

METAMORFISMO E ROCCE METAMORFICHE

- **Cause e variabili del metamorfismo**
- **I tipi di metamorfismo**
- **Le rocce metamorfiche**



I FENOMENI METAMORFICI

Processi di **trasformazione** di rocce preesistenti, in seguito a condizioni di pressione (P) e temperatura (T°C) diverse rispetto a quelle alle quali le rocce si sono formate



cambia l'equilibrio energetico del sistema roccia



Si attivano trasformazioni COMPOSIZIONALI E STRUTTURALI per raggiungere un nuovo equilibrio.

Le trasformazioni metamorfiche avvengono all'interno della Terra, a profondità comprese tra 5 e 40 km circa, in un campo di deformazione plastico-viscoso detto **sub-solidus**:
alte temperature ma senza fusione



LA TEMPERATURA

E' la causa principale del metamorfismo:
l'aumento della T°C determina l'aumento delle oscillazioni termiche degli atomi con l'indebolimento e la rottura dei legami reticolari delle fasi cristalline costituenti le rocce. Gli atomi così sono in grado di svincolarsi dai reticoli cristallini e muoversi nel fluido intergranulare.



Si innescano dunque delle reazioni metamorfiche che portano alla modificazione delle specie mineralogiche della roccia



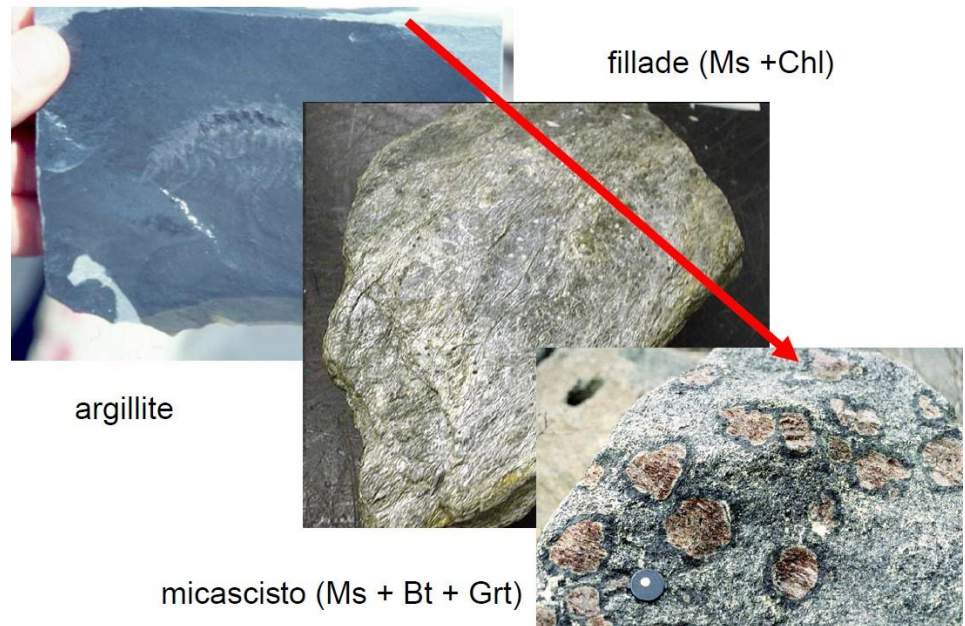
E' lo stesso fenomeno che avviene nel processo di fusione: tuttavia, mentre nella fusione tutti i reticoli collassano contemporaneamente, nell'attivazione metamorfica in un dato momento si rompono solo i legami reticolari che risultano instabili a quelle condizioni T-P.

TRASFORMAZIONI COMPOSIZIONALI

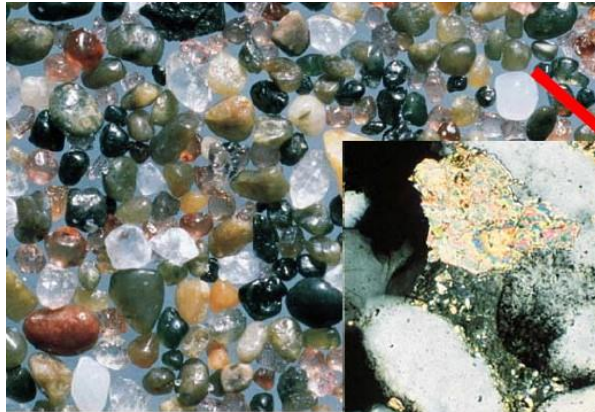
- **NEOFORMAZIONI:** compaiono nuove specie mineralogiche caratteristiche (la composizione chimica globale resta pressoché invariata)

Le argille si trasformano prima in Ms= **muscovite** e Chl= **clorite** formando una FILLADE, poi, all'aumentare delle temperature, la clorite si trasforma in Bt= **biotite** e Grt= **granato** e si forma un MICASCISTO A GRANATI

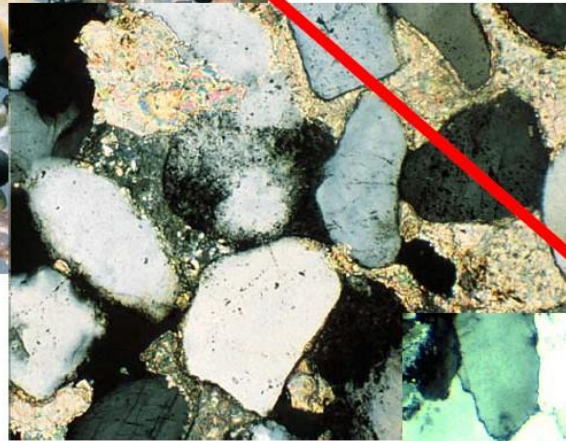
Rinnovamento mineralogico



➤ **RINNOVAMENTO STRUTTURALE:** i minerali **ricristallizzano**, senza cambiare composizione chimica ma diventano più grandi o meglio formati

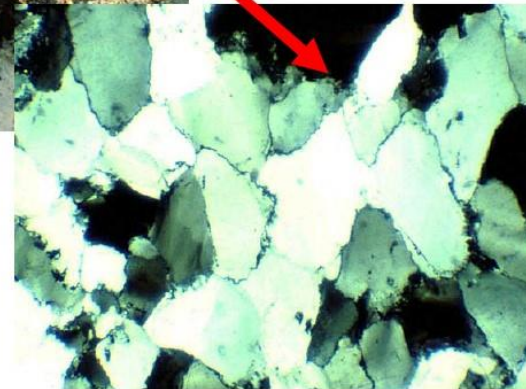


sedimenti
incoerenti



arenaria
roccia sedimentaria

Rinnovamento strutturale



quarzite
roccia metamorfica

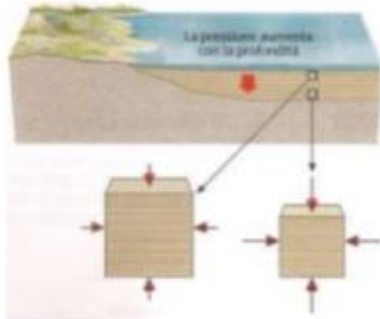
Una sabbia quarzosa
ricristallizza in una quarzite

LA PRESSIONE



Non è la causa del metamorfismo ma ne condiziona i prodotti

litostatica
(generata dalla profondità)
agisce in tutte le direzioni



diminuzione di volume

dilatazione e compressione

orientata
(generata dalle spinte tettoniche)



deformazione delle rocce

produce strutture che sono indicatrici del **comportamento duttile**.

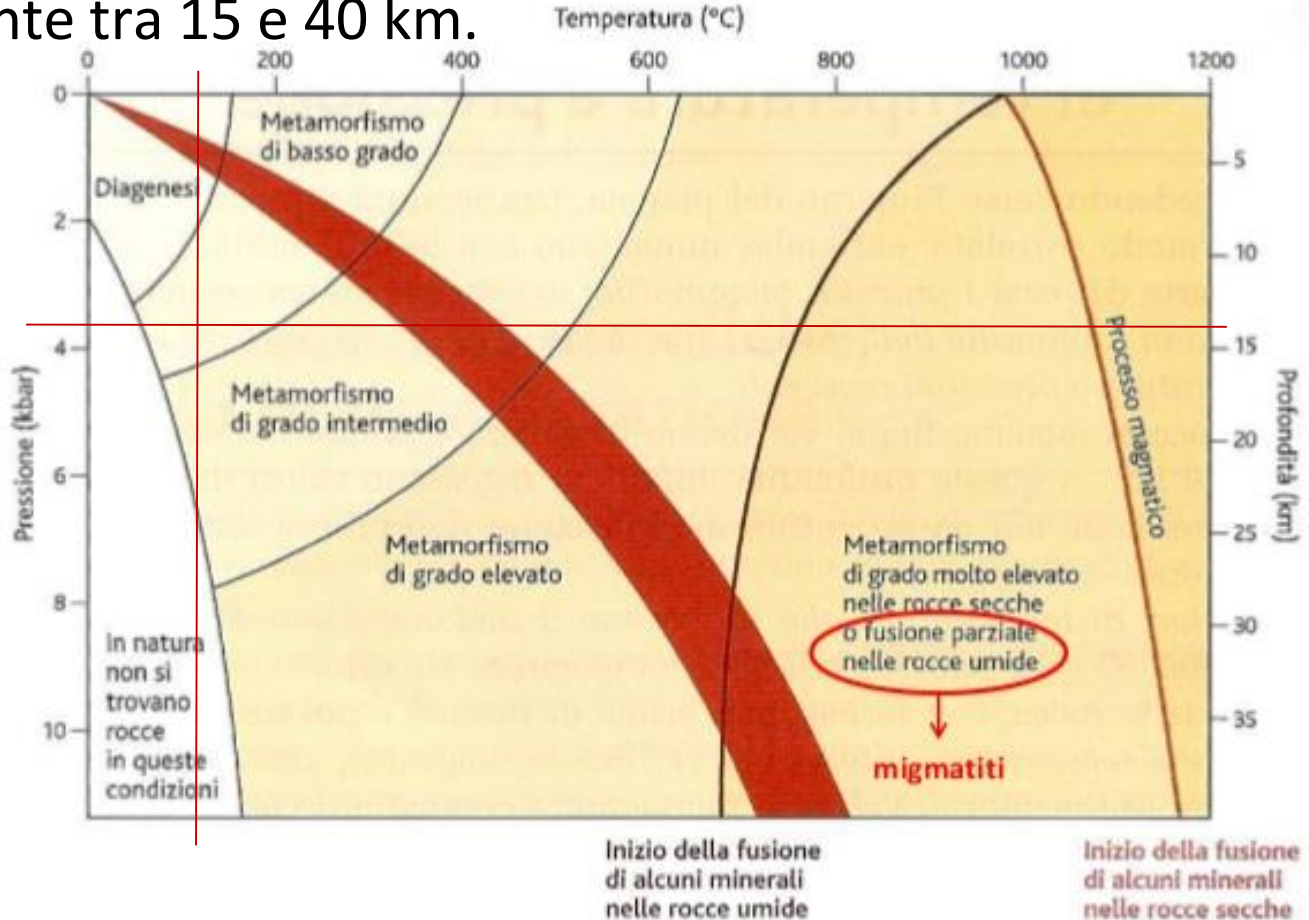
deformazioni di forma: distorsione.

Cristalli e aggregati di cristalli esistenti vengono deformati, mentre i cristalli che si formano per effetto delle reazioni metamorfiche in corso riflettono nella loro localizzazione, nelle dimensioni, nella forma e nell'orientazione il quadro dinamico vigente.



Il campo di T°C e P dei processi metamorfici è compreso tra quello dei processi sedimentari di diagenesi e quello del magmatismo, sempre all'interno della crosta terrestre, mediamente tra 15 e 40 km.

Man mano che aumenta la profondità e quindi la P litostatica e la T°C, le rocce si comportano in modo più duttile e quindi aumenta il campo delle def. plastiche.



L'aumento della T°C determina l'aumento del grado metamorfico, quindi l'intensità delle trasformazioni. T°C e P sono generalmente direttamente proporzionali (linea rossa) ma possiamo avere rocce di alta T e bassa P e viceversa.

LE ROCCE METAMORFICHE

Le trasformazioni possono essere di tipo

➤ **STRUTTURALE:**

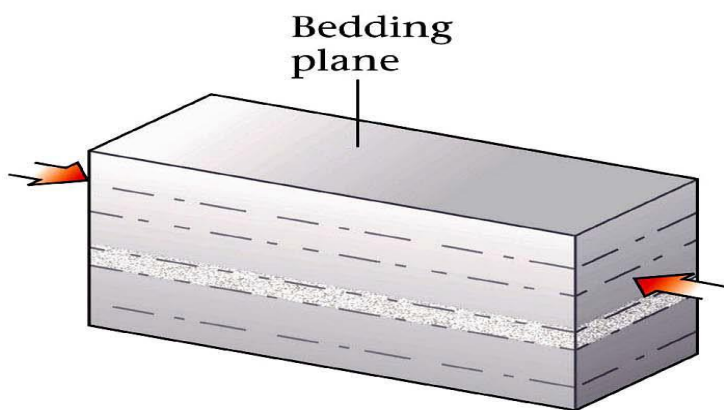
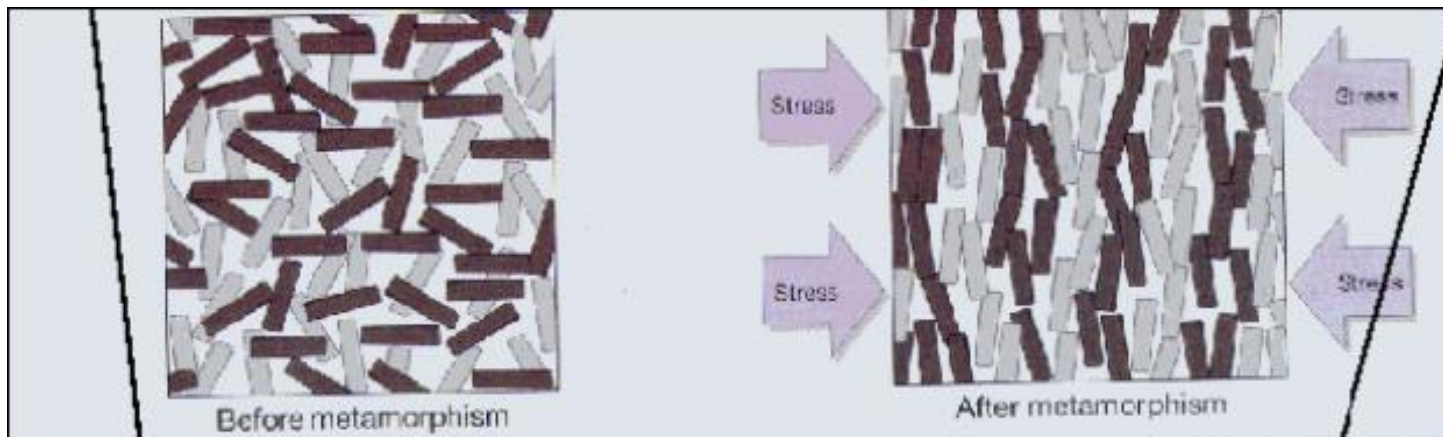
- riorganizzazione e formazione di nuove **TESSITURE** come diretta conseguenza della presenza di Pressioni orientate.

➤ **COMPOSIZIONALE:**

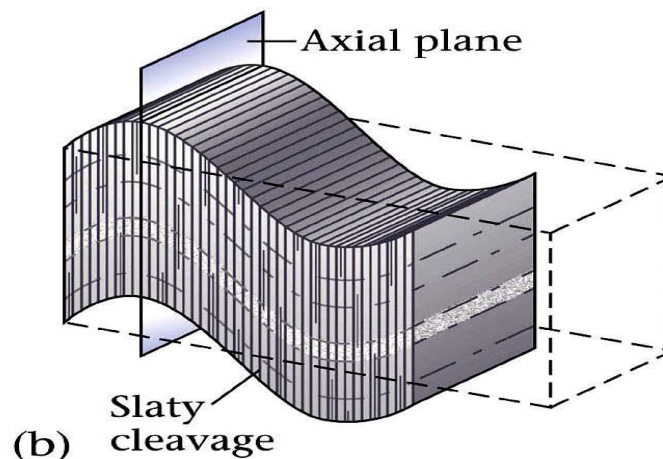
- **Rinnovamento strutturale:** ricristallizzazione degli stessi minerali (maggiori dimensioni)
- **Neoformazioni:** formazione di nuovi minerali

come diretta conseguenza dell'aumento delle T°C.

TRASFORMAZIONI STRUTTURALI



(a)



(b)

I minerali migrano, si dividono in layering a diversa composizione, si allineano e si dispongono lungo piani paralleli tra loro dispongono in modo da opporre la minima resistenza alla direzione principale della pressione

TESSITURA

Rappresenta le relazioni spaziali tra i minerali costituenti la roccia: disposizione e dimensioni

A seconda della disposizione dei minerali possiamo avere:

➤ Tessitura orientata:



➤ Tessitura non orientata:



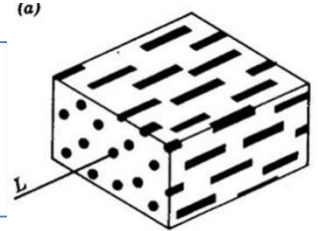
TESSITURE ORIENTATE

In presenza di minerali appiattiti

In presenza di soli minerali allungati

TESSITURE ORIENTATE PLANARI

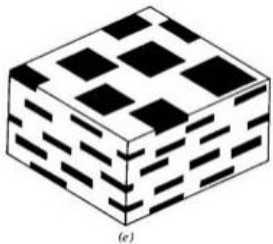
TESSITURE ORIENTATE LINEARI



FOLIAZIONE: orientazione preferenziale dei minerali lamellari (letti di mica)

LAYERING MINERALOGICO: alternanza di letti a diversa composizione mineralogica

Struttura lineare dovuta a orientazioni preferenziali di minerali allungati di forma prismatica (anfibioli ma anche feldspati, plagioclasti).



clivaggio

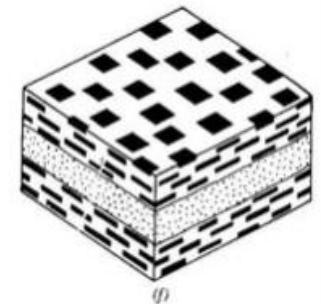
grana minuta
piani sottili
come fogli

scistosità

grana grossolana,
piani meno sottili

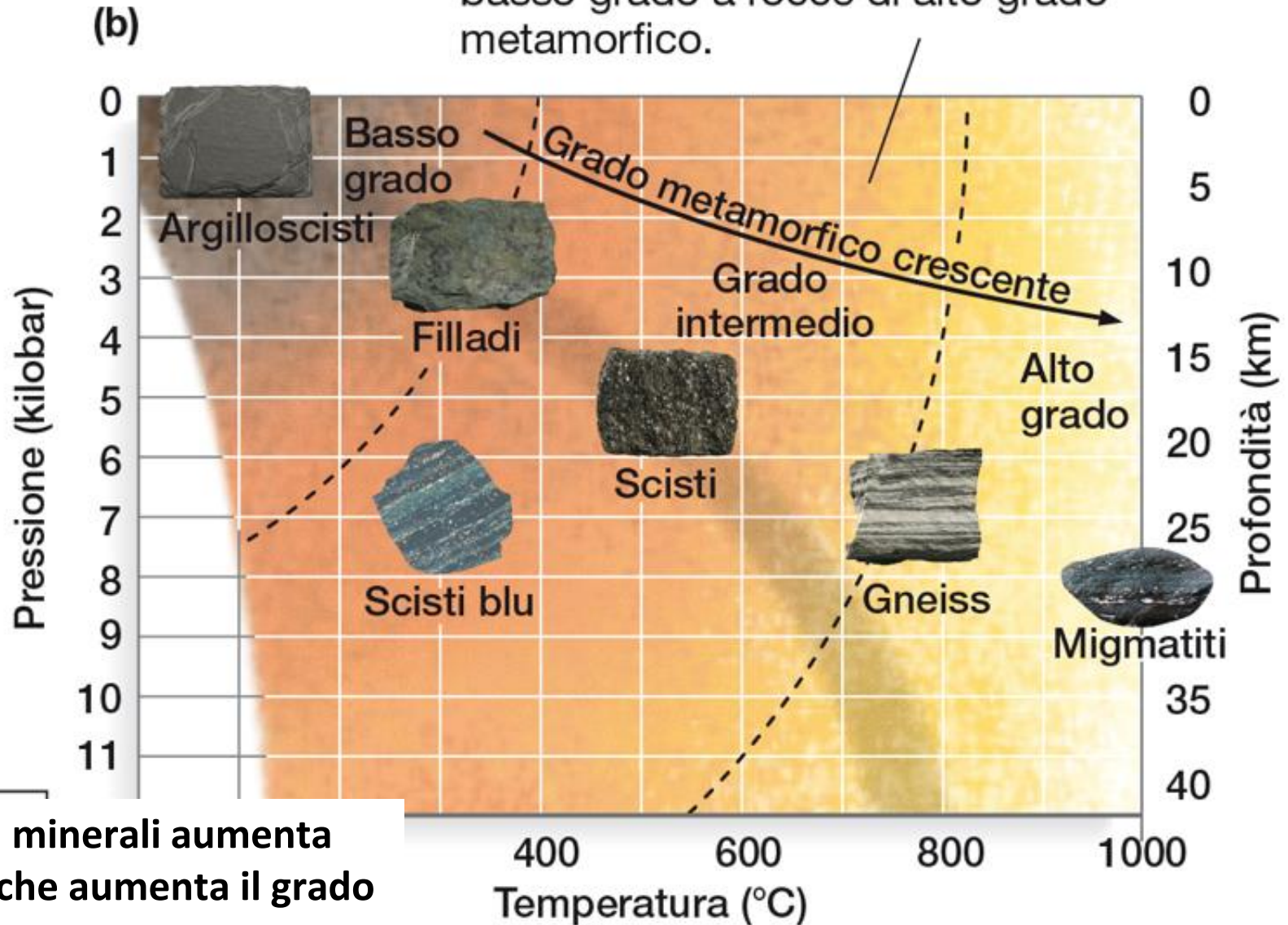
TESSITURA GNEISSICA

Combinazione della tessitura planare (layering e foliazione) e lineare



la tessitura si trasforma col variare del grado metamorfico a cui sono sottoposte le rocce

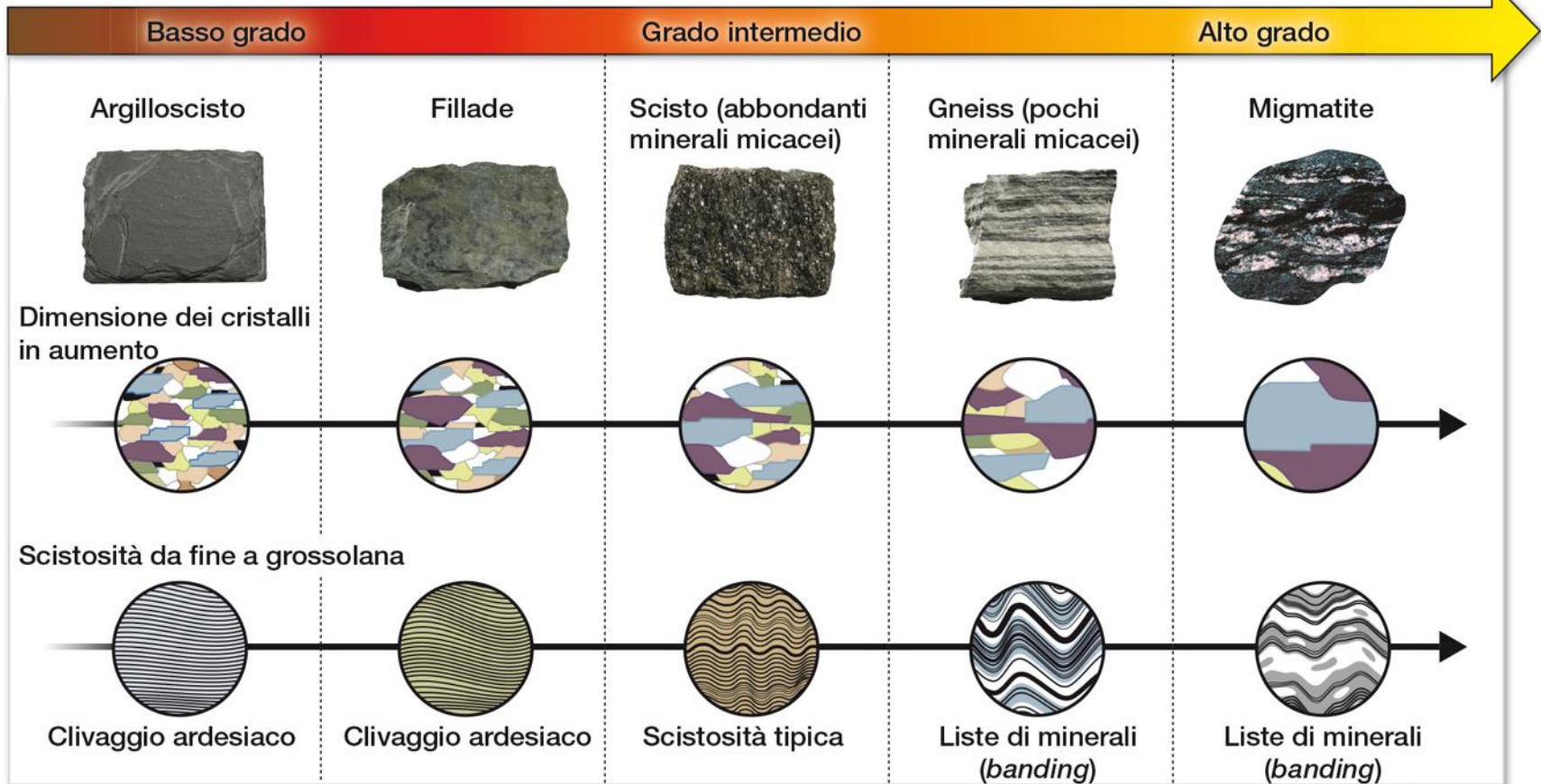
Con il procedere del metamorfismo, le rocce si trasformano via via da rocce di basso grado a rocce di alto grado metamorfico.



la grana dei minerali aumenta man mano che aumenta il grado metamorfico

Quando l'intensità del metamorfismo aumenta, aumenta anche la dimensione dei cristalli e la scistosità diviene più grossolana.

Intensità del metamorfismo in aumento



FOLIAZIONE: la roccia si divide in piani o fogli sottili, piano paralleli, perpendicolari alla direzione di compressione.

A seconda della dimensione dei minerali distinguiamo:

CLIVAGGIO

Foliazione in rocce a grana minuta in cui non distinguo alcun minerale

FILLADE



Ardesia



Rocce di basso grado metamorfico

SCISTOSITÀ

In rocce a grana medio grande: la roccia presenta piani in cui si vedono le miche

SCISTO



Rocce di medio grado metamorfico¹⁴

ARDESIA E FILLADE

Rocce di basso grado metamorfico - Tessitura: CLIVAGGIO

Ardesia (argiloscisto): colore nero, compatta, granulometria molto fine, clivaggio ben sviluppato. Al microscopio vedo clorite che è un minerale indice. La superficie è opaca. Grado metamorfico basso, metamorfismo di dislocazione.

Fillade: colore grigio, granulometria fine, clivaggio ben sviluppato. La superficie è traslucida a causa di un aumento delle dimensioni dei minerali (che però per noi rimangono invisibili). Al microscopio vedo muscovite che è un minerale indice. Grado metamorfico basso, metamorfismo regionale di basso grado.



a. Ardesia. b. Fillade.

Notare la differenza di riflettanza sulla superficie di foliazione

Protoliti = argilliti, siltiti, arenarie.

SCISTI

Rocce di medio/alto grado metamorfico - Tessitura: SCISTOSITA'

Gli scisti sono rocce metamorfiche a grana **media-grossolana**, foliate (possono essere presenti anche layering e lineazioni ma prevale la foliazione) e composte comunemente da **biotite, muscovite, quarzo, feldspati, granati**.

Gli scisti si formano per **metamorfismo regionale** da un grande numero di **protoliti** (argille, arenarie, rocce silicoclastiche).

Gli scisti vengono classificati in base al minerale predominante



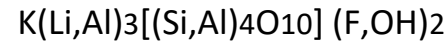
Micascisto



Micascisto a granato



MINERALE INDICE: MUSCOVITE



La muscovite è un minerale indice di rocce di grado metamorfico medio

COLORE: bianco argento (muscovite).

LUCENTEZZA: submetallica, madreperlacea

ABITO: lamellare esagonale

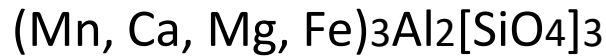
SFALDATURA: in lamine sottilissime

DUREZZA: 2-3, tenere (il chiodo e talvolta anche l'unghia)



La muscovite presente negli scisti è visibile per il colore argenteo e la lucentezza spiccata

MINERALE INDICE: GRANATO



COLORE: rosso, verde, bruno, giallo, nero, arancio. Trasparenti.

LUCENTEZZA: vitrea o submetallica

ABITO: cristalli rombododecaedrici o icositetraedrici

SFALDATURA: no, frattura concoide

DUREZZA: duri, durissimi, 6.5-7.5



Micascisto a granati piccolini ma visibili

Il granato è un minerale indice di rocce di grado metamorfico da medio a elevato. Presente nei micascisti, insieme alla muscovite. La loro dimensione indica il grado metamorfico più o meno alto.

GNEISS



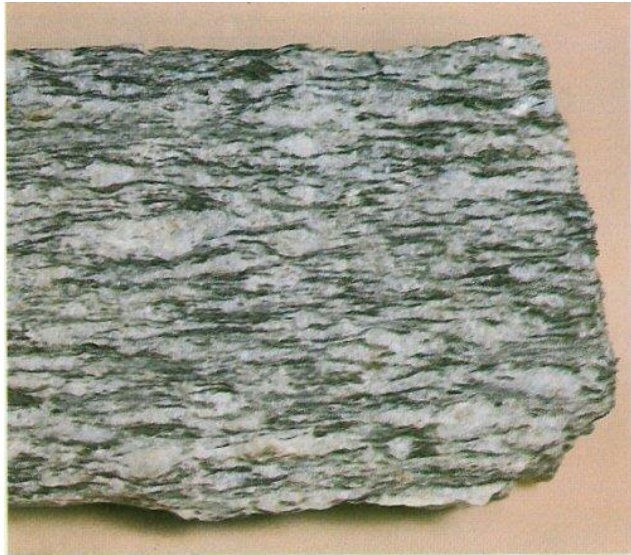
Rocce a tessitura orientata, lineate (per presenza di tanti minerali prismatici: feldspati, quarzi e plagioclasti) e foliate (per presenza di minerali lamellari orientati: biotite), presentano spesso anche layering mineralogico. Sono di medio-alto grado metamorfico.



Protoliti = rocce argillose, sabbiose ma anche graniti.

GNEISS OCCHIADINO

«Occhi» di grossi feldspati circondati da piccoli cristalli di quarzo e miche



▲ Gneiss occhiadino (ca. X1). Sondrio.

TESSITURE NON ORIENTATE: GRANOBLASTICHE

Per es. **MARMI**

1. Possono derivare da processi metamorfici in assenza di pressioni orientate: **METAMORFISMO DI CONTATTO**
2. Possono derivare anche da un **METAMORFISMO REGIONALE** se coinvolge rocce formate da cristalli prevalentemente **equidimensionali** che presentano dunque una struttura omogenea isotropa e non permettono la formazione di foliazione anche se subiscono pressioni orientate:



La forma equidimensionale della calcite è la ragione della non formazione di una tessitura orientata anche in presenza di metamorfismo regionale.

MARMO



L'aspetto della roccia è cristallino, a grana più o meno grossolana, il colore varia, generalmente chiaro, anche bianco spesso con bande più scure

Protolite: CALCARE



calcare



marmo

Marmo con grossi cristalli di calcite, dolomitizzati (non reagiscono). Grado metamorfico alto

Il marmo è costituito prevalentemente da CALCITE che nel processo metamorfico di calcari ricristallizza formando cristalli più grandi (in ogni caso nei marmi spesso non li vediamo ad occhio nudo, rileviamo solo un aspetto più cristallino rispetto ai calcari).

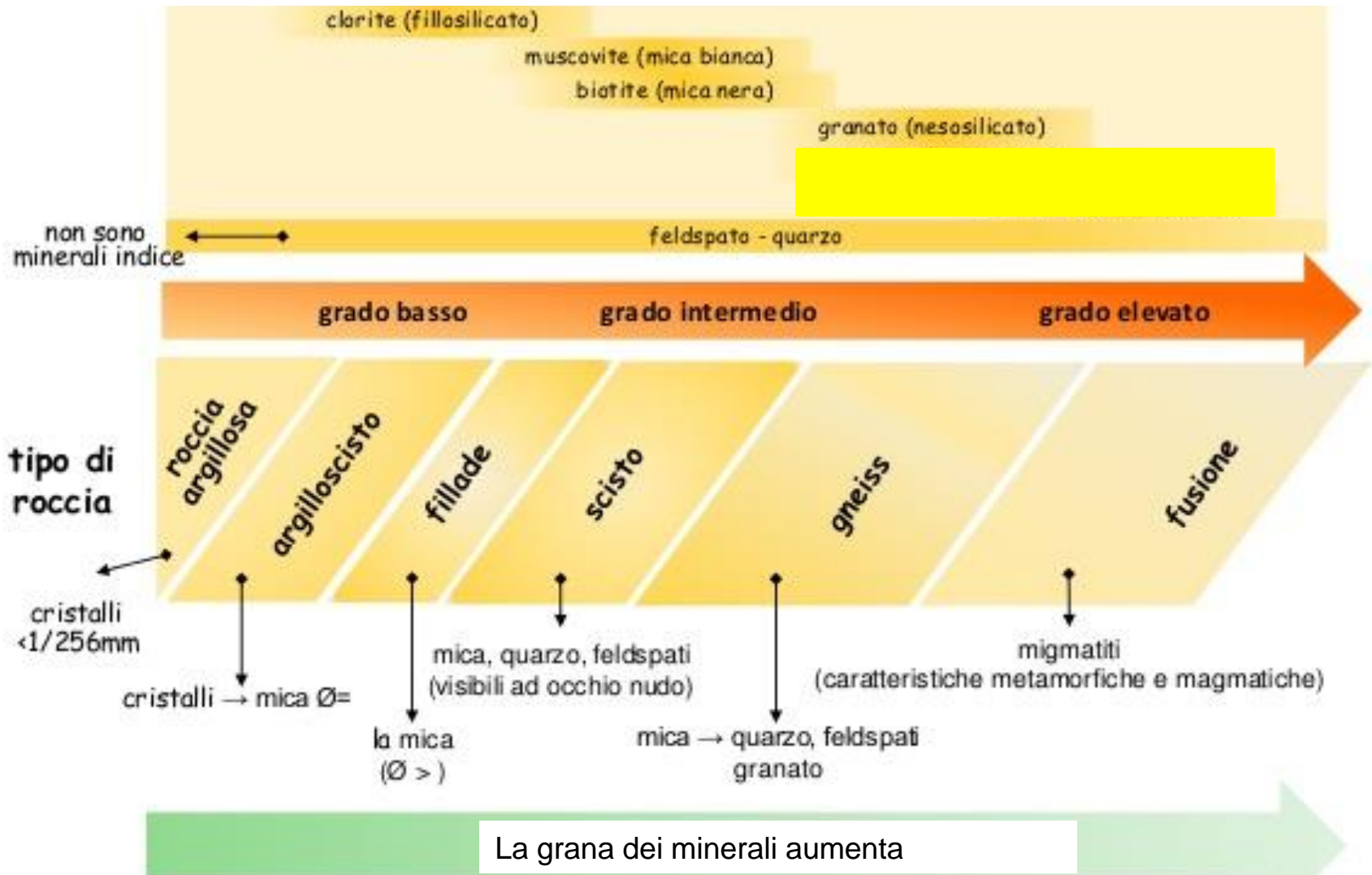
Possono avere grado da basso ad alto: se non si vedono ma si intuisce la natura cristallina della roccia il grado è medio, se si vedono il grado è maggiore.

Marmo con cristalli di calcite non visibili singolarmente (reagiscono all'acido). Grado metamorfico medio



MINERALI INDICE NELLA SERIE METAMORFICA SILICOCLASTICA

Minerale indice = minerale indicatore del grado metamorfico





Tipi di metamorfismo

a) *metamorfismo regionale*

Tipo di metamorfismo che si estende in aree molto vaste, parecchie centinaia o migliaia di km, interessando quindi volumi di roccia molto grandi.

Associato a processi tettonici a larga scala, quali l'espansione dei fondi oceanici e l'ispessimento crostale in aree di collisione continentale, a causa di una **perturbazione del regime termico**.

Esso comprende i seguenti tipi :

- **metamorfismo zone di convergenza:**
 - **zone di subduzione** lungo la placca in subduzione, a P e T crescenti con la profondità
 - **zone orogeniche**, alta temperatura e alta pressione *nella zona di corrugamento*, dovuto all'ispessimento crostale.
- **metamorfismo di fondo oceanico (MFO):** nelle *dorsali medio-oceaniche*, *bassa pressione e grado metamorfico crescente con la profondità ed avvicinandosi alla dorsale*. Metamorfismo di bassa T (tra 150 e 300 °C) bassa P in cui l'acqua circolante gioca un ruolo importante.

b) metamorfismo locale

Interessa aree e volumi di roccia limitati, attribuibile a cause di carattere locale, quali l'intrusione di corpi magmatici, la fratturazione e l'impatto di meteoriti.

➤ **Metamorfismo di contatto**

In rocce a contatto con corpi magmatici intrusivi. Assenza di importanti effetti deformativi (solo P LITOSTATICA) ma nuove cristallizzazioni.

Basso, medio o alto grado metamorfico in base alle T°C

➤ **Metamorfismo di dislocazione o cataclastico**

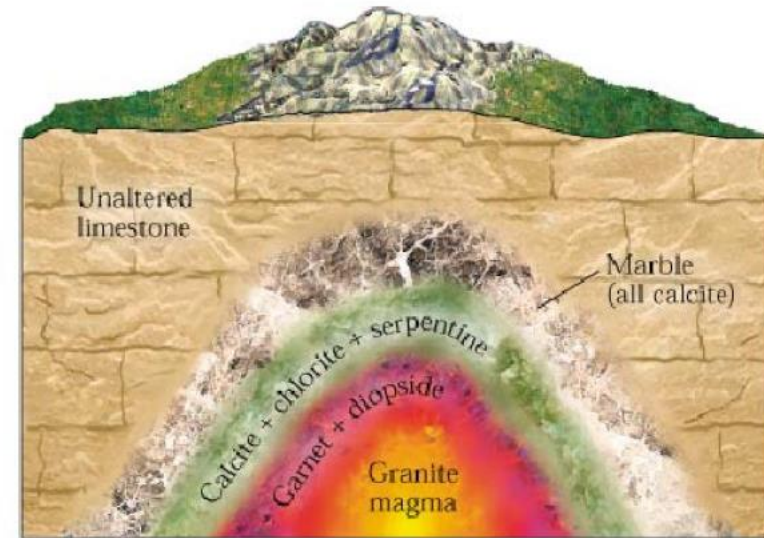
In rocce a contatto con faglie e scorrimenti.

Basse T (frizione) e bassa P litostatica ma alte P orientate che determinano importanti effetti deformativi. Basso grado metamorfico.

➤ **Metamorfismo di seppellimento**

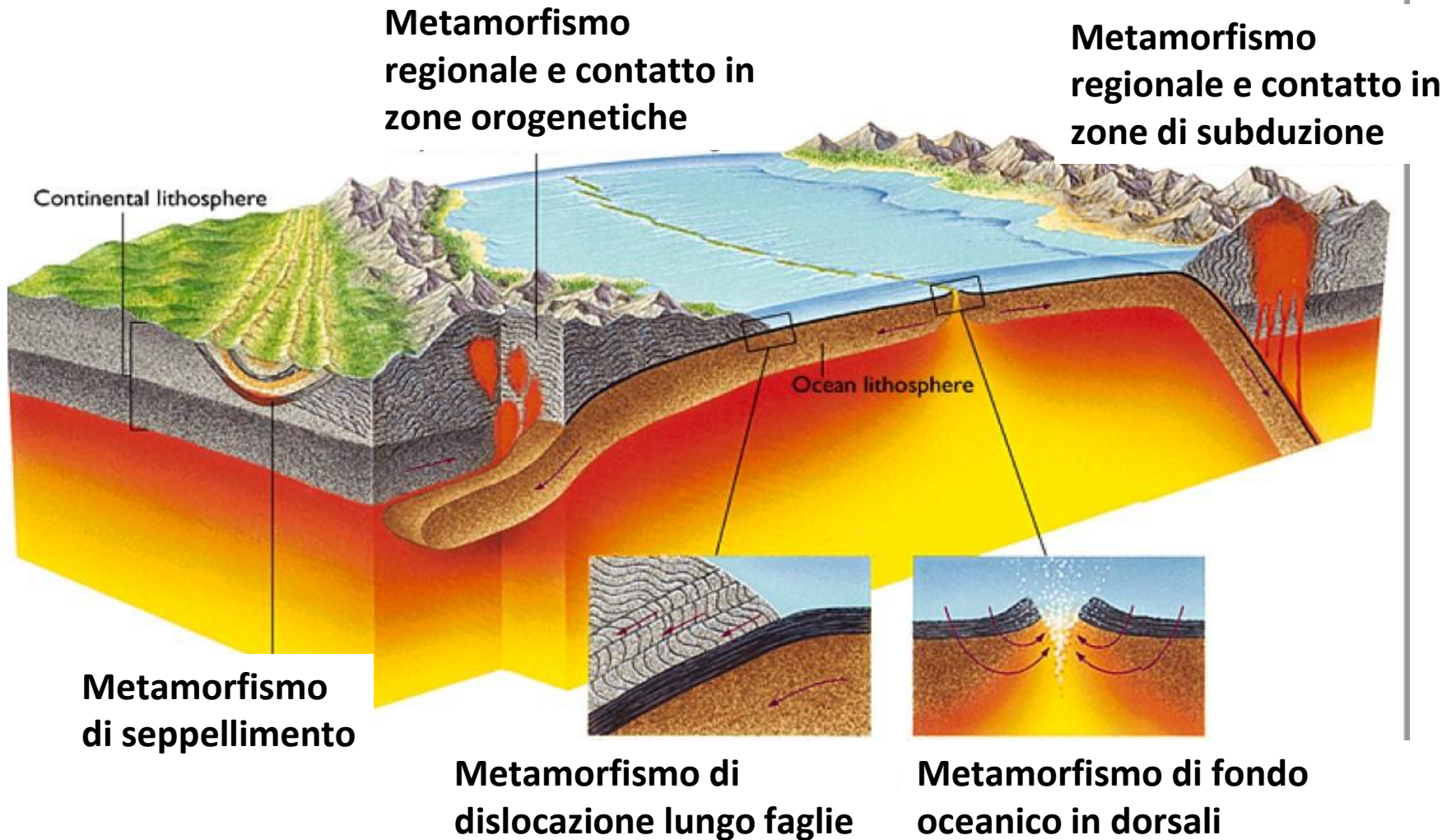
Assenza di importanti effetti deformativi, provocato solo dall'aumento di P litostatica e della T°C dovuta al gradiente geotermico

Metamorfismo di bassa T°C (180-300) e bassa P.



Aureola di rocce metamorfiche

Tipi di metamorfismo e Ambienti geotettonici



A seconda della composizione della roccia d'origine

A parità di grado metamorfico possono formarsi rocce diverse a seconda della composizione della roccia d'origine.

Per esempio con un metamorfismo di basso/medio grado:

- rocce sedimentarie argillose-sabbiose ➡ **Filladi, ardesia o scisti**
- rocce carbonatiche pure ➡ **Marmi di basso-medio grado**
- rocce carbonatiche miste a silicati ➡ **Calcescisti**

Per esempio con un metamorfismo di medio/alto grado:

- rocce sedimentarie argillose o sabbiose ➡ **Miscisti o gneiss**
- rocce carbonatiche pure ➡ **Marmi di grado maggiore**
- rocce carbonatiche miste a silicati ➡ **Calcefiro**

Classificazione e riconoscimento delle rocce metamorfiche

In base alla **tessitura**

- ✓ Le **filladi**, sottilmente foliate a grana fine (tra le filladi, tipiche sono le **ardesie**, utilizzate come tegole e, in una varietà particolare, come lavagna);
- ✓ gli **scisti**, rocce foliate a grana media, in cui si riconoscono i singoli minerali di mica. Può esserci anche del layering
- ✓ gli **gneiss**, rocce lineate, con layering e debolmente scistose a grana grossolana con molti feldspati, quarzi e miche nere
- ✓ **Granoblastiche** (marmi)

Come descrivere una roccia metamorfica

TESSITURA

Orientata o non orientata.

Se orientata dire se è planare o lineare.

Se è planare distinguere tra layering mineralogico e foliazione

Se è foliazione distinguere tra clivaggio e scistosità

Se è mista dire se è gneissica

COMPOSIZIONE MINERALOGICA

Se si riconoscono dei minerali descriverli, altrimenti dire se la grana è fine o grossolana. Individuare minerali indice.

GENESI

Ipotizzare la roccia originaria, le trasformazioni avvenute, il tipo di metamorfismo (contatto, regionale o cataclastico), il grado metamorfico.

Foto dei disegni e dei campioni di roccia tratte da:

Capire la Terra, Zanichelli

<http://www.atlantepetro.unito.it/....>

<http://www.alexstrekeisen.it/>

[Documento pdf sul metamorfismo dell'Università degli Studi di Padova](#)