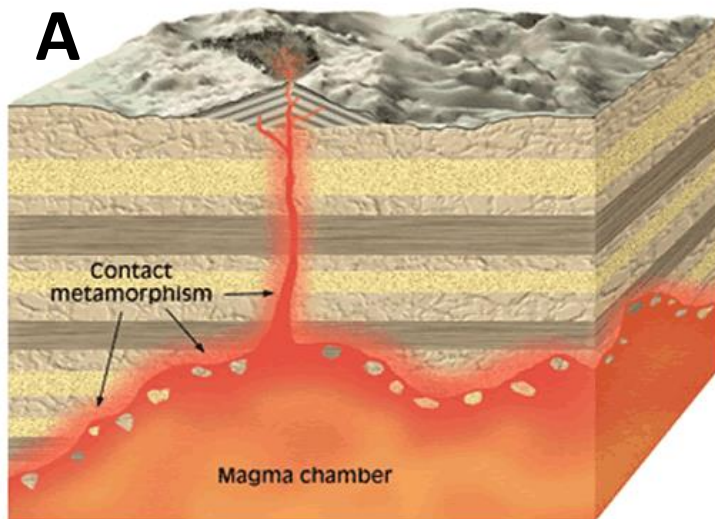
↓ ↓ ↓
diminuzione/aumento dei gradienti geotermici

Meccanismi di propagazione calore → **conduzione**

→ **convezione (FLUIDI)**

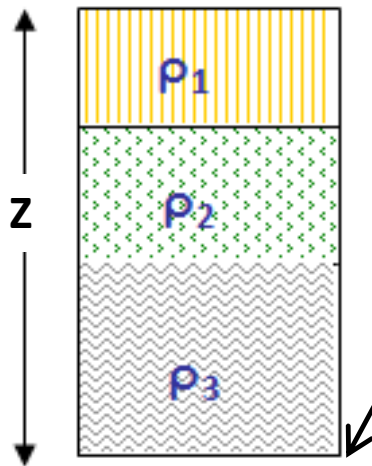
(A) riscaldamento LOCALE → intrusioni magmatiche: metamorfismo di “CONTATTO”

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



PRESSIONE

Pressione litostatica o di carico (load pressure; P_l)



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

ρ = densità litologie costituenti la colonna di carico
 g = accelerazione di gravità (9.822m/s^2)
 Z = altezza (=spessore) colonna

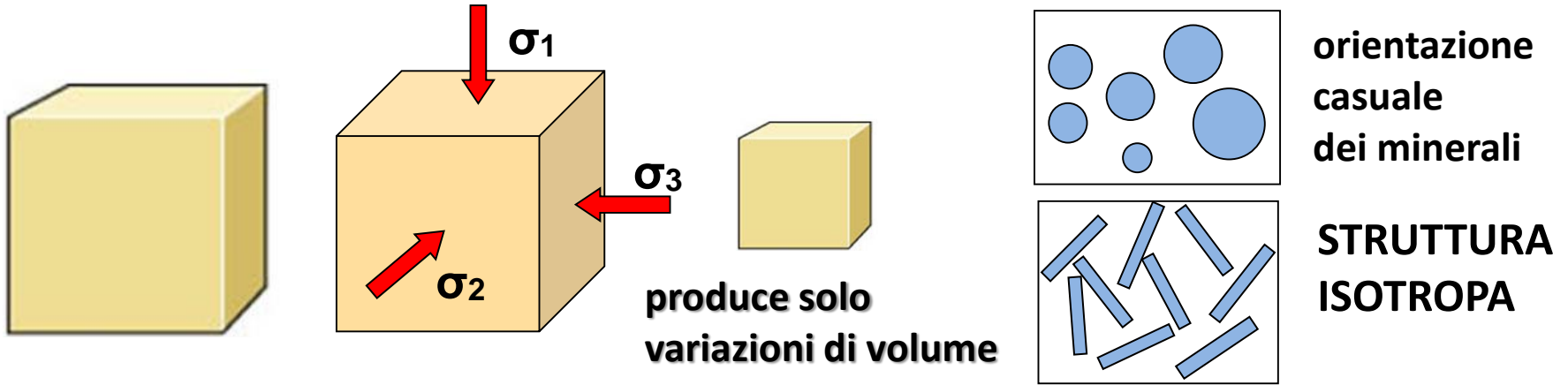
Gradiente di pressione (o barico) = $\Delta P / \Delta Z$

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

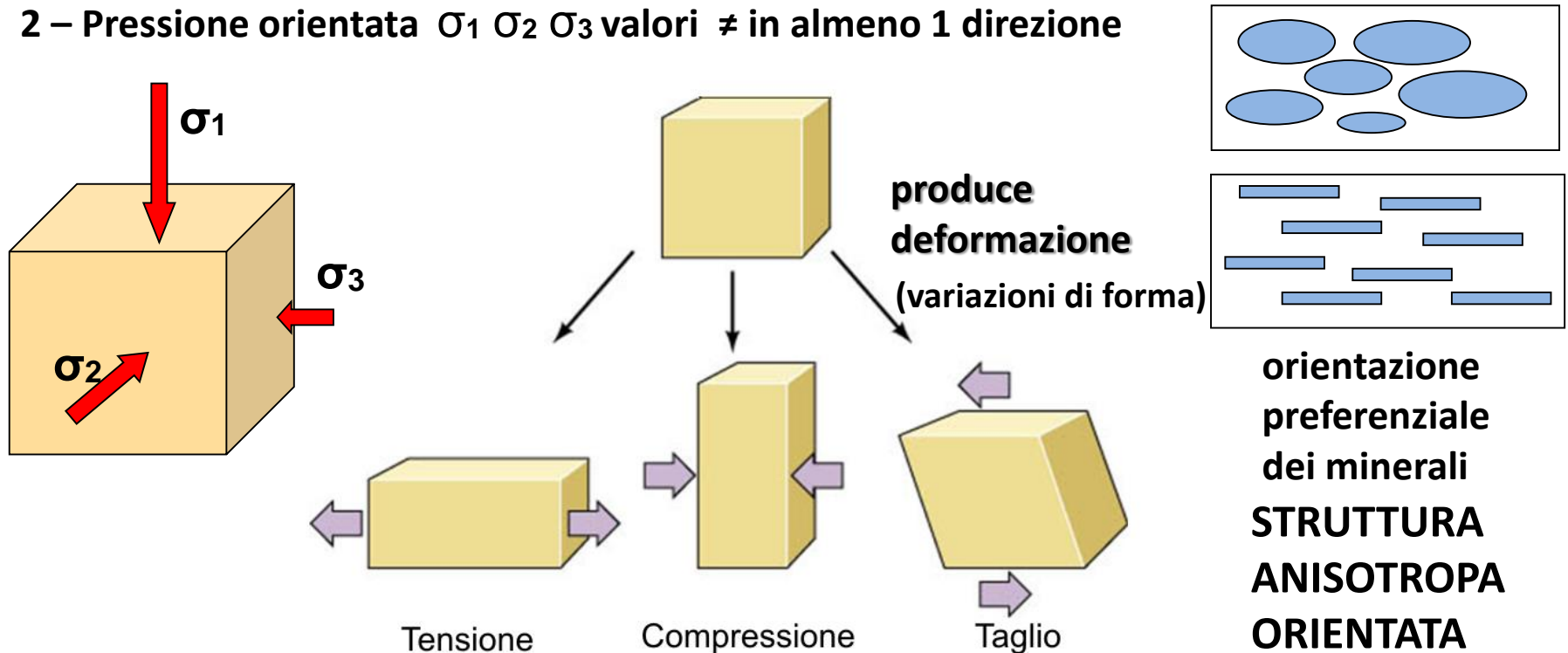
nel mantello = 0.33 kbar/km per = 3.3g/cm^3 rocce peridotitiche
= **aumento di 1kbar ogni 3 km**

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 ($= 3.0\text{ g/cm}^3$)

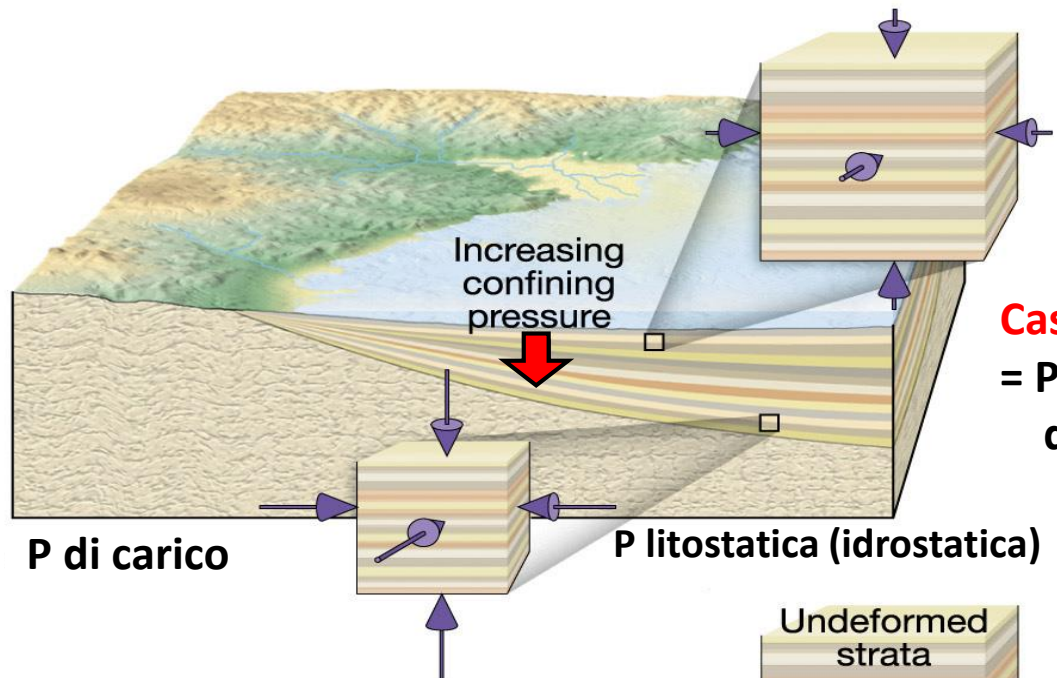
1 – Pressione litostatica di tipo idrostatico (valori = in tutte le direzioni $\sigma_1 = \sigma_2 = \sigma_3$)



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



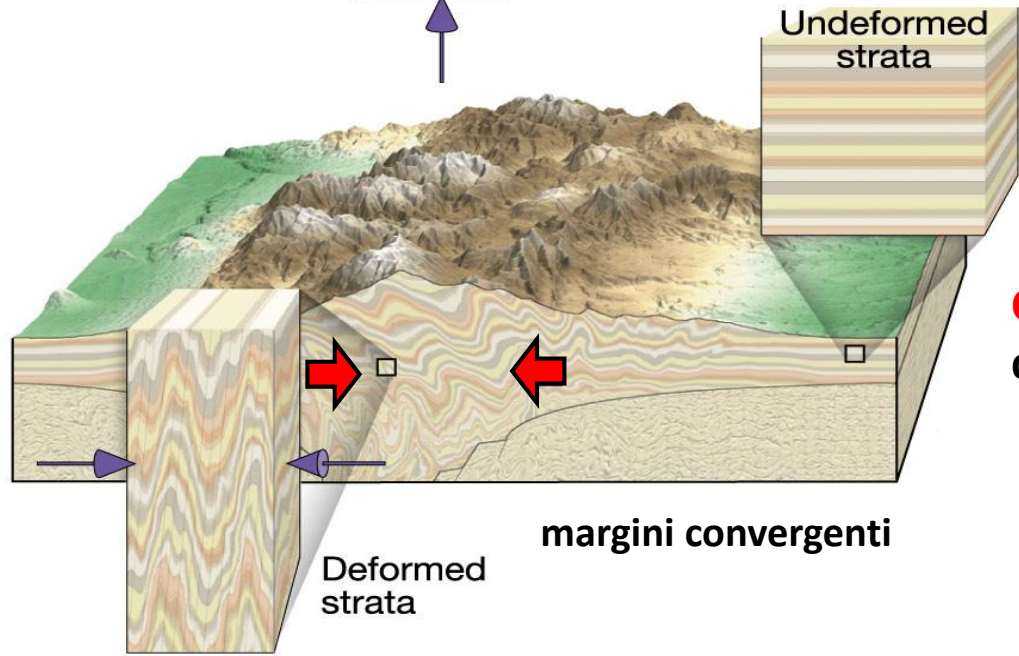
A



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



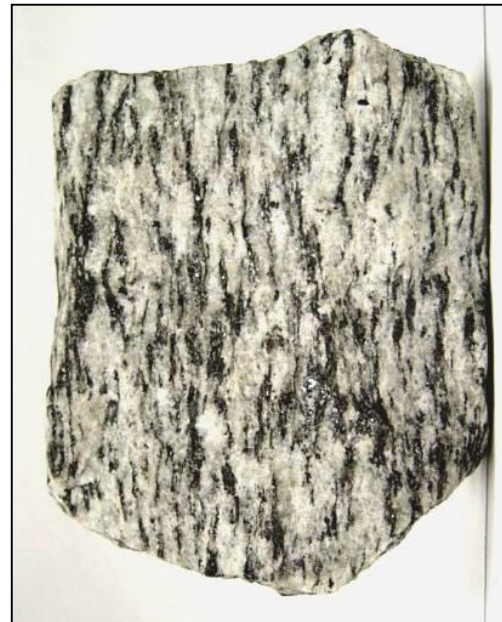
Before metamorphism

Struttura isotropa



After metamorphism

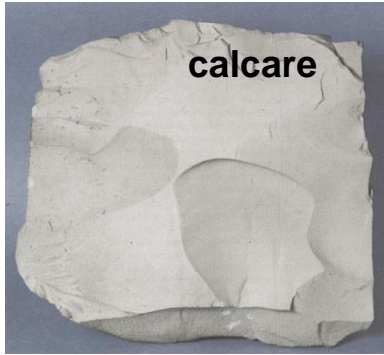
Struttura orientata



PROTOLITO (roccia di partenza)

CARATTERE ISOCHIMICO DEL METAMORFISMO

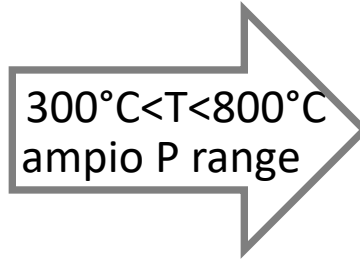
Il metamorfismo è un processo ISOCHIMICO o CONSERVATIVO a grande scala CONSERVAZIONE (tranne casi speciali) della COMPOSIZIONE ORIGINARIA DELLA ROCCIA DI PARTENZA (=PROTOLITO) → quindi **SISTEMA "CHIUSO"**



calcere

CALCARE PURO

R. carbonatica
>95 % calcite
micritica
 CaCO_3

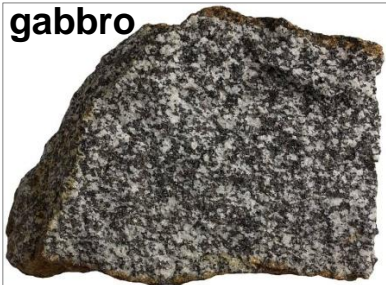


MARMO

R. carbonatica
calcite a grana
grossa
 CaCO_3



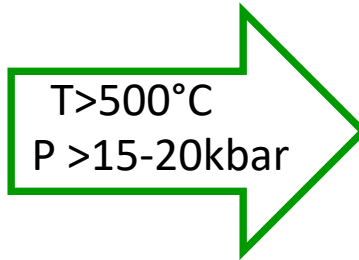
marmo



gabbro

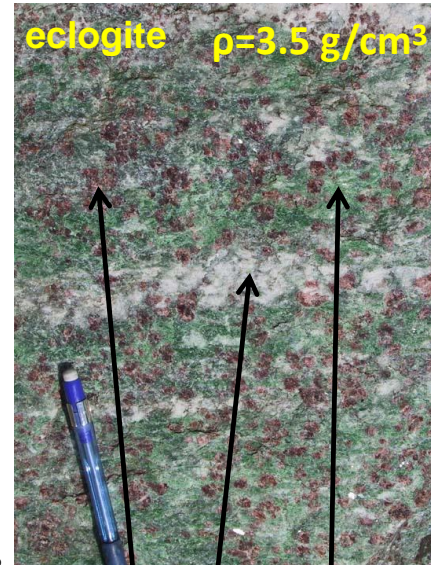
BASALTO/GABBRO

R. magmatica basica
Silicati : plagioclasio
clinopirosseno,
olivina



ECLOGITE

R.metam. basica
Silicati: granato,
quarzo,
clinopirosseno

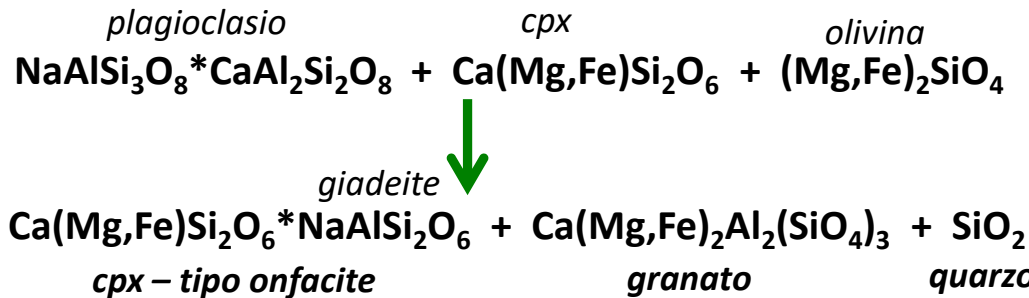


eclogite $\rho=3.5 \text{ g/cm}^3$



$\rho=3 \text{ g/cm}^3$

basalto



granato (rosso) quarzo (bianco) onfacite (verde)

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 ₂ | 70.0 | 50.7 | 54.9 | 8.2 | 61.52 | 70.11 | 49.2 |
| TiO ₂ | 0.58 | 0.78 | 0.78 | – | 0.73 | 0.42 | 2.03 |
| Al ₂ O ₃ | 8.2 | 15.1 | 16.6 | 2.2 | 16.48 | 14.11 | 16.09 |
| Fe ₂ O ₃ | 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 ₂ O | 0.58 | 0.8 | 1.3 | – | 3.63 | 3.03 | 3.01 |
| K ₂ O | 2.1 | 3.5 | 2.7 | – | 2.1 | 6.02 | 0.14 |
| H ₂ O | 3.0 | 5.0 | 9.2 | – | 1.2 | 0.23 | 0.70 |
| CO ₂ | 3.9 | 6.1 | – | 35.5 | 0.1 | | |
| C | 0.26 | 0.67 | – | 0.23 | | | |

ARENARIE
ARGILLOSE-PELITICHE
CARBONATICHE

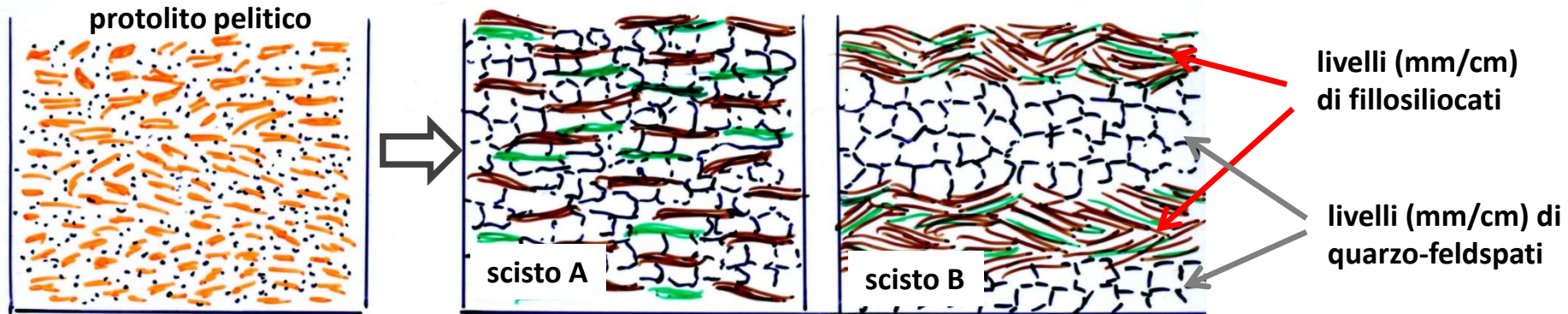
MOBILITA' PARZIALE A PICCOLA SCALA (cm) dei componenti chimici NON VOLATILI

→ 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

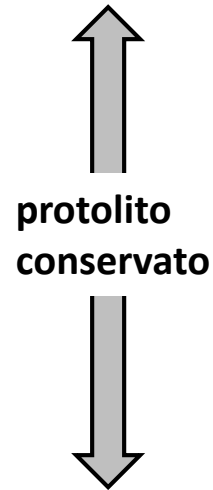
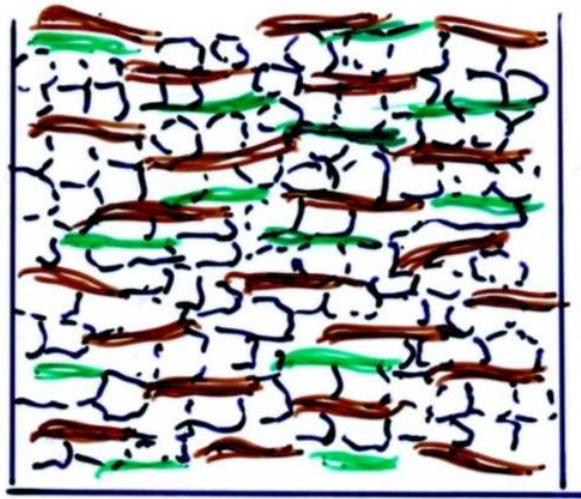
→ SISTEMA CHIMICO "APERTO"

**METAMORFISMO ALLOCHIMICO
o METASOMATISMO METAMORFICO**

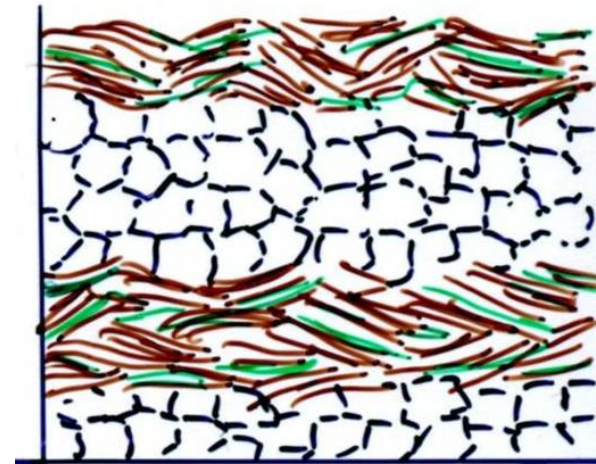
**Es: aureole metamorfiche-
metamorfismo di contatto**

DIFFERENZIAZIONE METAMORFICA

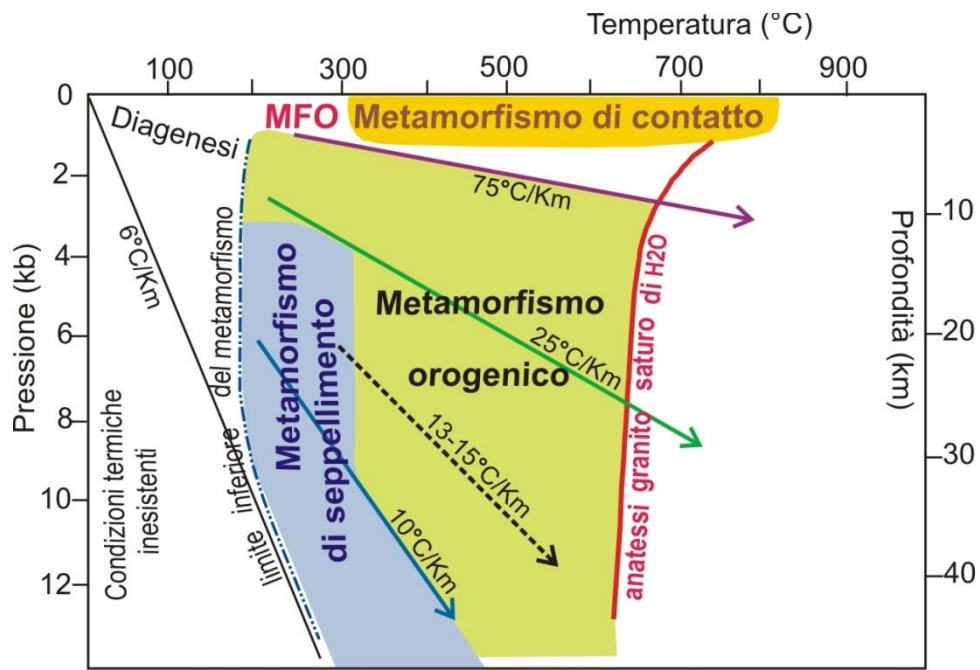
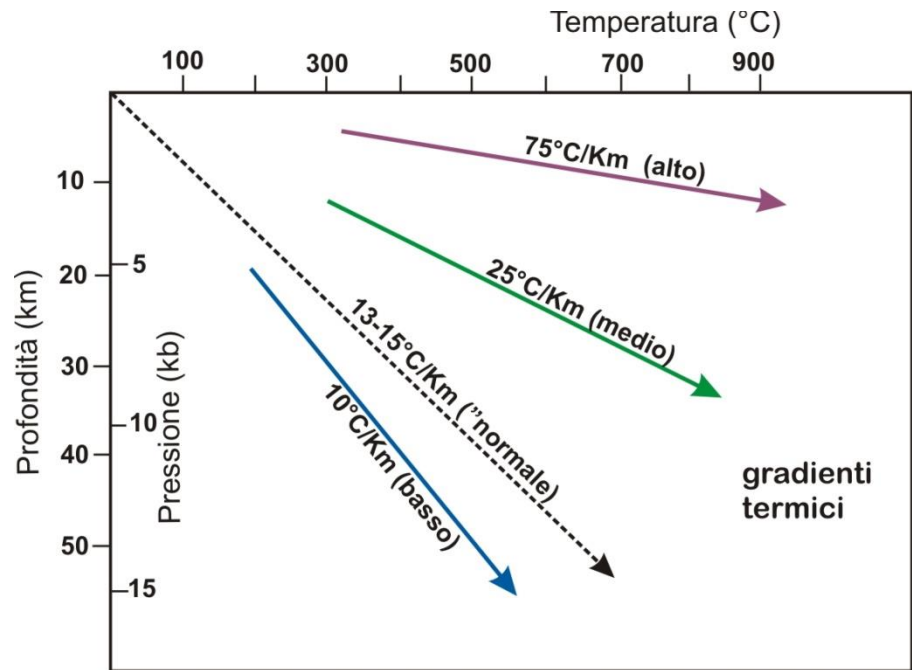
Distribuzione omogenea dei componenti chimici e quindi delle fasi mineralogiche (caso A)



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



GRADIENTI TERMICI – TIPI DI METAMORFISMO



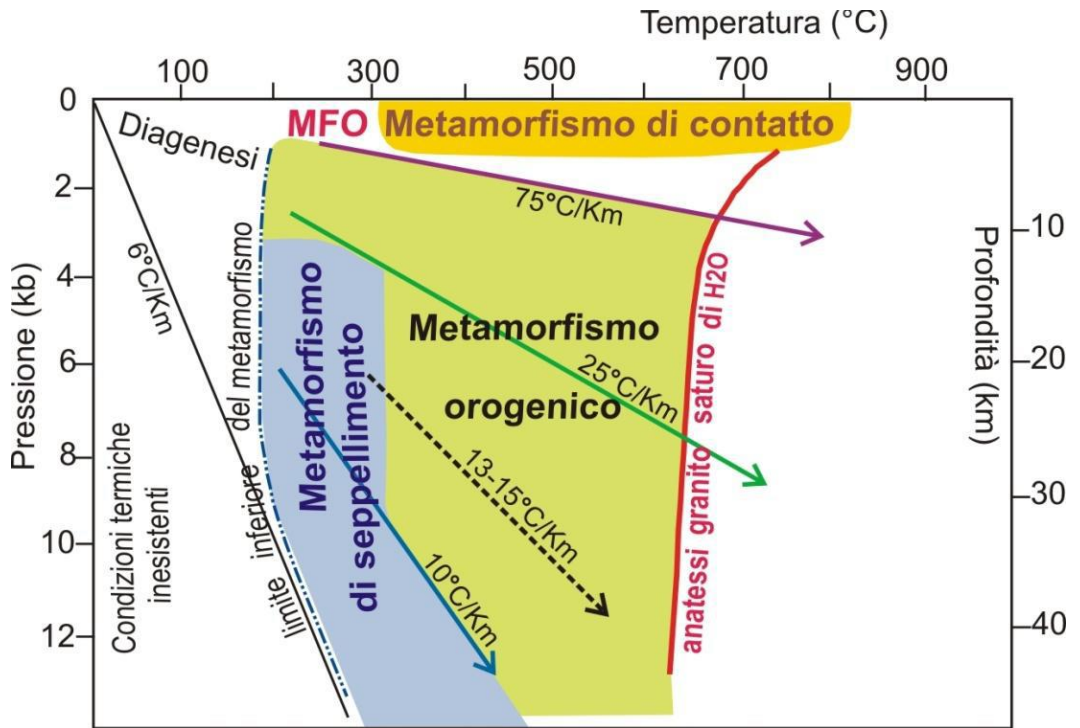
- Gradiente termico "normale"
($\equiv 1 \text{ HFU} = 1 \cdot 10^{-6} \text{ cal cm}^{-2} \text{ sec}^{-1}$)
- Gradiente termico intermedio
- Gradiente termico alto
- Gradiente termico basso

- MFO** Metamorfismo di Fondo Oceanico
 - Met. Orogenico
 - Met. Seppellimento & Subduzione
 - Met. Contatto
- estensione regionale (grouped with MFO, Met. Orogenico, Met. Seppellimento & Subduzione)
- estensione locale (pointing to Met. Contatto)

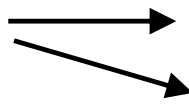
TIPI DI METAMORFISMO

Estensione geologica

COLLOCAZIONE GEOLOGICA

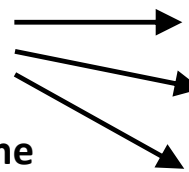


**METAMORFISMO A
SCALA LOCALE**
qualche km di estensione



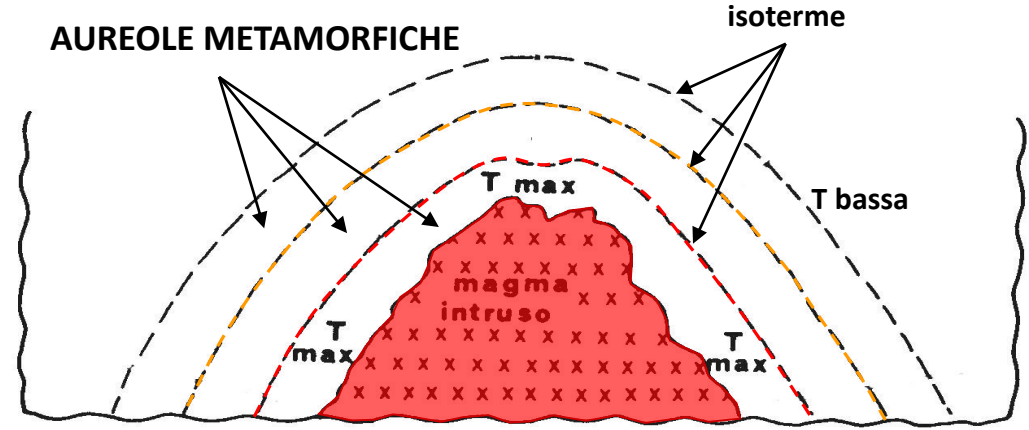
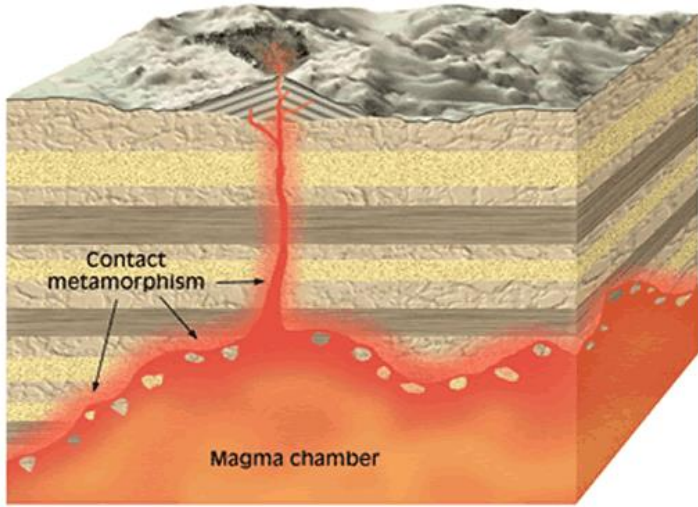
**CONTATTO o TERMOMETAMORFISMO
di CATACLASI**

**METAMORFISMO A
SCALA REGIONALE**
migliaia km² di estensione



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

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



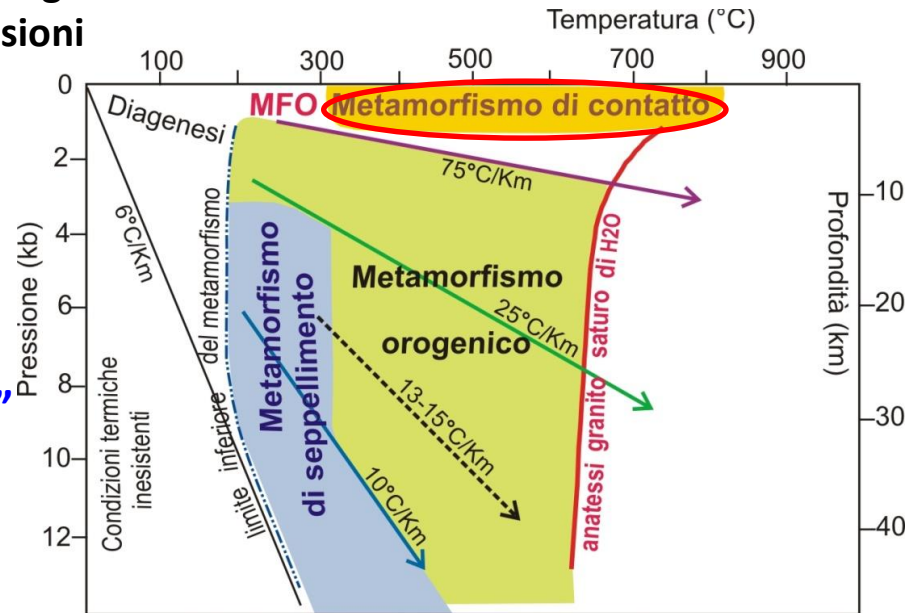
► riscaldamento delle rocce incassanti da parte di intrusioni magmatiche a bassa profondità (5 - max 10km; P max \approx 3kbar) – produzione di **AUREOLE METAMORFICHE**

► 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

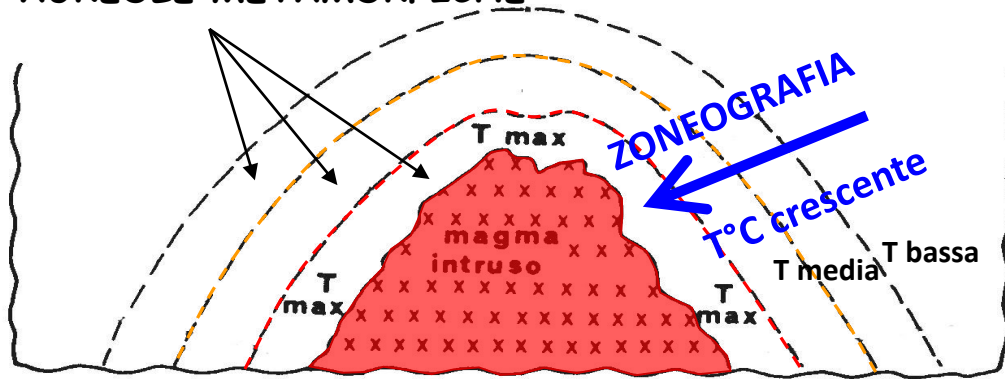
► METAMORFISMO **TERMICO** – **STATICO**
di ALTO/ALTISSIMO GRADIENTE TERMICO (>70-75°C/km)

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
"INQUINATE"

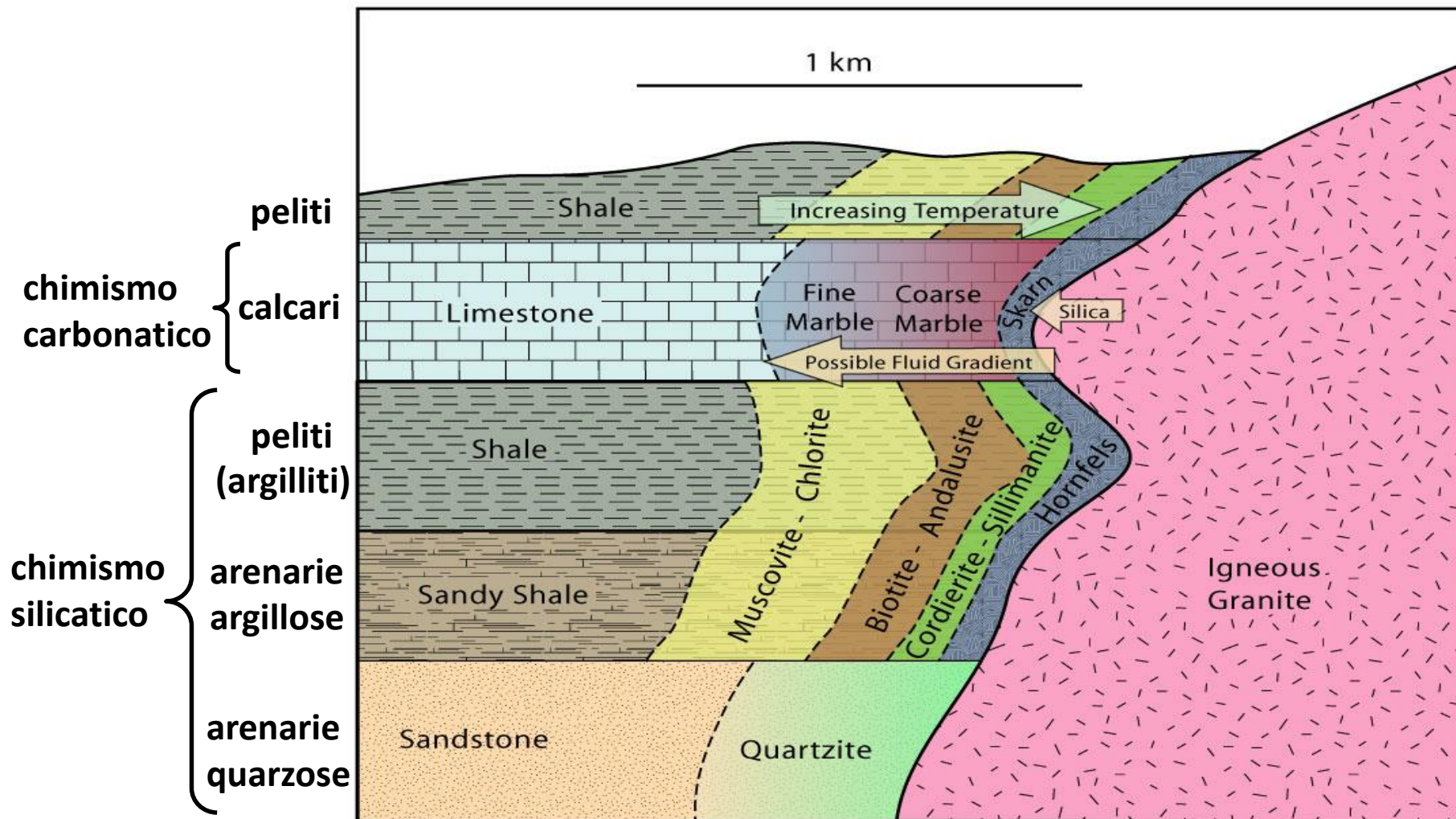
→ **CASO DI SISTEMA CHIMICO APERTO**



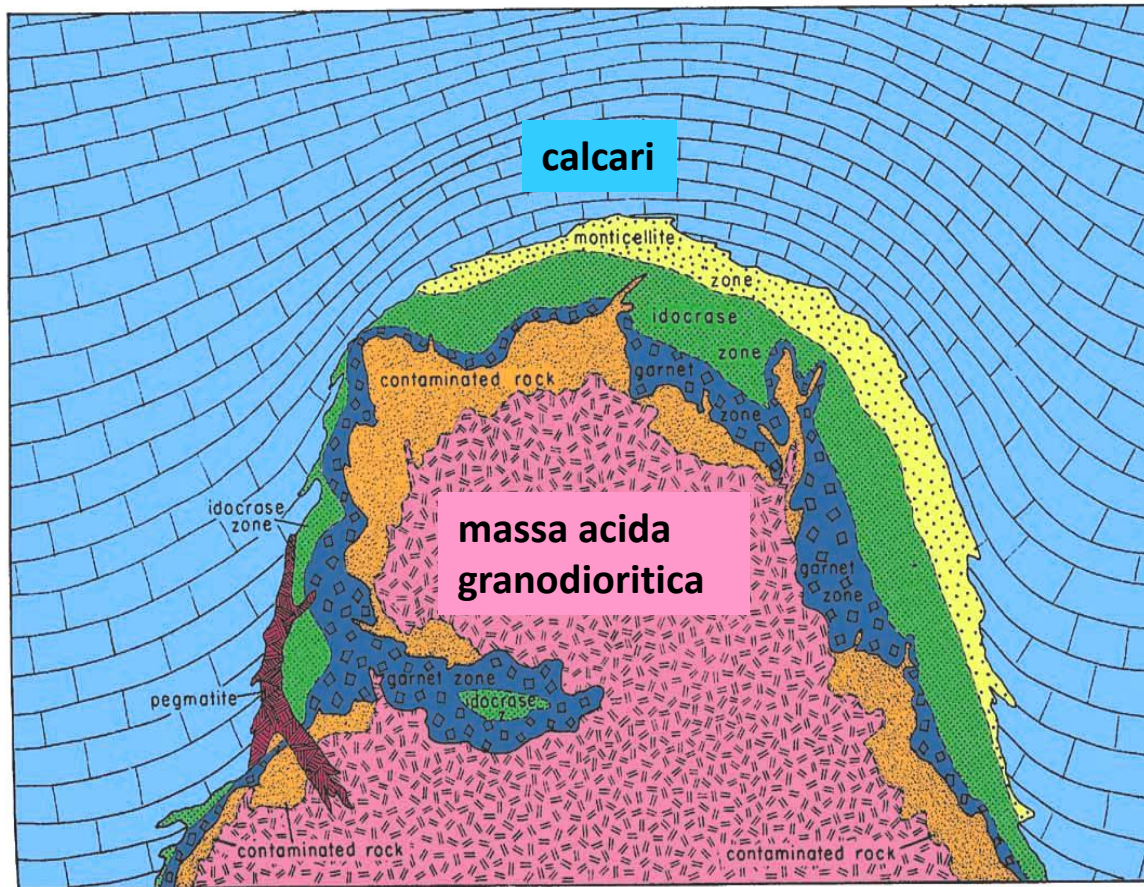
**METASOMATISMO
METAMORFICO**

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 CaCO_3

+

monticellite

**idocrasio
(vesuviana)**

**Ca-granato
grossularia**

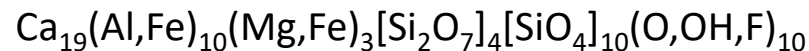
**SKARN
roccia
contaminata**

aumento T°C

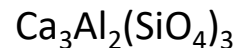
Monticellite



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)

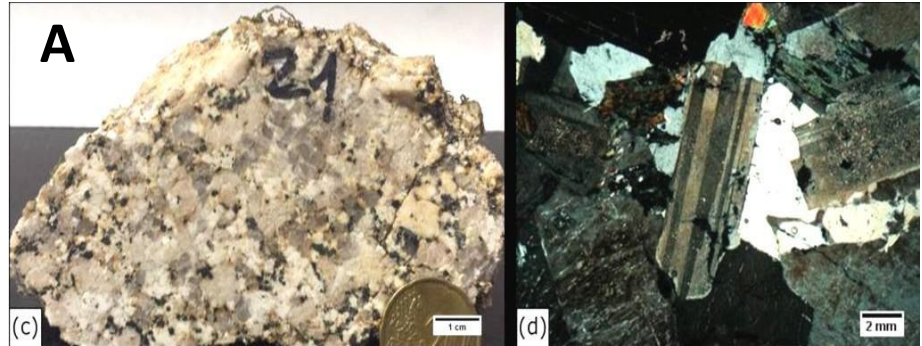
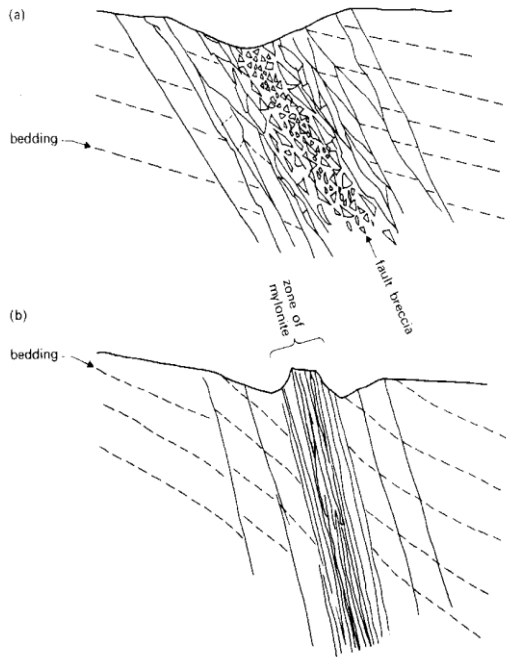
METAMORFISMO A SCALA "LOCALE" : DI CATACLASI o DISLOCAZIONE

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

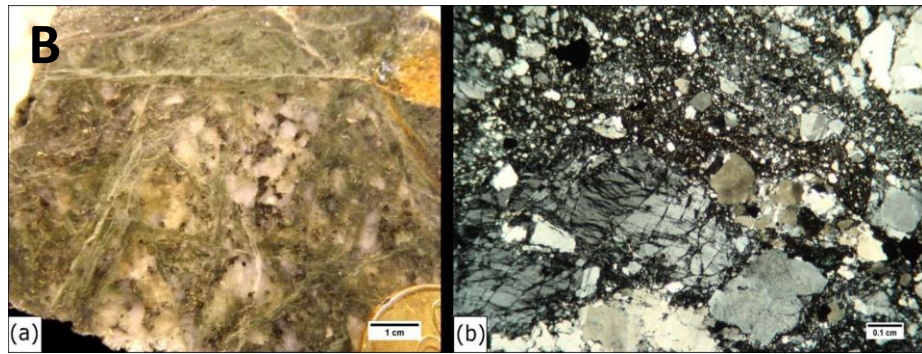


Brecce di faglia → cataclasiti → pseudotachiliti tachiliti → miloniti → ultramiloniti blastomiloniti

↓
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)

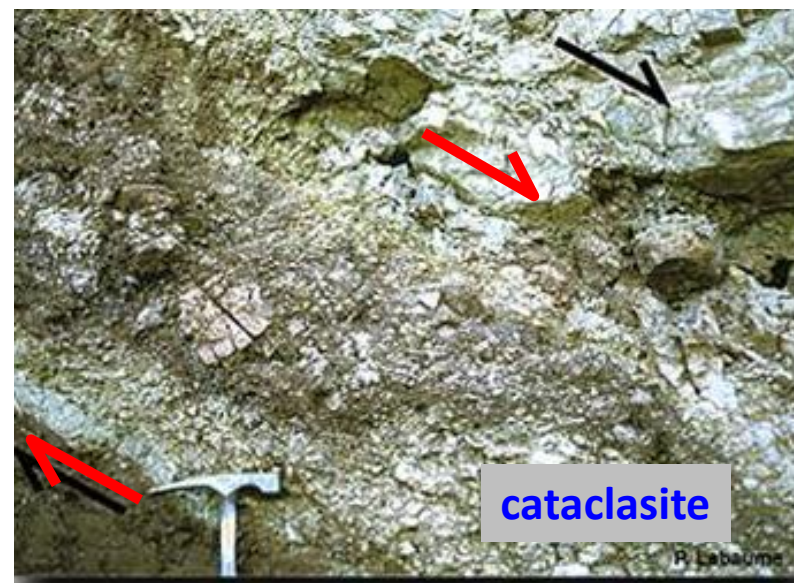


B : stesso granito campionato lungo una faglia (Cremosina Line), con tessitura cataclastica/milonitica (frammenti di cristalli e matrice a grana fine)



breccia di faglia

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



cataclasite

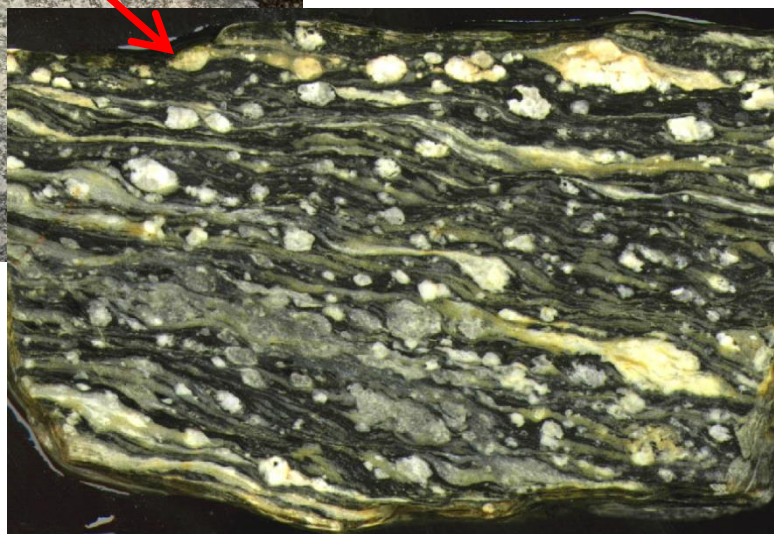
P. Labaume



milonite

milonite

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



tachilite
con presenza di
vetro prodotto dal
calore di frizione



METAMORFISMO REGIONALE : OROGENICO

o di COLLISIONE (o DINAMO-TERMICO)

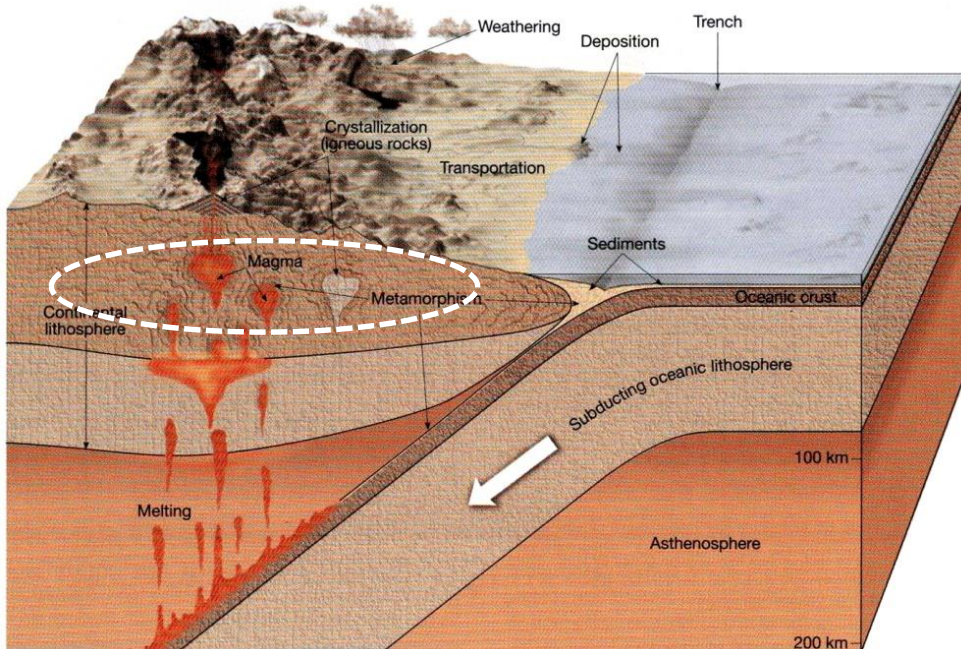
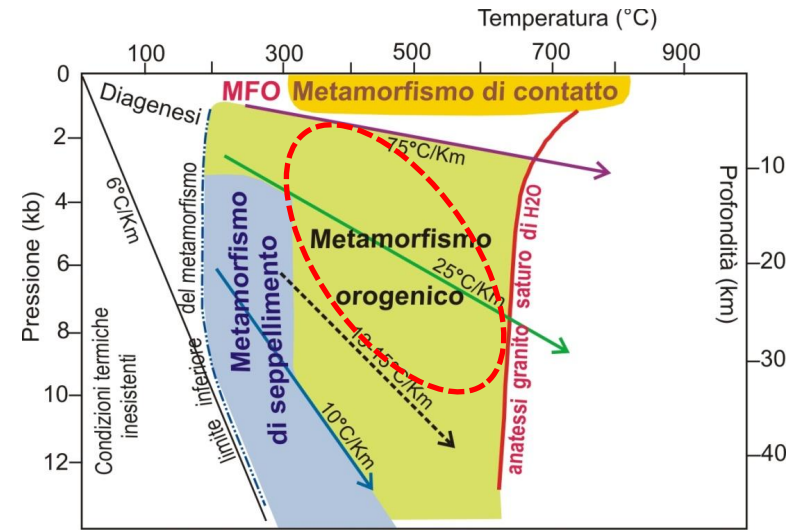
- ▶ Relazionato alle cinture orogeniche
- ▶ Coinvolge migliaia di km² di estensione

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



1

COLLOCAZIONE GEODINAMICA

Zona di collisione tra le
placca oceanica-continentale



Sede di magmatismo



flusso termico "anormale"



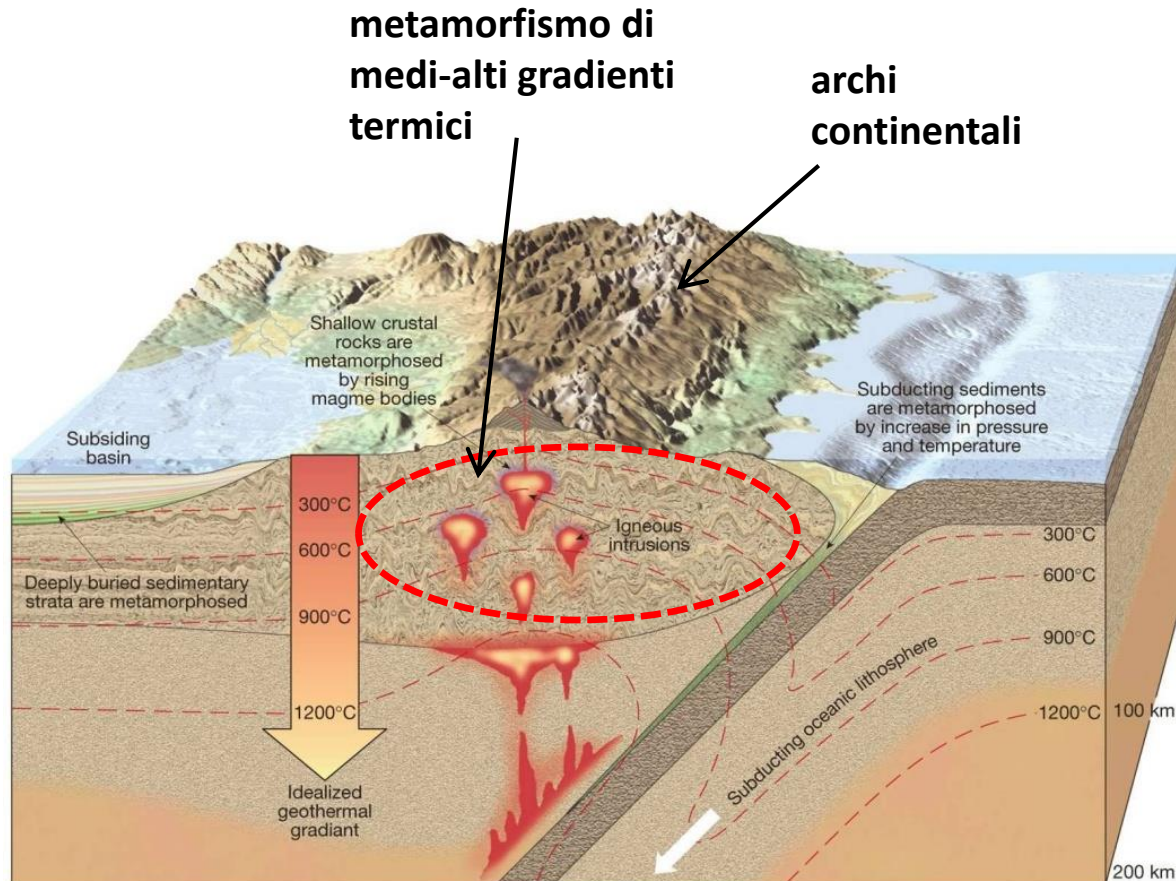
gradienti geotermici
superiori al normale

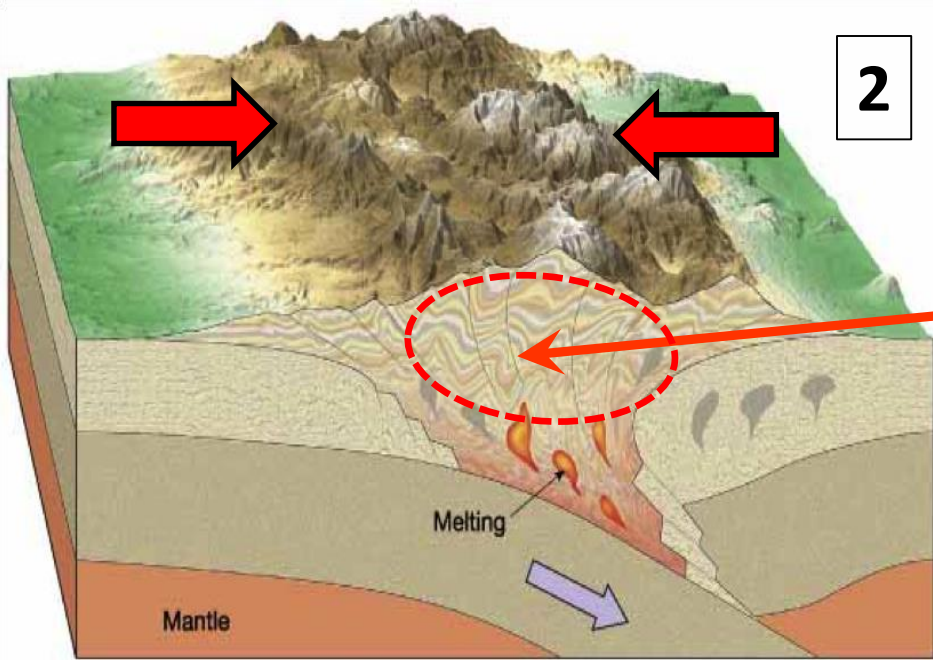
METAMORFISMO REGIONALE : OROGENICO o di COLLISIONE (DINAMO-TERMICO)

- ❑ 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**



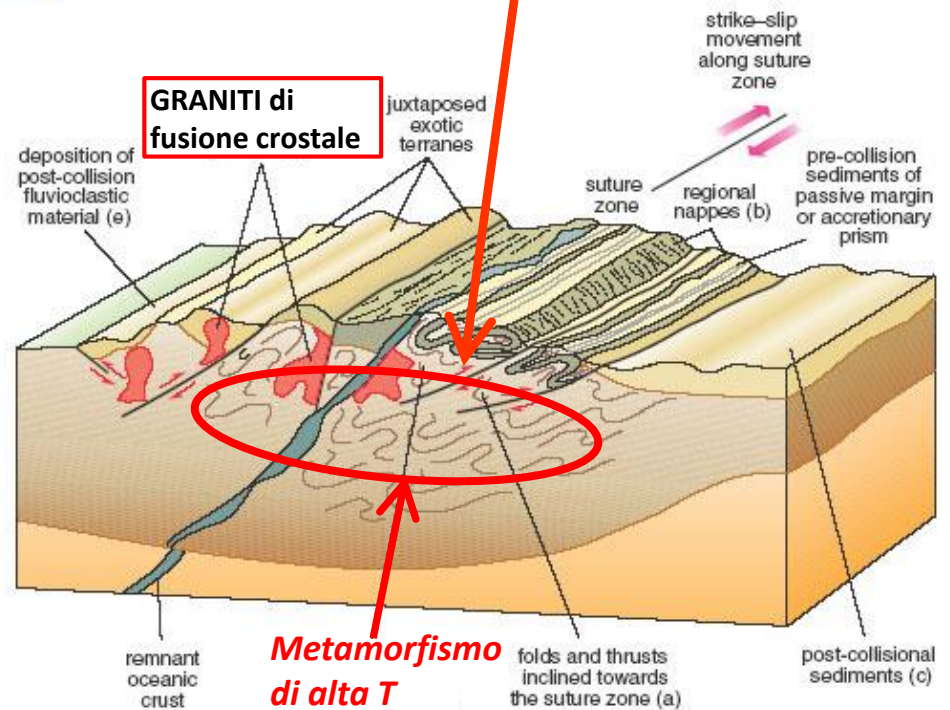


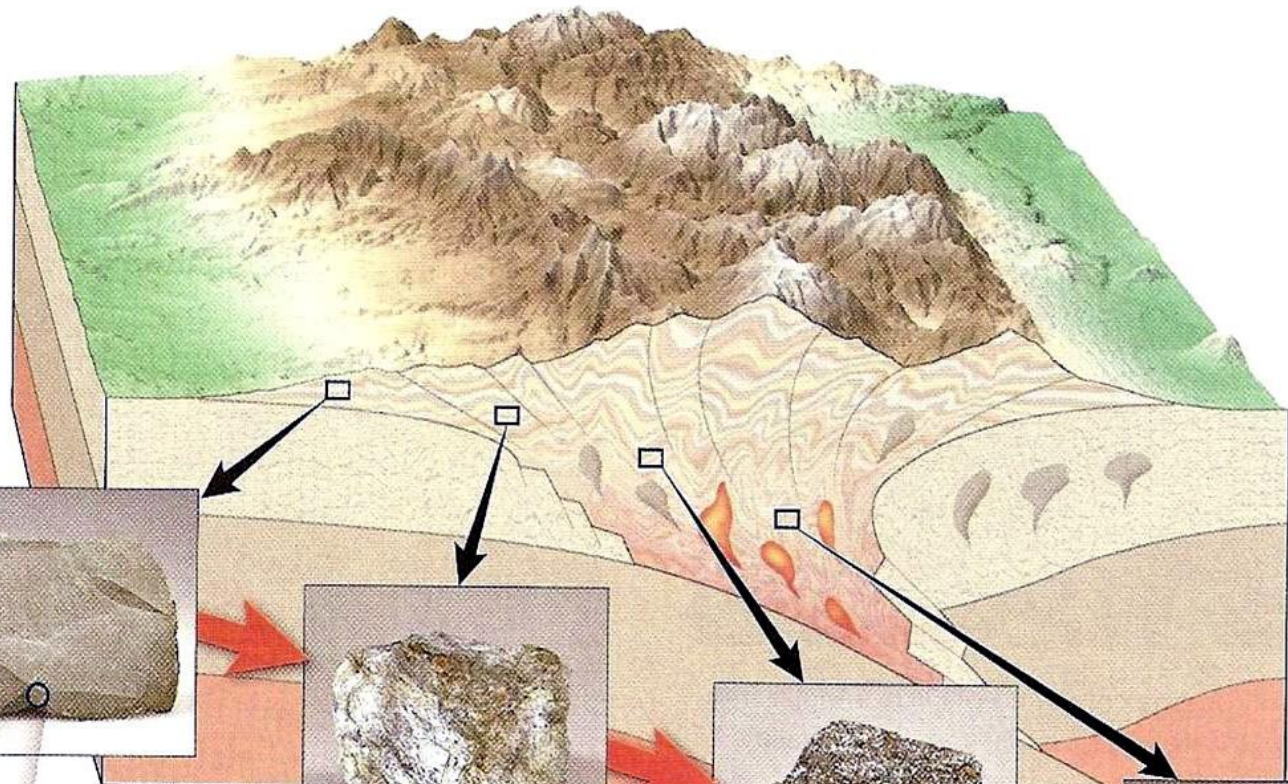
2



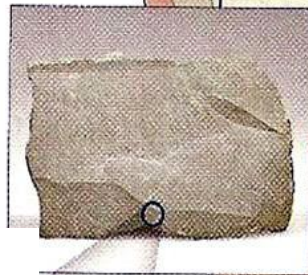
METAMORFISMO REGIONALE OROGENICO (o di COLLISIONE)

- ❑ 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



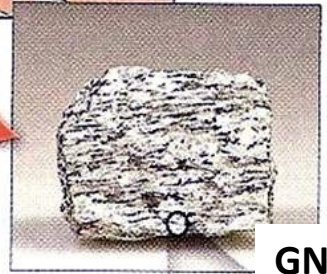
FILLADE



SCISTO



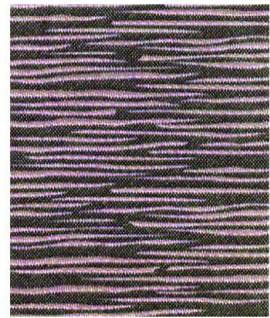
GNEISS



**METAMORFISMO
REGIONALE DI COLLISIONE
STRUTTURE ORIENTATE**

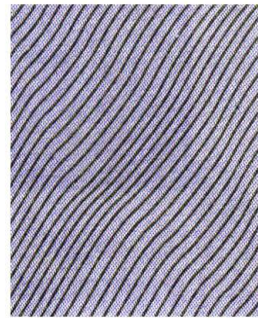
roccia di partenza
pelitica- ARGILLITE

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 :

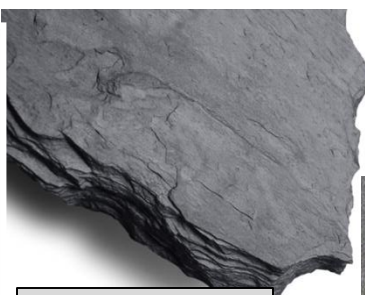
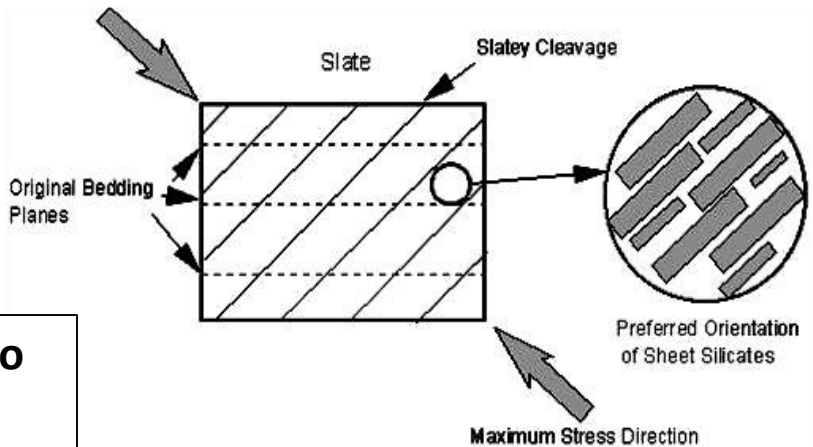
META- : prefisso associato ad una r. magmatica/sedimentaria indicante la trasformazione in r. metamorfica

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

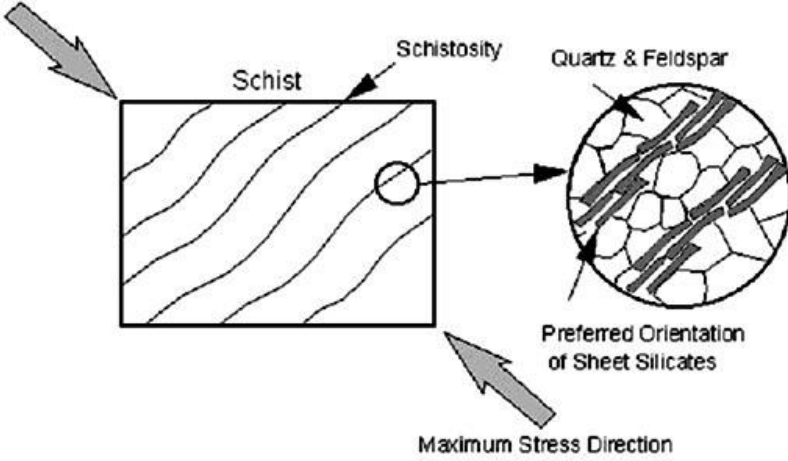
**Cambiamento
dei caratteri
strutturali
all'aumentare
del grado
metamorfico,
cioè della
TEMPERATURA**



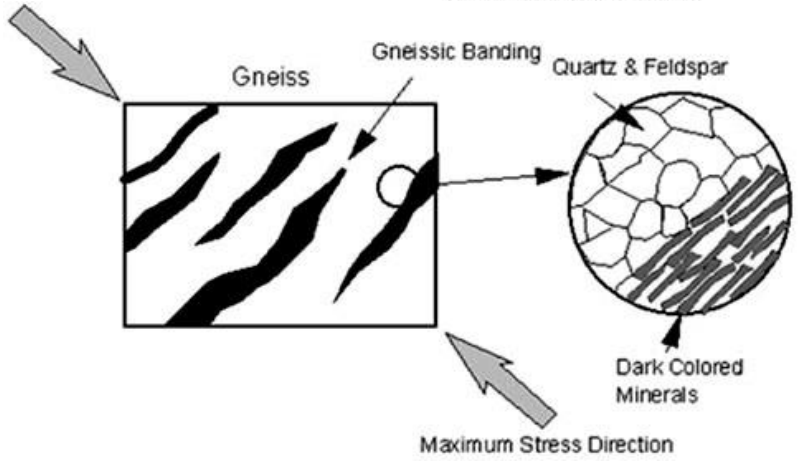
**argilloscisto
(ardesia)**



fillade



scisto



gneiss



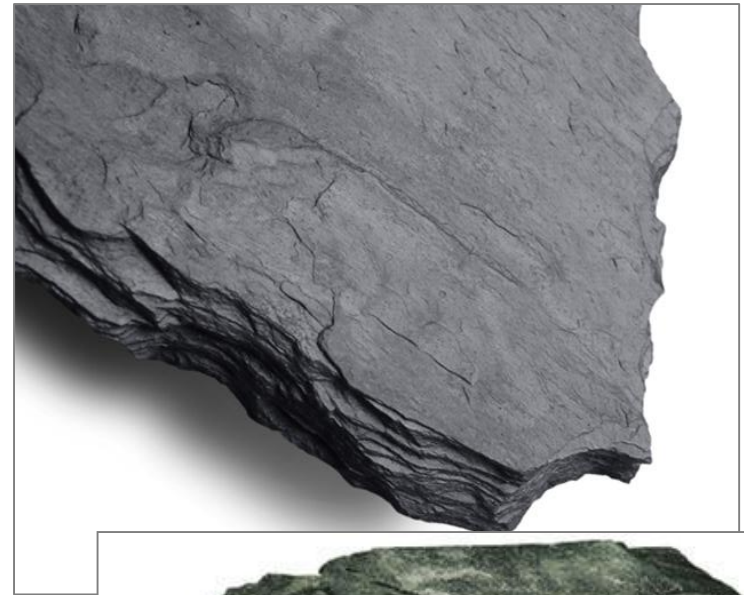
ARGILLITE (roccia pelitica) PROTOLITO

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



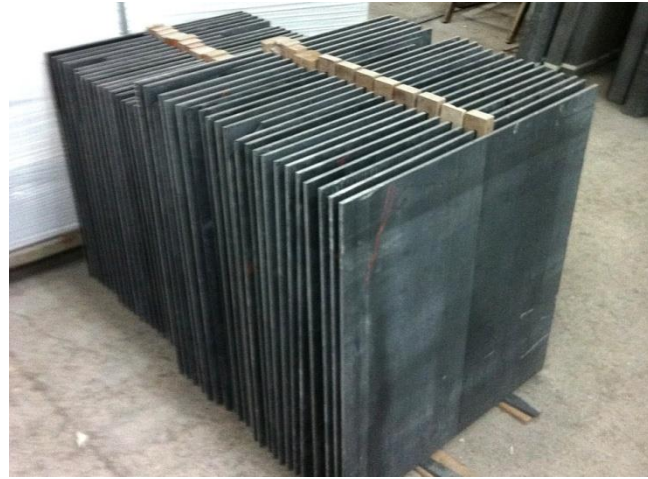
ARGILLOSCISTO o ARDESIA

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

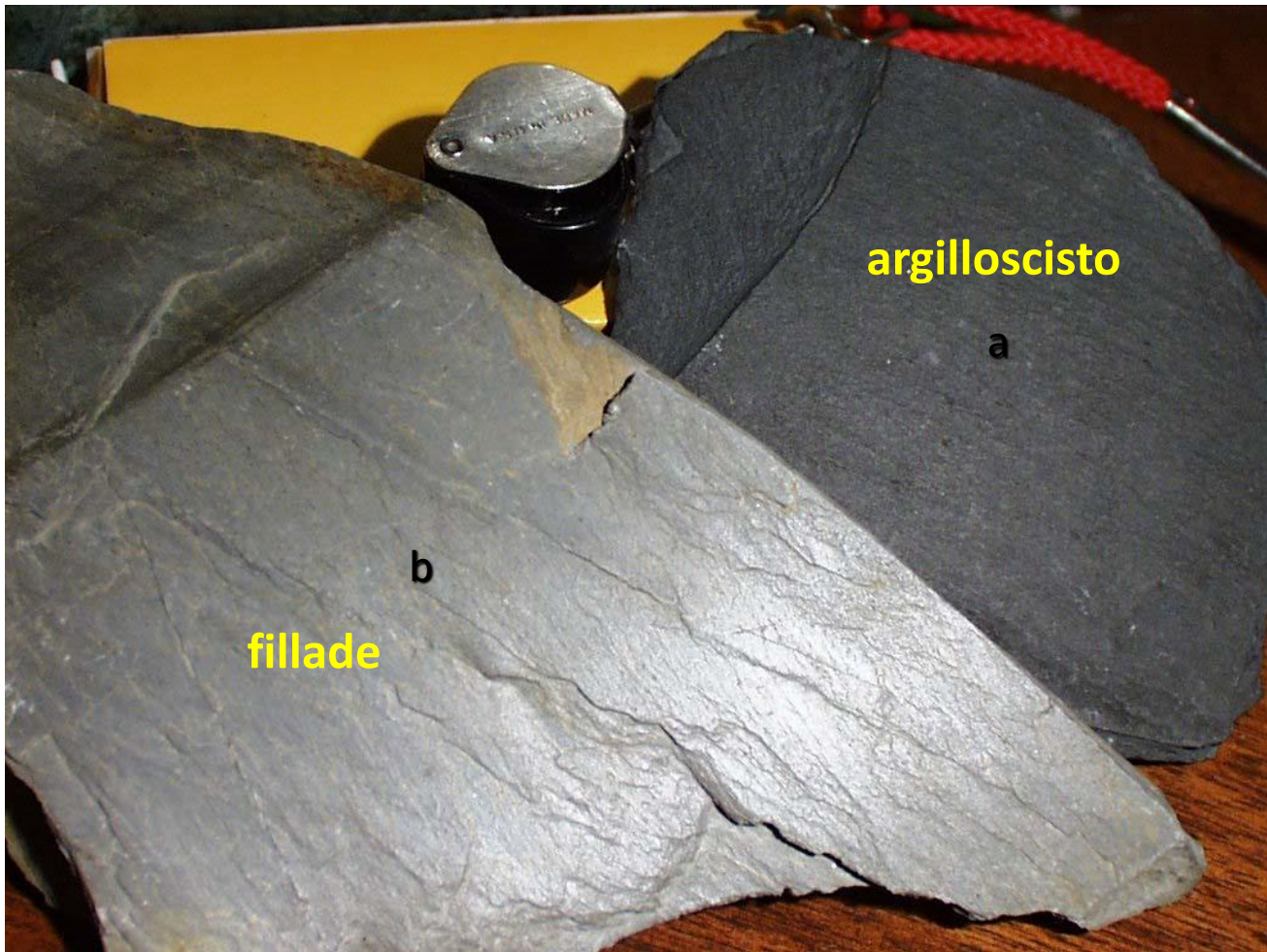
UTILIZZI



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 ($T \approx 300-350^{\circ}\text{C}$)





argiloscisto

a

b

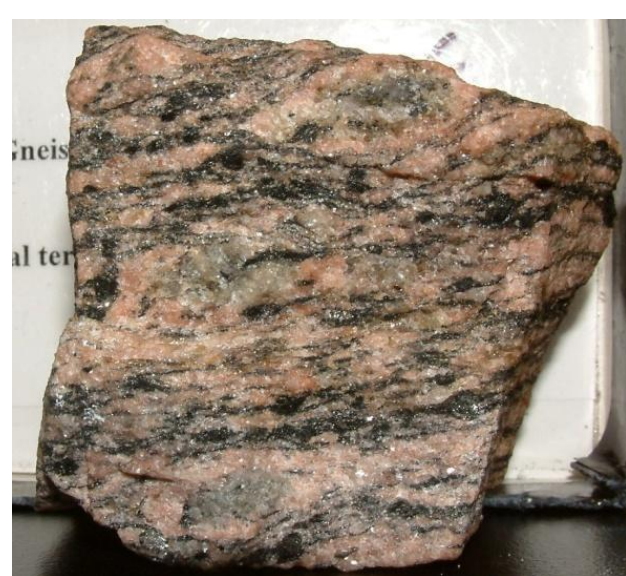
fillade

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≈ 400-600°C)

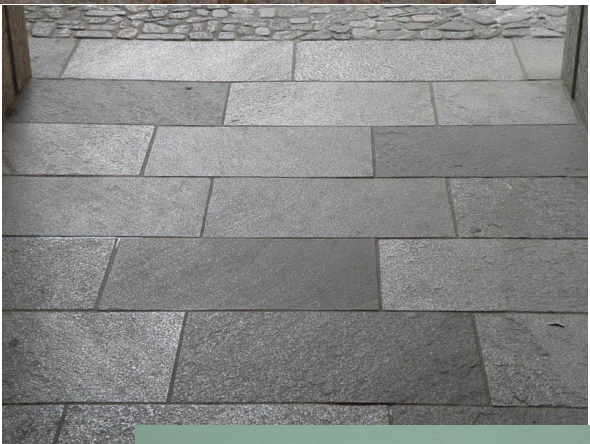


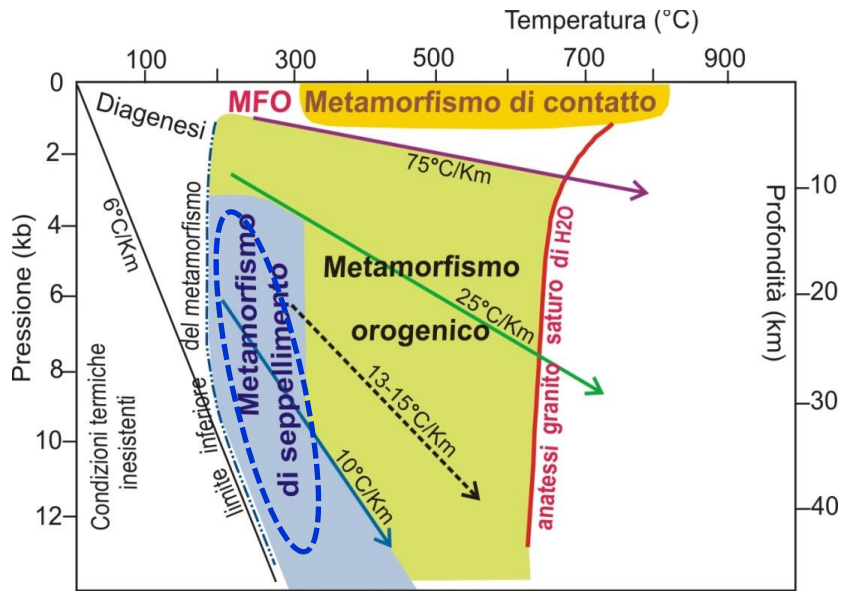
GNEISS

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 ($T > 600^{\circ}\text{C}$)

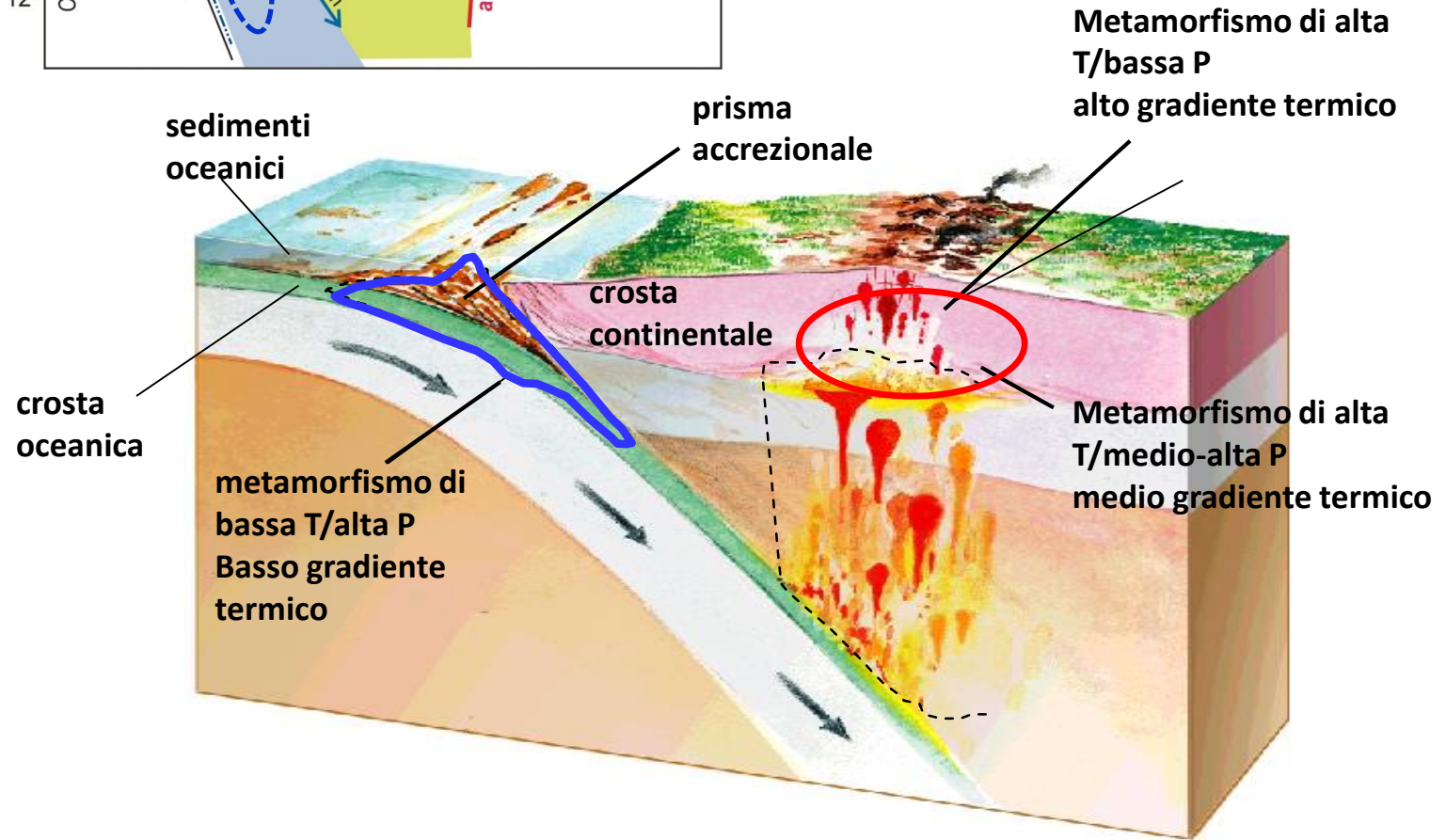


GNEISS Termine commerciale SERIZZO





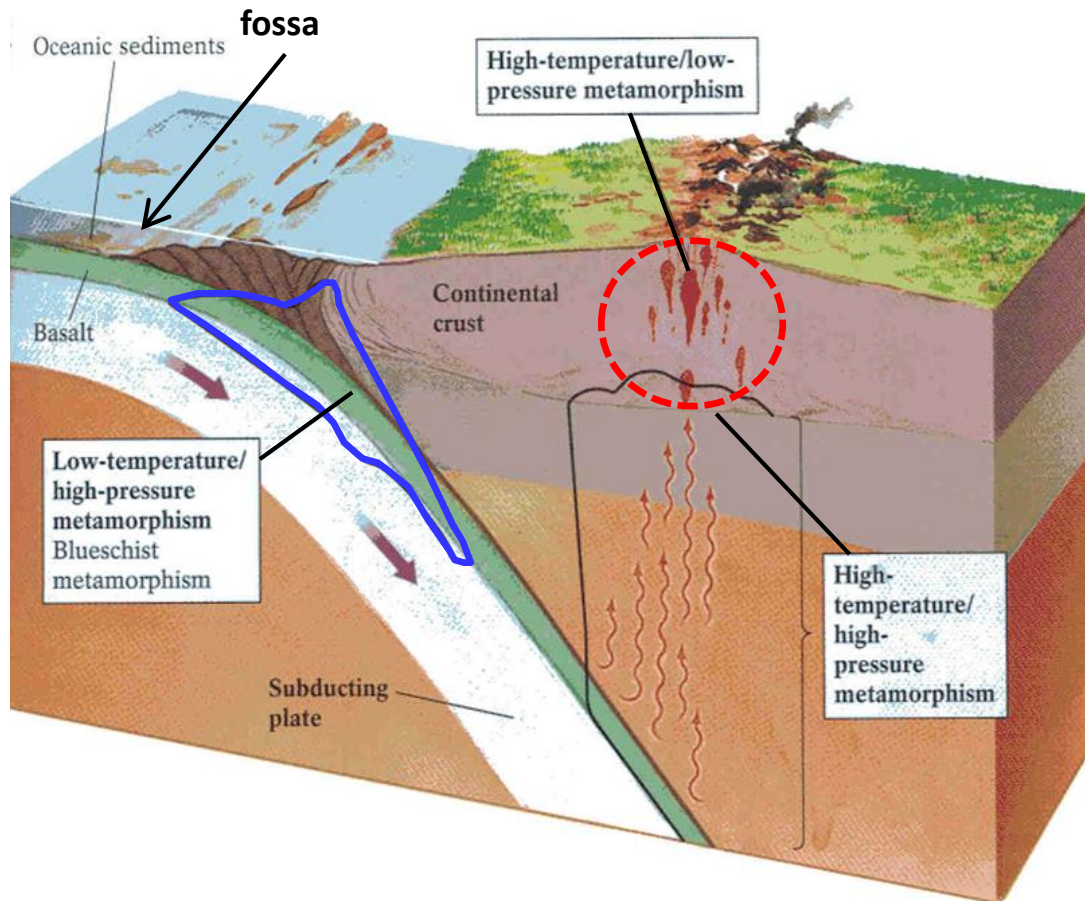
METAMORFISMO REGIONALE : di SEPPELLIMENTO & SUBDUZIONE



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



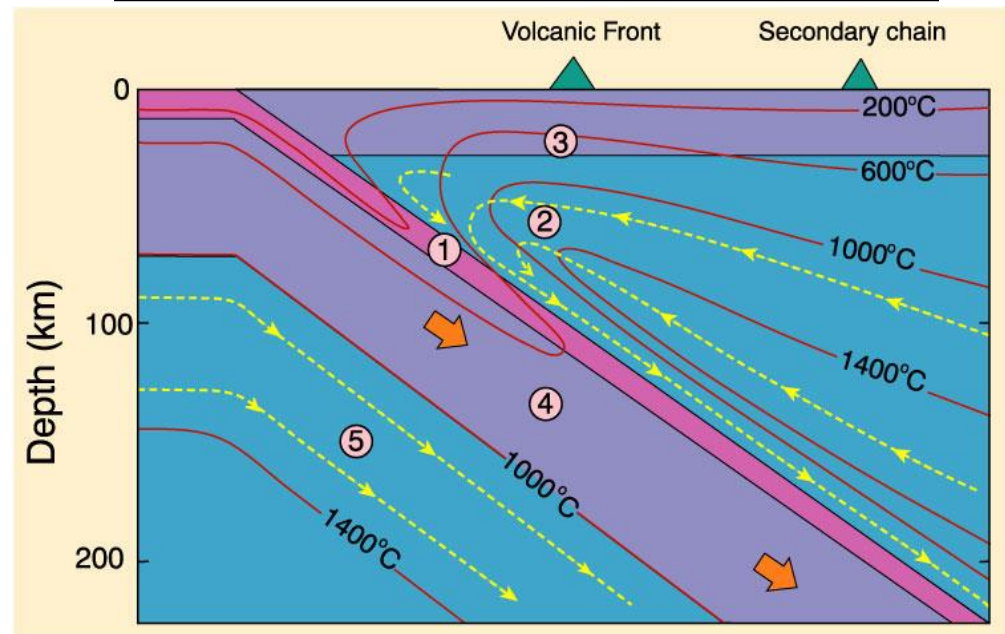
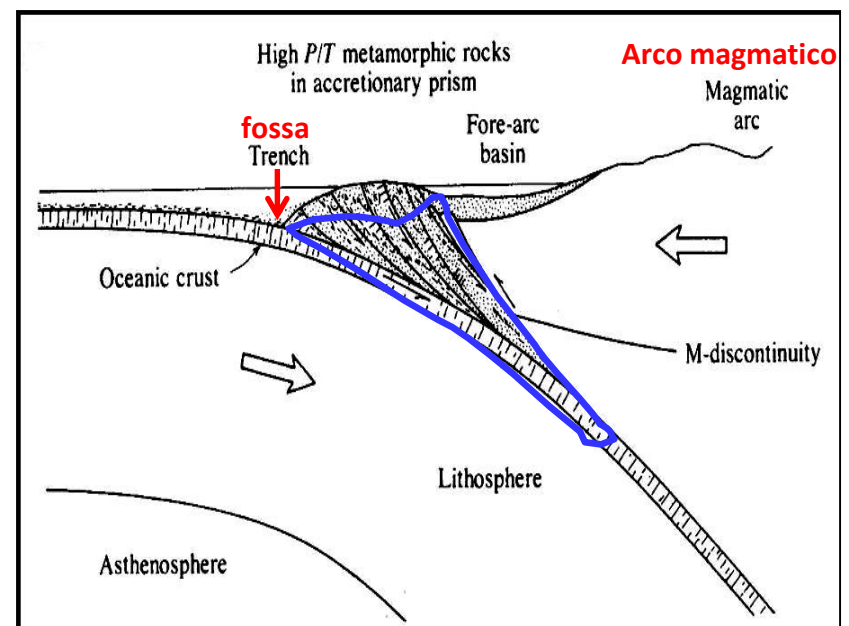
Cambiamenti strutturali spesso poco evidenti

Cambiamenti mineralogici in f.ne della Pressione

in corrispondenza della zona di subduzione si crea una **fossa** (“trench”- una profonda depressione in forte subsidenza che richiama una veloce sedimentazione) e anche un impilamento caotico di sedimenti “freddi” e rocce “fredde” della crosta oceanica **detto prisma accrezionale**.

In questo spazio le geoterme si deprimono: se la velocità di subduzione è relativamente alta, e considerando la bassissima conducibilità termica delle rocce, sedimenti + crosta oceanica subdotti raggiungono ancora “freddi” elevate profondità e subiscono un metamorfismo di bassa T°C e alta/altissima P.

Le trasformazioni mineralogiche sono molto evidenti nelle rocce basiche, mentre le rocce pelitiche/semipelitiche sono molto meno reattive



NOTA: In corrispondenza della fossa-subduzione la geoterma dei 600°C si trova a 100 Km di profondità, mentre a 20 Km sotto gli archi vulcanici

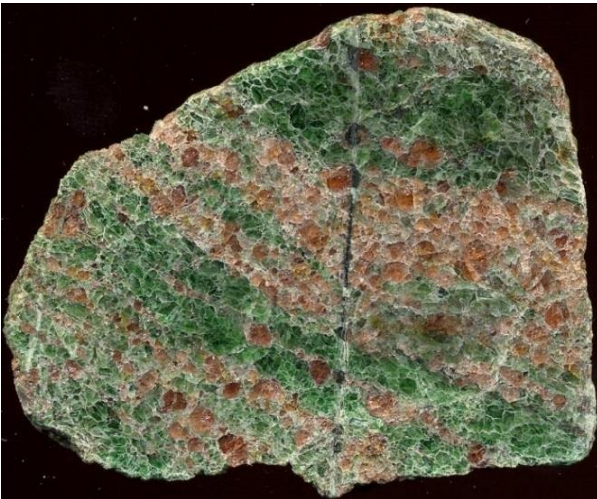
ROCCE METAMORFICHE DI ALTA/ALTISSIMA PRESSIONE

Scisto blu (California)



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

Eclogite

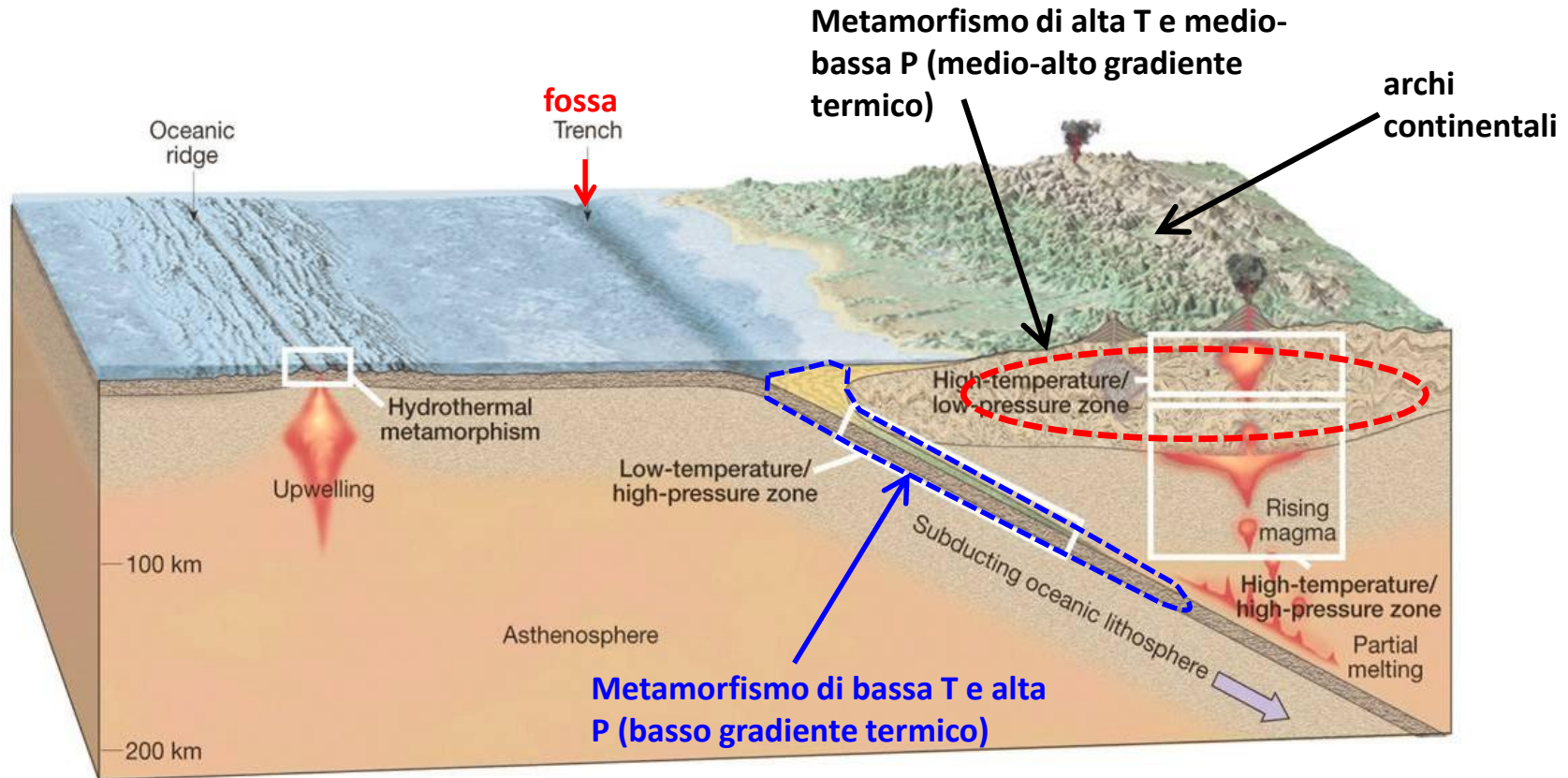


Onfacite (verde)
(Na-pirosseno)

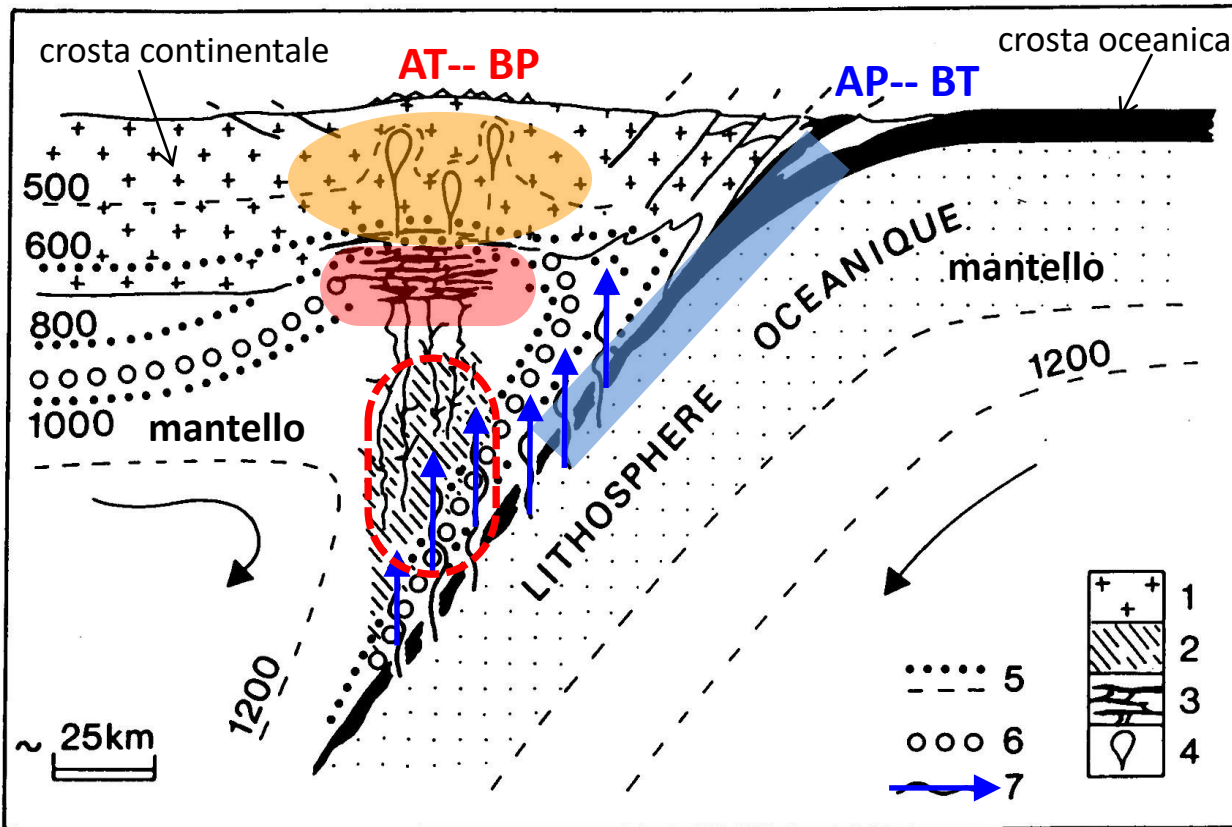
Granato
(rosso)

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

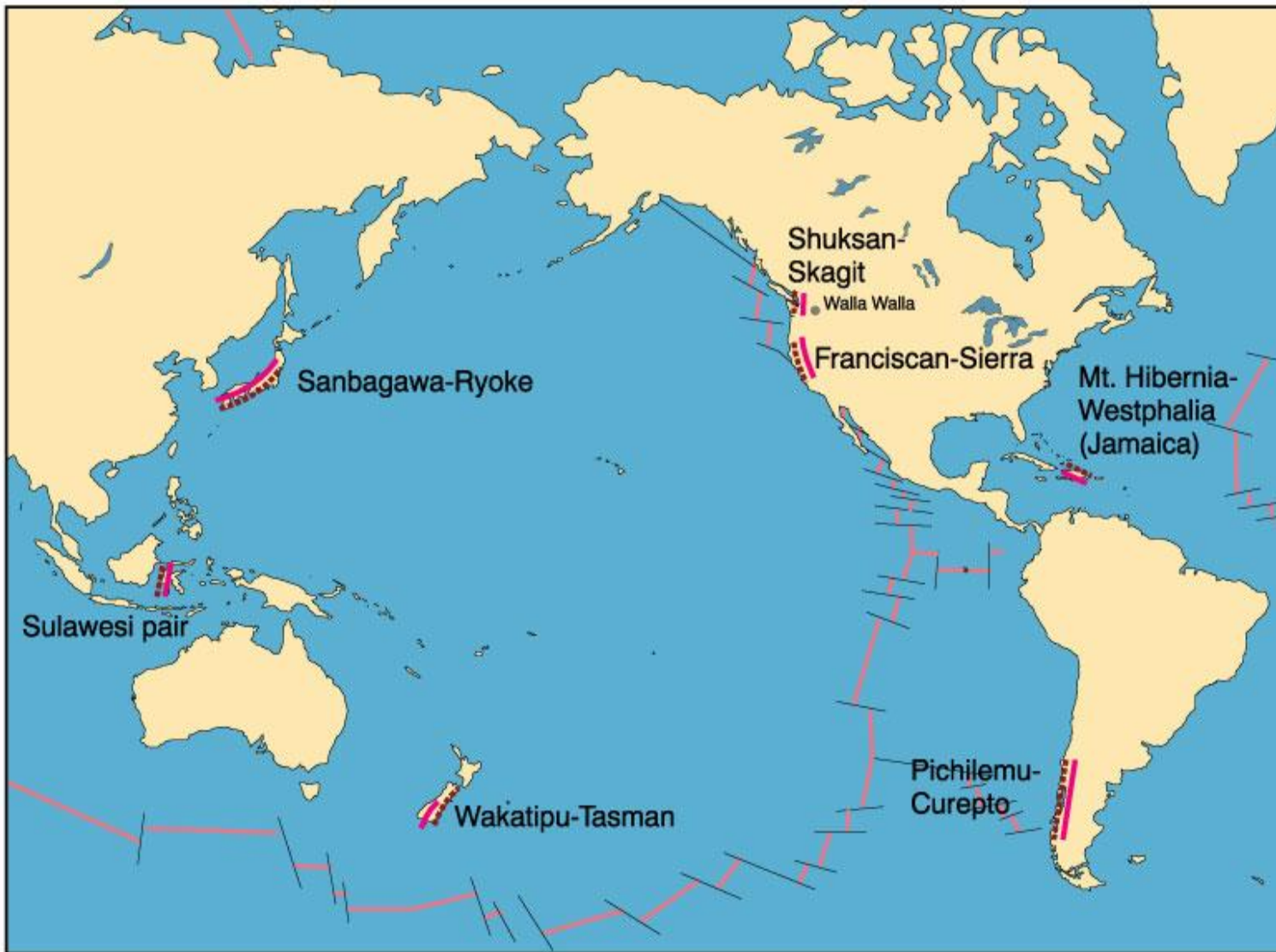
6 solidus idrato peridotite

7 H₂O-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 H₂O-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

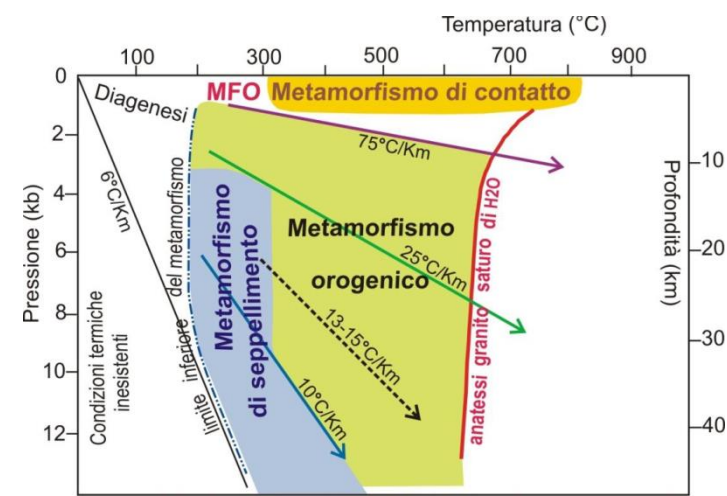
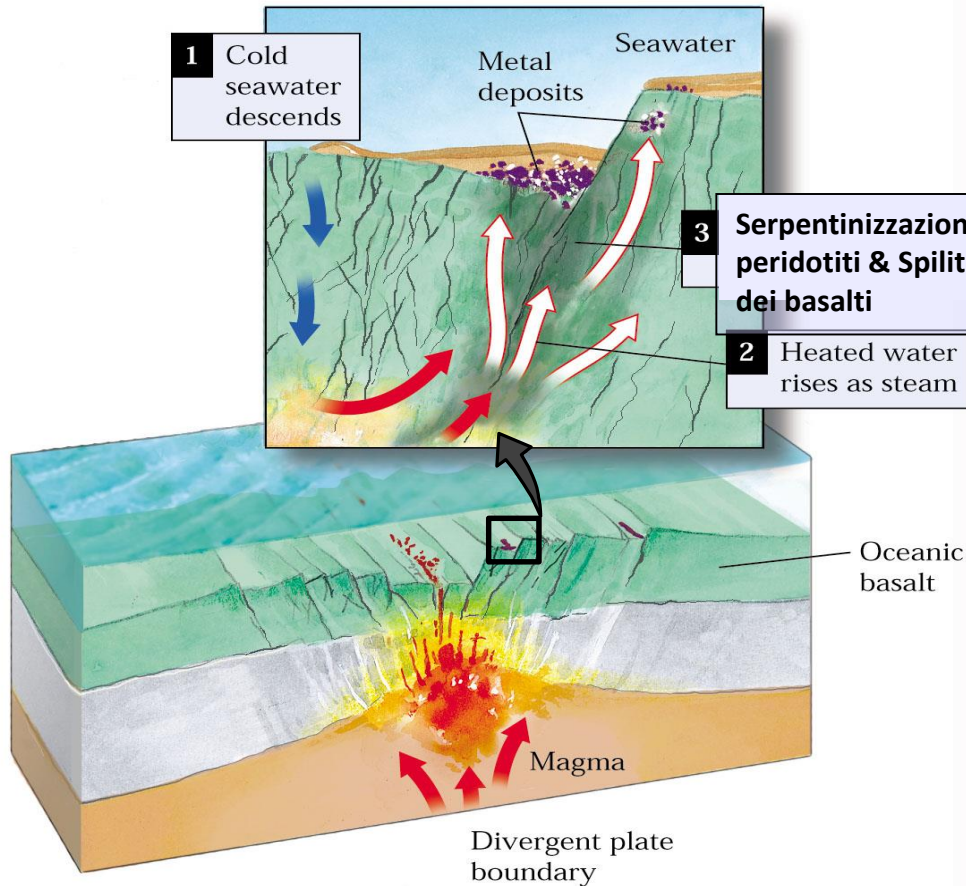


- serie metamorfica di bassa T/alta P
- serie metamorfica di alta T/bassa P

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'H₂O, favorito dalla fratturazione delle rocce
- effetti prodotti : idratazione della crosta oceanica (da paragenesi anidre a idrate) + produzione di CaCO₃ 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 H₂O-fluidi che innescano la fusione parziale del mantello sottocontinentale.