

Classification of Metamorphic Rocks (Chapter 22)

- Definizioni...
- Classificazione 1:

Foliated: Planes & Lines... and banding

- Classificazione 2

Non-Foliated

- Specific Metamorphic rock types
- Additional Modifying Terms
- Classificazione 3

High Strain Metamorphic Rocks: shear zones

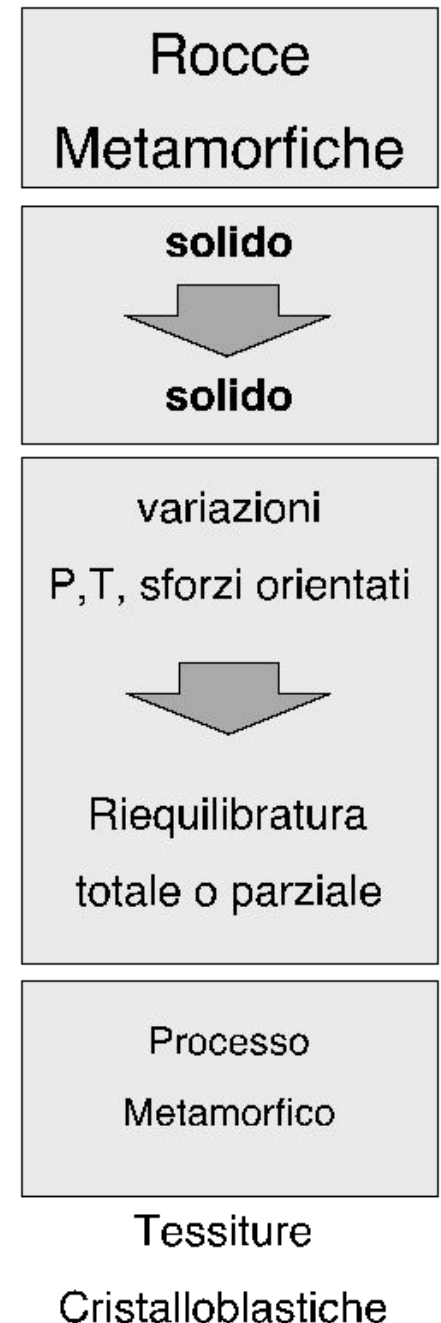
Il processo metamorfico

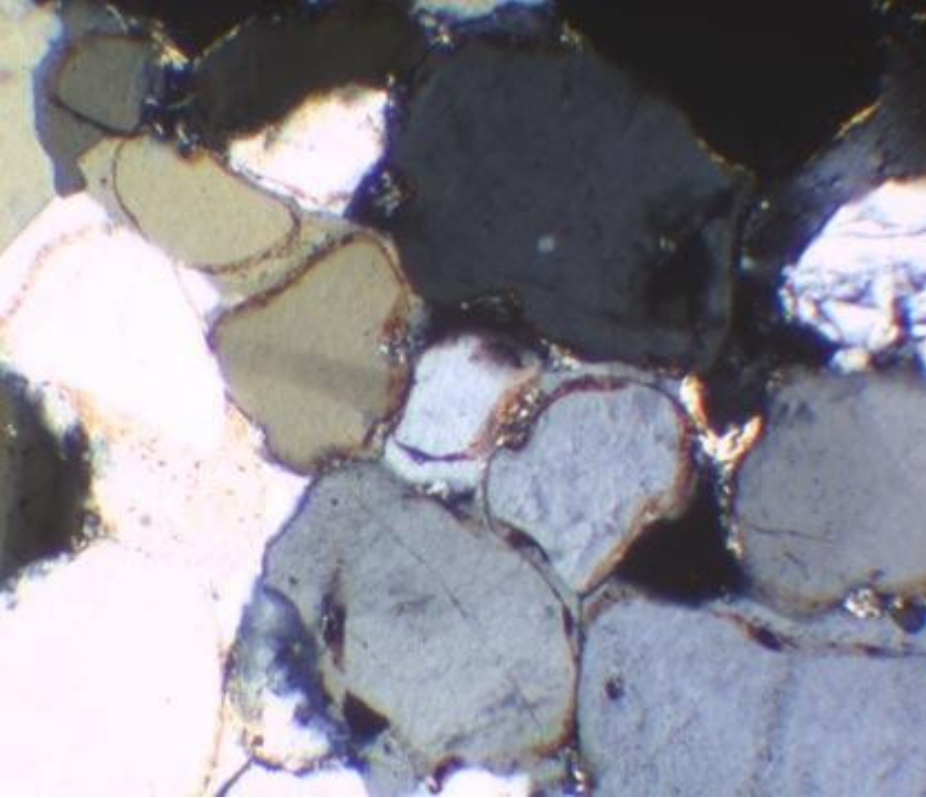
Il processo metamorfico avviene **allo stato solido** (in assenza di fuso), a seguito di **reazioni chimiche tra i minerali** preesistenti, che causano la **ricristallizzazione metamorfica (blastesi)** di nuovi minerali più stabili alle nuove condizioni ambientali

Effetto di significative variazioni di P e T

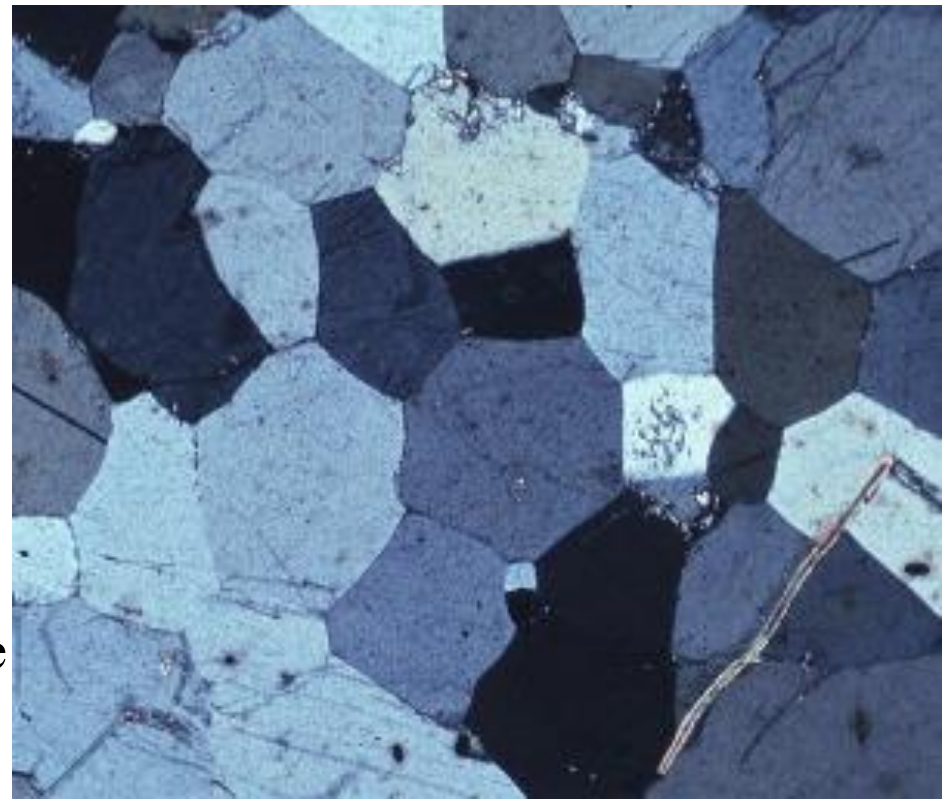
E' un processo **endogeno**, poiché le condizioni necessarie ad innescare il processo metamorfico si presentano solo all'interno della Terra

E' un processo generalmente **isochimico** (sistema chiuso) (cambiamenti tessiturali e mineralogici ma **conservazione della composizione chimica originaria**)
In particolari condizioni (es. metamorfismo di contatto):
metamorfismo allochimico (sistema aperto)
(metamorfismo con scambio di materia)





Sandstone
texture



Quartzite
texture

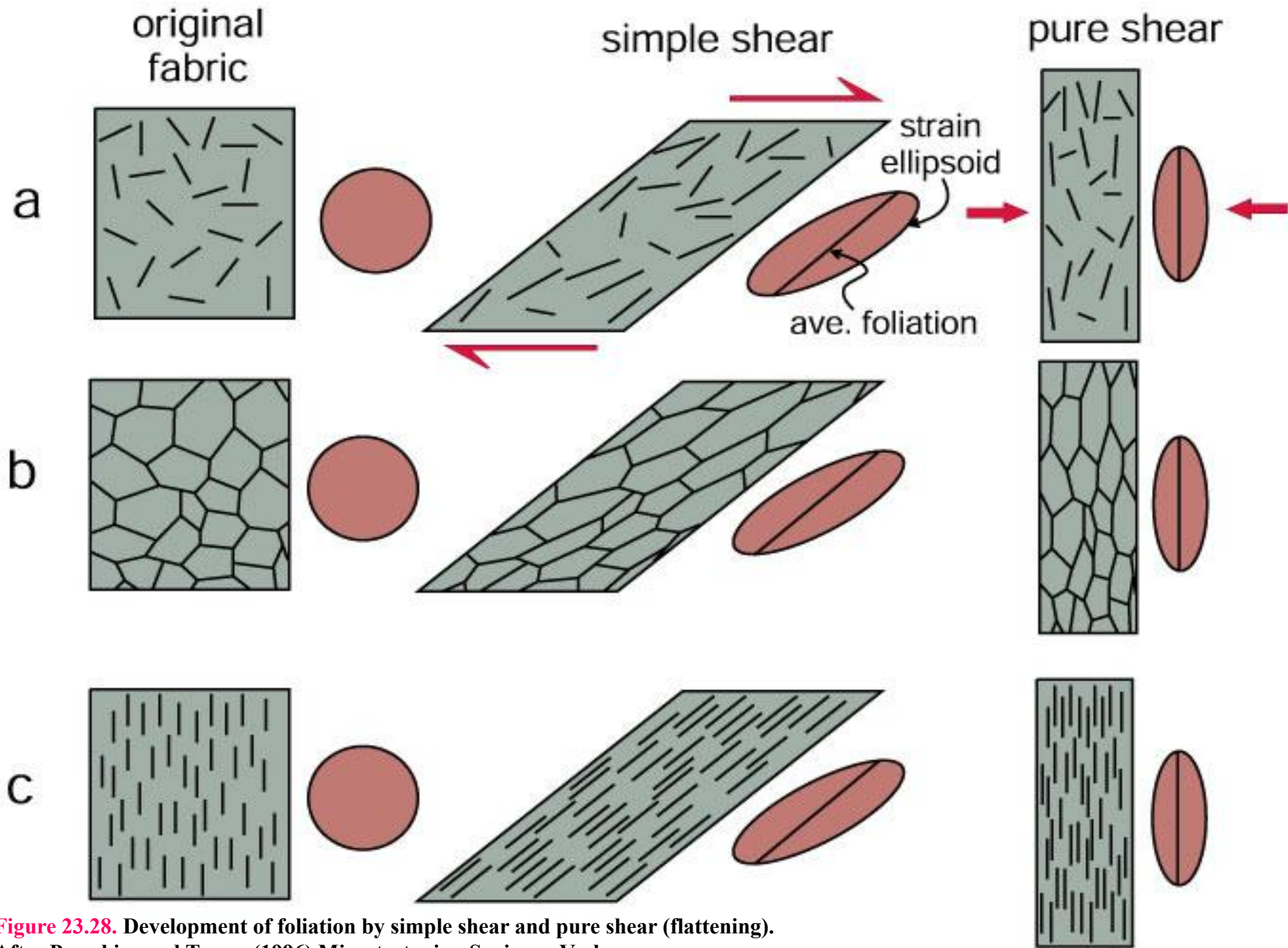


Figure 23.28. Development of foliation by simple shear and pure shear (flattening).
 After Passchier and Trouw (1996) *Microtectonics*. Springer-Verlag.

A Classification of Metamorphic Rocks

- Metamorphic rocks are classified on the basis of *texture* and *composition* (either mineralogical or chemical): (e.g. scisto verde)
- Metamorphic rock names are surprisingly simple and flexible, but...
- May choose some **prefix-type or suffix-type** modifiers to attach to names if care to stress some important or unusual textural or mineralogical aspects

Foliated Metamorphic Rocks

- **Foliation:** any planar fabric element
- **Lineation:** any linear fabric elements
 - They have no genetic (or not necessarily) connotations



Some **high-strain rocks** may be foliated, **but they are treated separately**

Metamorphic Textures

Textures of Regional Metamorphism

- **Tectonite**- a deformed rock with a texture that records the deformation
- **Fabric**- the complete spatial and geometric configuration of textural elements
 - **Foliation**- planar textural element
 - **Lineation**- linear textural element
 - Lattice Preferred Orientation (LPO)
 - Dimensional Preferred Orientation (DPO)

Fig 23.21 Types of foliations

- a.** Compositional layering
- b.** Preferred orientation of platy minerals
- c.** Shape of deformed grains
- d.** Grain size variation
- e.** Preferred orientation of platy minerals in a matrix without preferred orientation
- f.** Preferred orientation of lenticular mineral aggregates
- g.** Preferred orientation of fractures
- h.** Combinations of the above

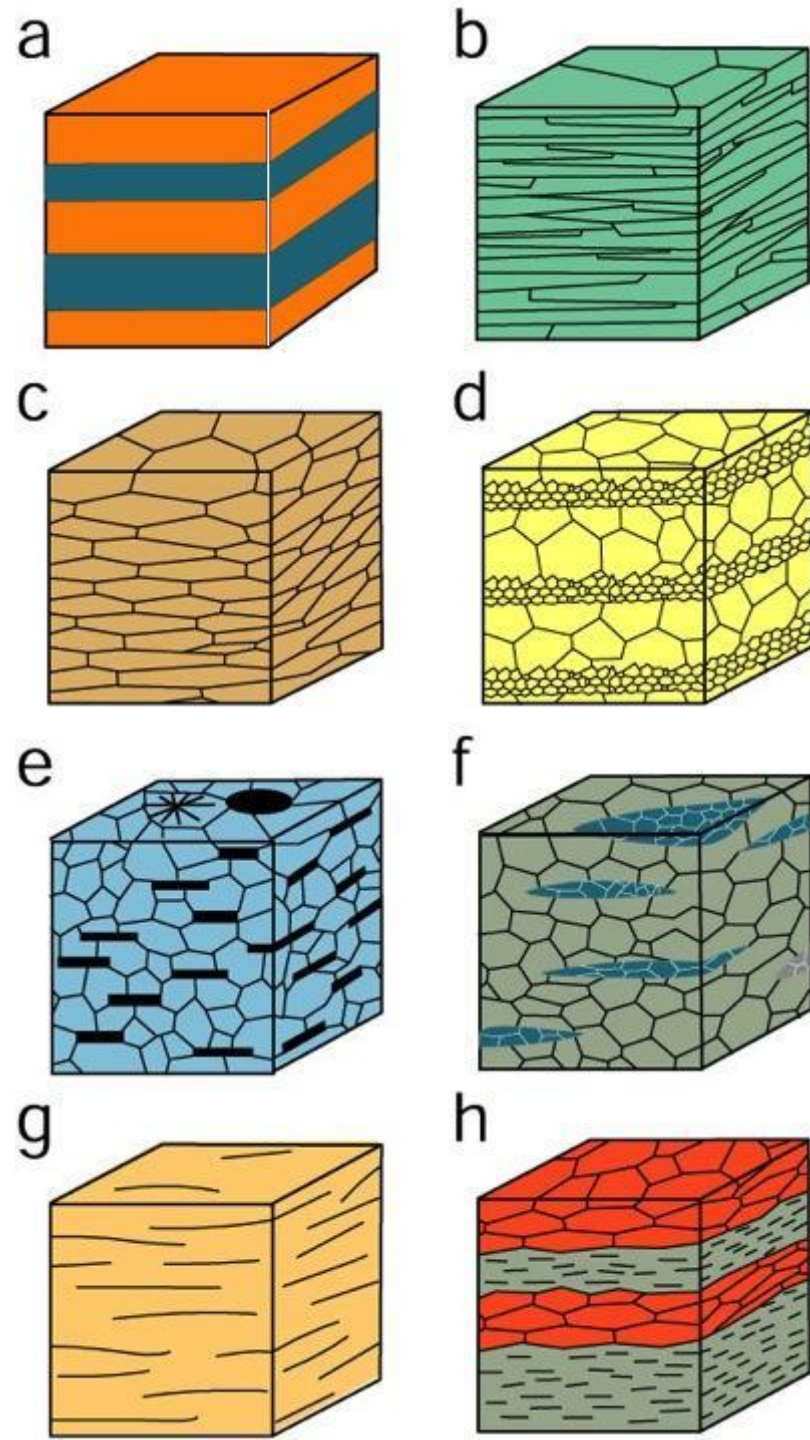


Figure 23.21. Types of fabric elements that may define a foliation. From Turner and Weiss (1963) and Passchier and Trouw (1996).

Trasformazioni tessiturali

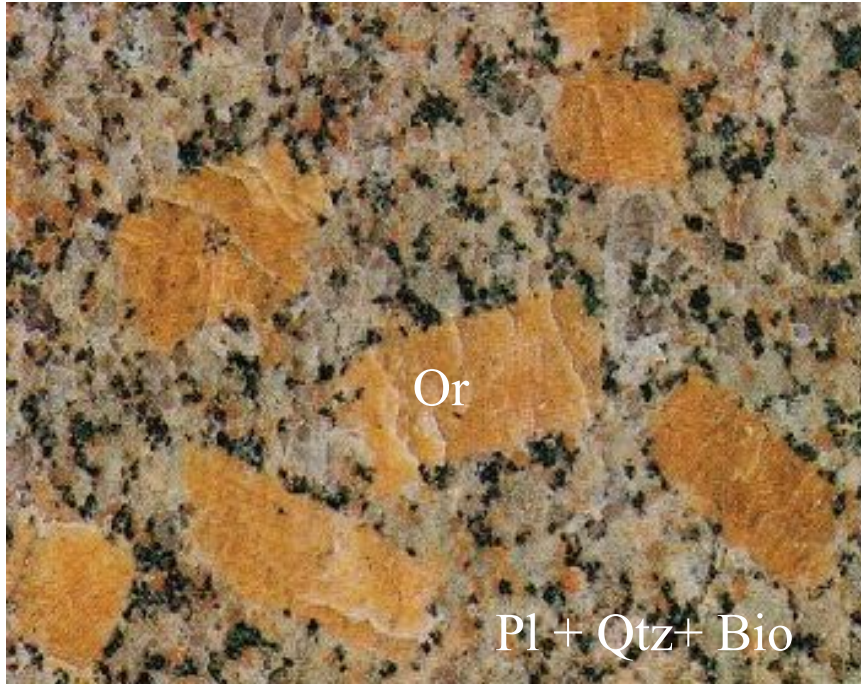


Granito: *quarzo, feldspato alcalino, plagioclasio, biotite*



Ortogneiss: *tessitura anisotropa costituita da livelli micacei e livelli quarzoso-feldspatici*

Trasformazioni tessiturali



Granito, *tessitura pseudoporfirica isotropa con grossi (cm) cristalli euedrali di ortoclasio in un aggregato allotriomorfo granulare costituito da plagioclasio + quarzo + biotite*



Metagranito, *tessitura anisotropa costituita da grossi (cm) cristalli ovoidali di feldspato alcalino circondati da livelli (foliazione) ricchi di biotite + quarzo ± plagioclasio*



- gneiss occhiadino – Augen Gneiss - Augen , occhio (in tedesco)
- Gneiss con cristalli (o aggregati di cristalli) a forma lenticolare. Il termine g. occhiadino è generalmente applicato a gneiss con “occhi” (detti anche **porfiroclasti**) di feldspati (o aggregati di feld + quarzo).
- I “film” neri, più erosi, che “girano” intorno ai profiroclasti sono costituiti da fillosilicati (biotite e/o mica bianca \pm alterati)
- Protolite: roccia magmatica



Additional Modifying Terms: Metamorphic Rock Types

Some gneisses have large eye-shaped grains (commonly feldspar) that are derived from pre-existing large crystals by shear (as described in Section 23.1). Individual grains of this sort are called **auge** (German for *eye*), and the (German) plural is **augen**. An **augen gneiss** is a gneiss with augen structure (Fig. 23-18).



Other modifying terms that we may want to add as a means of emphasizing some aspect of a rock may concern such features as grain-size, color, chemical aspects, (aluminous, calcareous, mafic, felsic, etc.). As a general rule we use these when the aspect is unusual. Obviously a *calcareous marble* or *mafic greenschist* is redundant, as is a *fine grained slate*.

Additional Modifying Terms: Metamorphic Rock Types

Ortho- a prefix indicating an igneous parent, and

Para- a prefix indicating a sedimentary parent

The terms are used only when they serve to dissipate doubt. For example, many quartzo-feldspathic gneisses could easily be derived from either an impure arkose or a granitoid rock. If some mineralogical, chemical, or field-derived clue permits the distinction, terms such as *orthogneiss*, *paragneiss*, or *orthoamphibolite* may be useful.

Other modifying terms that we may want to add as a means of emphasizing some aspect of a rock may concern such features as grain-size, color, chemical aspects, (aluminous, calcareous, mafic, felsic, etc.). As a general rule we use these when the aspect is unusual. Obviously a *calcareous marble* or *mafic greenschist* is redundant, as is a *fine grained slate*.

Foliated Metamorphic Rocks

Cleavage

Traditionally: the property of a rock to split along a regular set of sub-parallel, closely-spaced planes

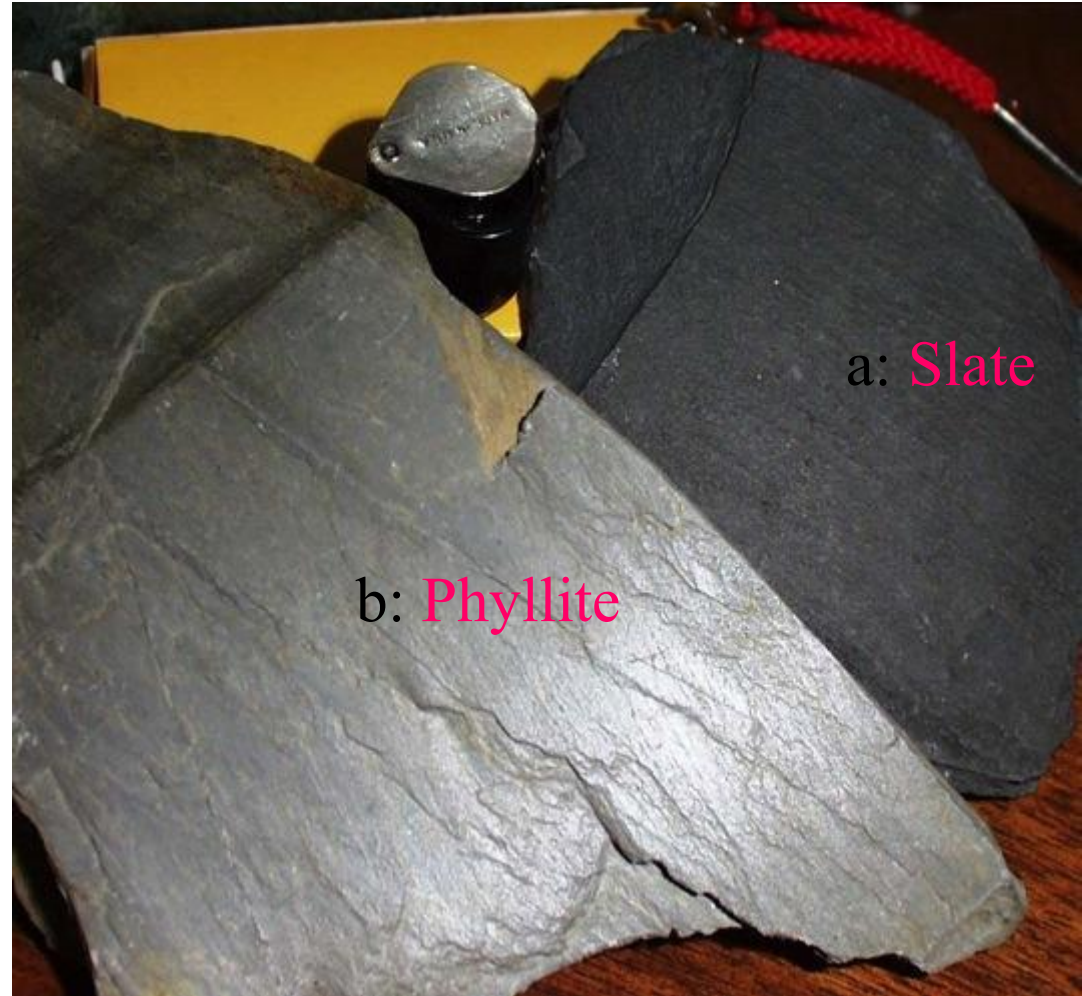
A more general concept adopted by some geologists is to consider cleavage to be any type of foliation in which the aligned platy phyllosilicates are too fine grained to see individually with the unaided eye

Slate:

compact, very fine-grained, metamorphic rock with a well-developed cleavage. Freshly cleaved surfaces are dull

Phyllite:

a rock with a schistosity in which very fine phyllosilicates (sericite/phengite and/or chlorite), although rarely coarse enough to see unaided, impart a silky sheen to the foliation surface. Phyllites with both a foliation and lineation are very common.



a: Slate

b: Phyllite

Foliated Metamorphic Rocks

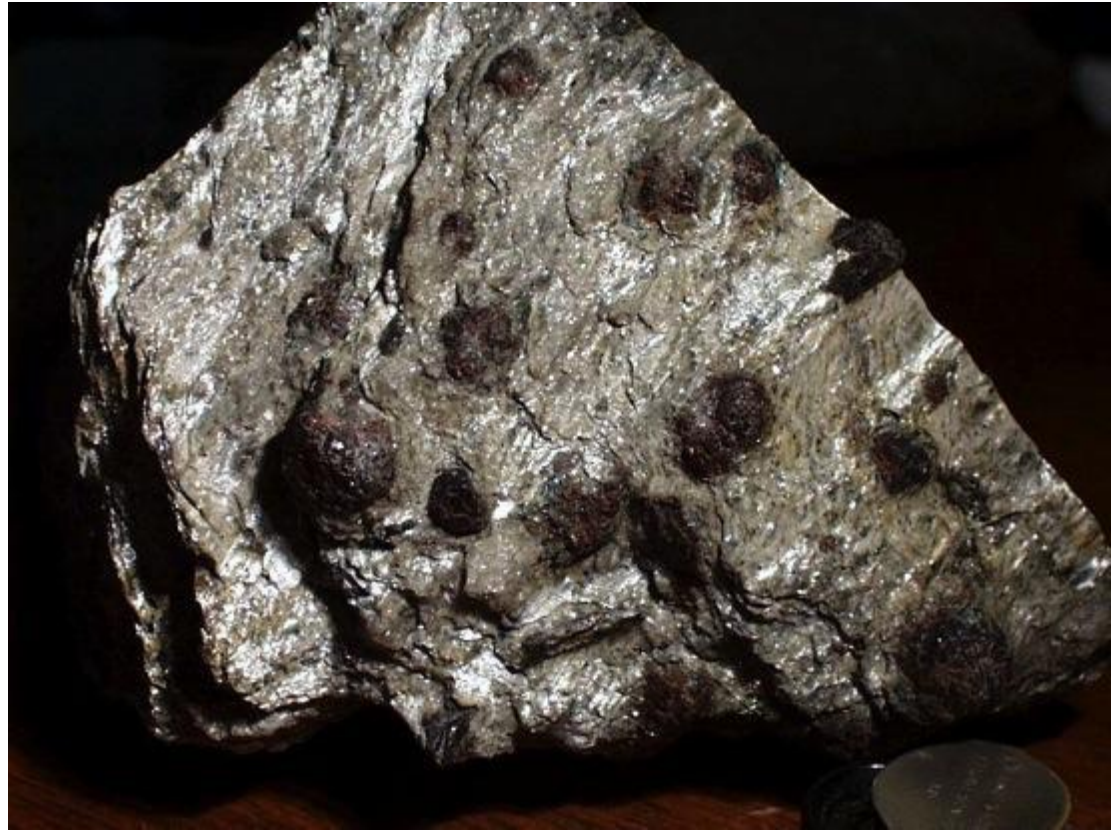
Schistosity

A preferred orientation of inequivalent mineral grains or grain aggregates produced by metamorphic processes

Aligned minerals are coarse grained enough to see with the unaided eye

The orientation is generally planar, but linear orientations are not excluded

Schist: a metamorphic rock exhibiting a schistosity. By this definition schist is a broad term, and slates and phyllites are also types of schists. In common usage, schists are restricted to those metamorphic rocks in which the foliated minerals are coarse enough to see easily in hand specimen.



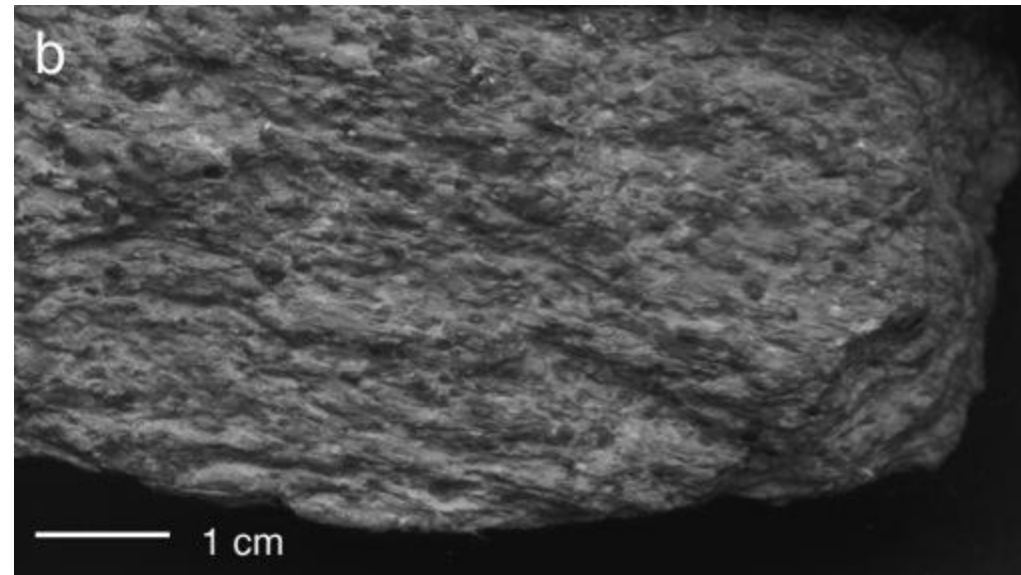
Additional Modifying Terms: Metamorphic Rock Types

Porphyroblastic means that a metamorphic rock has one or more metamorphic minerals that grew much larger than the others. Each individual crystal is a **porphyroblast**



Some porphyroblasts, particularly in low-grade contact metamorphism, occur as ovoid “spots”

If such spots occur in a hornfels or a phyllite (typically as a contact metamorphic overprint over a regionally developed phyllite), the terms **spotted hornfels**, or **spotted phyllite** would be appropriate.



Foliated Metamorphic Rocks

Gneissose structure

Either a poorly-developed schistosity or segregated into layers by metamorphic processes

Gneissose rocks are generally coarse grained

Gneiss:

a metamorphic rock displaying gneissose structure. Gneisses are typically layered (also called banded), generally with alternating felsic and darker mineral layers. Gneisses may also be lineated, but must also show segregations of felsic-mineral-rich and dark-mineral-rich concentrations.



Types of lineations

- a. Preferred orientation of elongated mineral aggregates
- b. Preferred orientation of elongate minerals
- c. Lineation defined by platy minerals
- d. Fold axes (especially of crenulations)
- e. Intersecting planar elements.

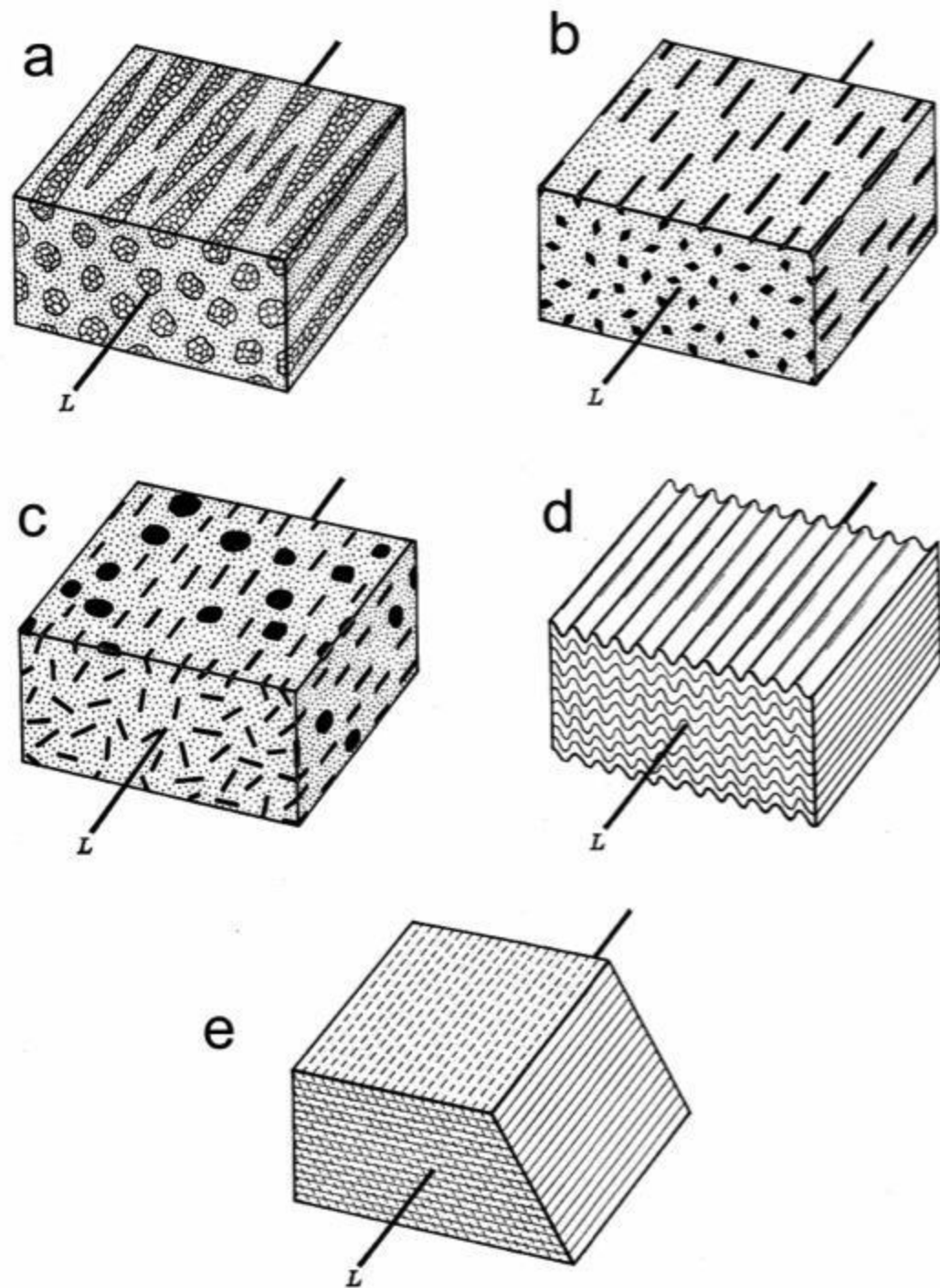
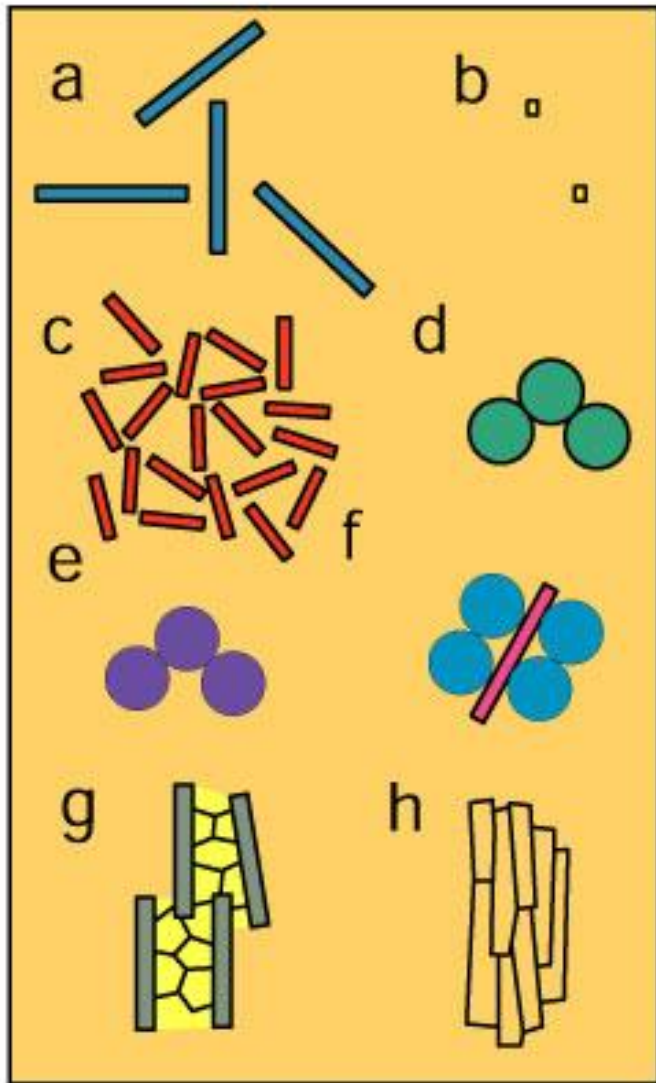


Figure 23.26. Types of fabric elements that define a lineation. From Turner and Weiss (1963) *Structural Analysis of Metamorphic Tectonites*. McGraw Hill.

before deformation



after deformation

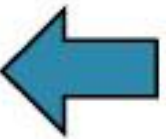
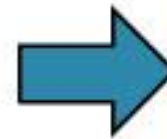
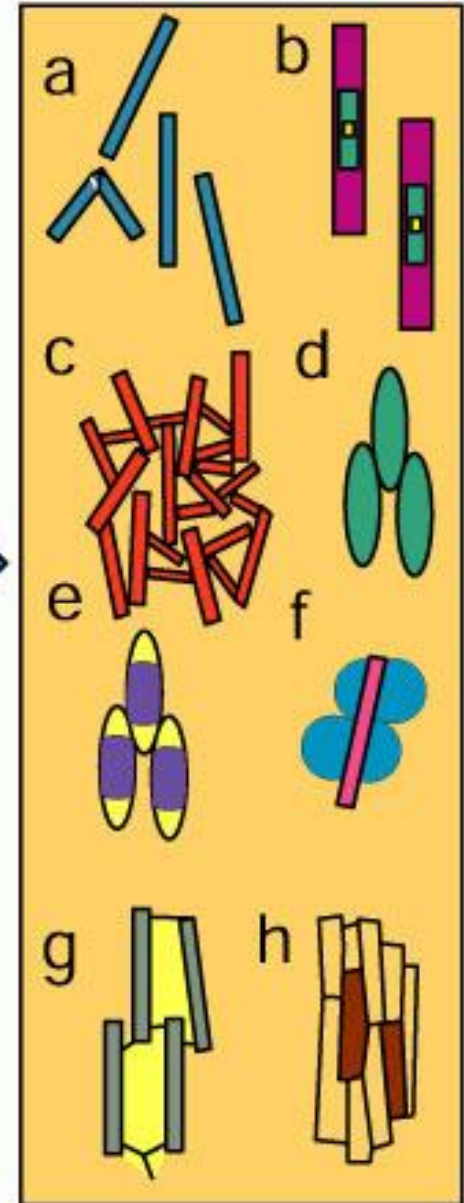


Figure 23.27. Proposed mechanisms for the development of foliations. After Passchier and Trouw (1996) *Microtectonics*. Springer-Verlag.

Non-Foliated Metamorphic Rocks

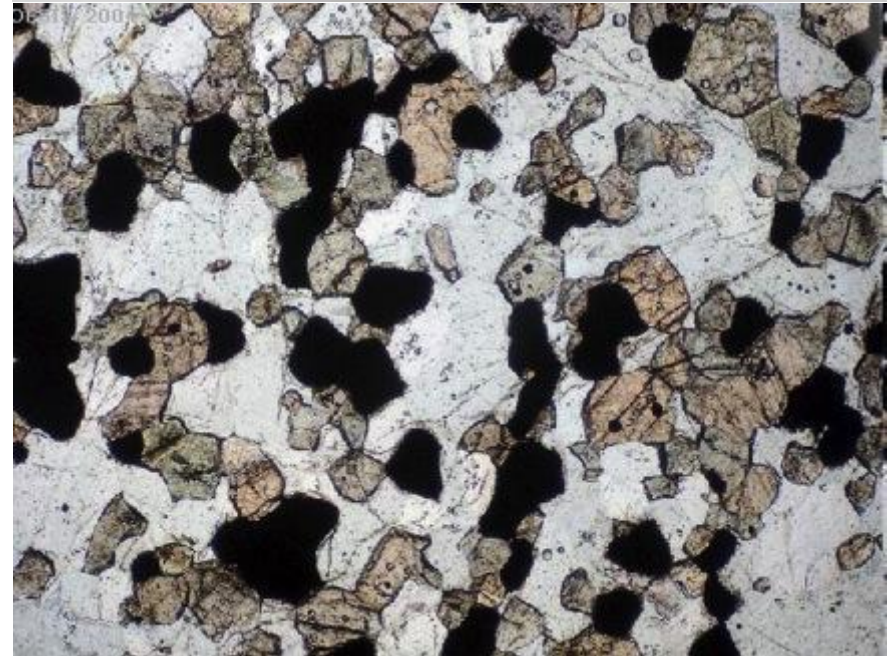
A comprehensive term for any isotropic metamorphic rock (a rock with **not apparently** preferred orientation)

Simpler than for foliated rocks

Granofels: a comprehensive term for any isotropic rock (a rock with no preferred orientation)

Hornfels is a type of granofels that is typically very fine-grained and compact, and occurs in contact aureoles. Hornfelses are tough, and tend to splinter when broken.

Again, this discussion and classification applies only to rocks that **are not produced by high-strain** metamorphism



Quarzit

Quarzite: roccia metamorfica composta prevalentemente da quarzo.

Il protolite è tipicamente una quarzarenite
A differenza del marmo la quarzite RIGA IL
VETRO

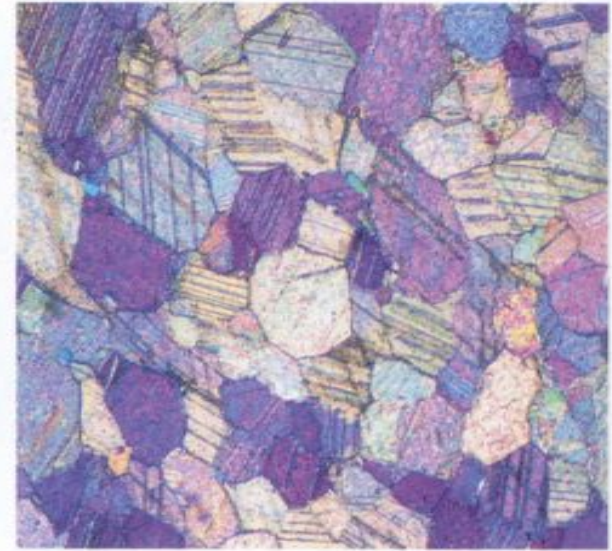


Specific Metamorphic Rock Types

Marble: a metamorphic rock composed predominantly of calcite or dolomite. The protolith is typically limestone or dolostone.



A.



Quartzite: a metamorphic rock composed predominantly of quartz. The protolith is typically sandstone. Some confusion may result from the use of this term in sedimentary petrology for a pure quartz sandstone.



Classificazione composizionale – natura del protolito

Protolito	Chimica del protolite	Rocce ignee e sedimentarie	Rocce metamorfiche
Quarzoso-feldspatico	alto Si, Na, K, Al	Rocce granitoidi, rioliti, arkose	ORTOGNEISS
Quarzoso	SiO ₂	Selci, quarzareniti	QUARZITI
Pelitico	alto Al, K, Si	Argilliti, siltiti	METAPELITI
Mafico	alto Fe, Mg, Ca	Basalti, gabbri, grovacche	METABASITI
Ultramafico	molto alto Mg, Fe, Ni, Cr	Rocce mantelliche, cumulati, komatiiti	METAPERIDOTITI
Carbonatico predominante	alto Ca, Mg, CO ₂	Calcari, dolomie, calcareniti arenacee e marne	“MARMI”

METAPELITI – paraderivati con elevata frazione argillosa

Le metapeliti rappresentano una famiglia di rocce metamorfiche ben distinta, perchè i minerali delle argille sono molto sensibili a variazioni di temperatura e pressione e quindi manifestano variazioni evidenti durante il metamorfismo

La mineralogia dei sedimenti pelitici è dominata da fillosilicati molto fini ricchi di Al e K come i minerali delle argille montmorillonite, caolino, smectite, e clorite
10-30% dei sedimenti originari può essere costituito da quarzo molto fine.

La predominanza di fillosilicati tra i minerali costituenti i protoliti si riflette in una prevalenza nei materiali metamorfici di muscovite e quarzo in un ampio intervallo PT del campo metamorfico

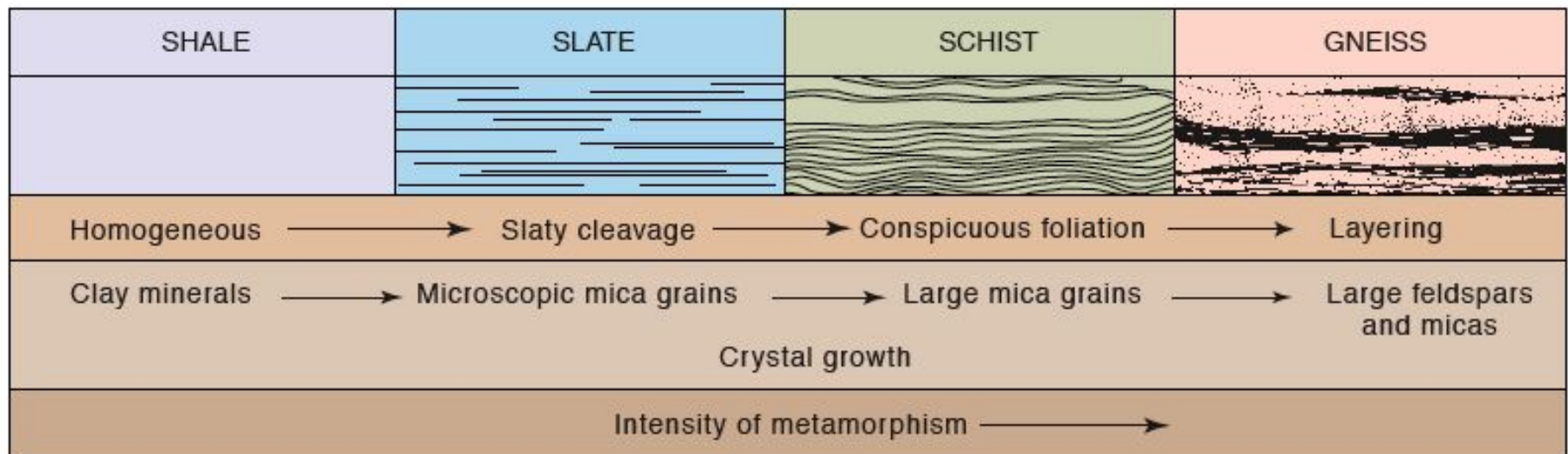
L'alto contenuto di miche fa sì che, comunemente, queste rocce sviluppino una buona foliazione a dare argillocisti, filladi e micascisti.

METAPELITI

Tra le metapeliti riconosciamo su base prevalentemente tessiturale:
Argilloscisti, Filladi, Micascisti e (Para)Gneiss

La classificazione su base composizionale prevede il riconoscimento di associazioni mineralogiche che comprendono oltre a muscovite e quarzo la presenza di clorite, biotite, granato, staurolite e aluminosilicati cianite, andalusite e sillimanite

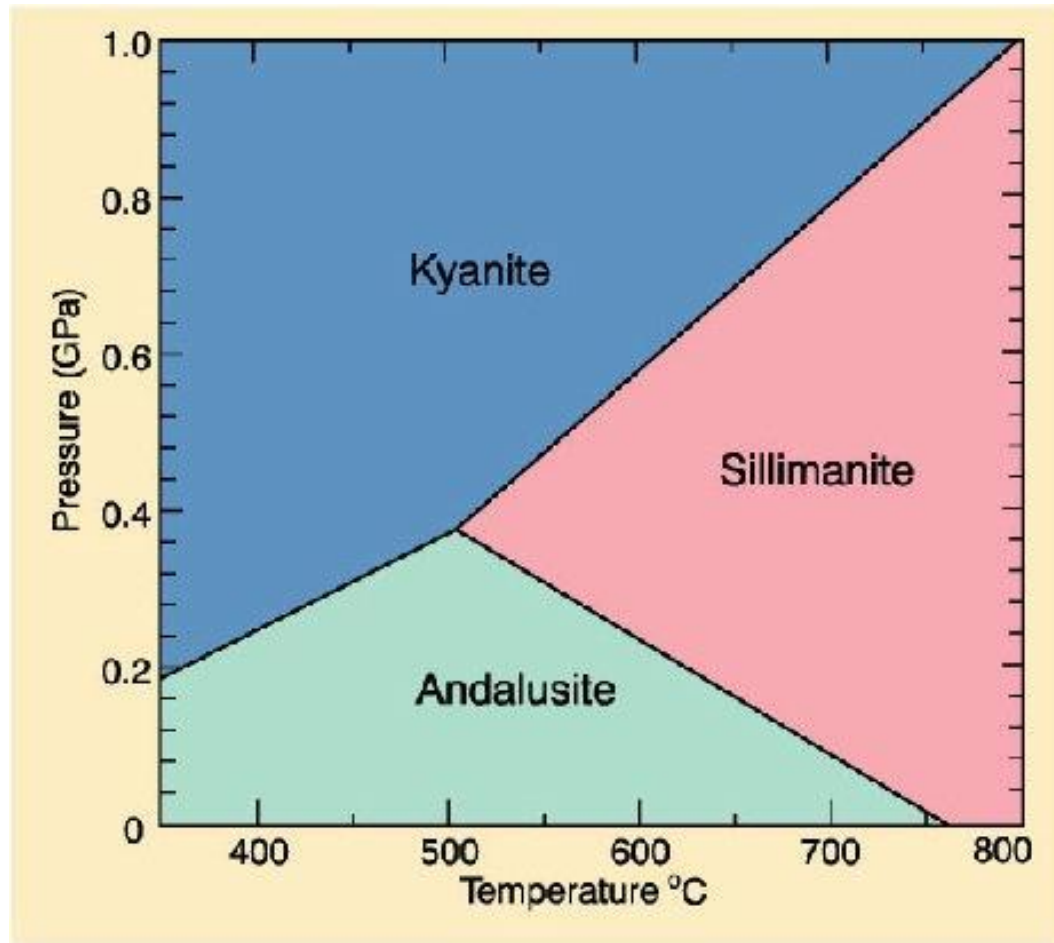
L'identificazione delle associazioni mineralogiche ci permette di individuare la facies metamorfica



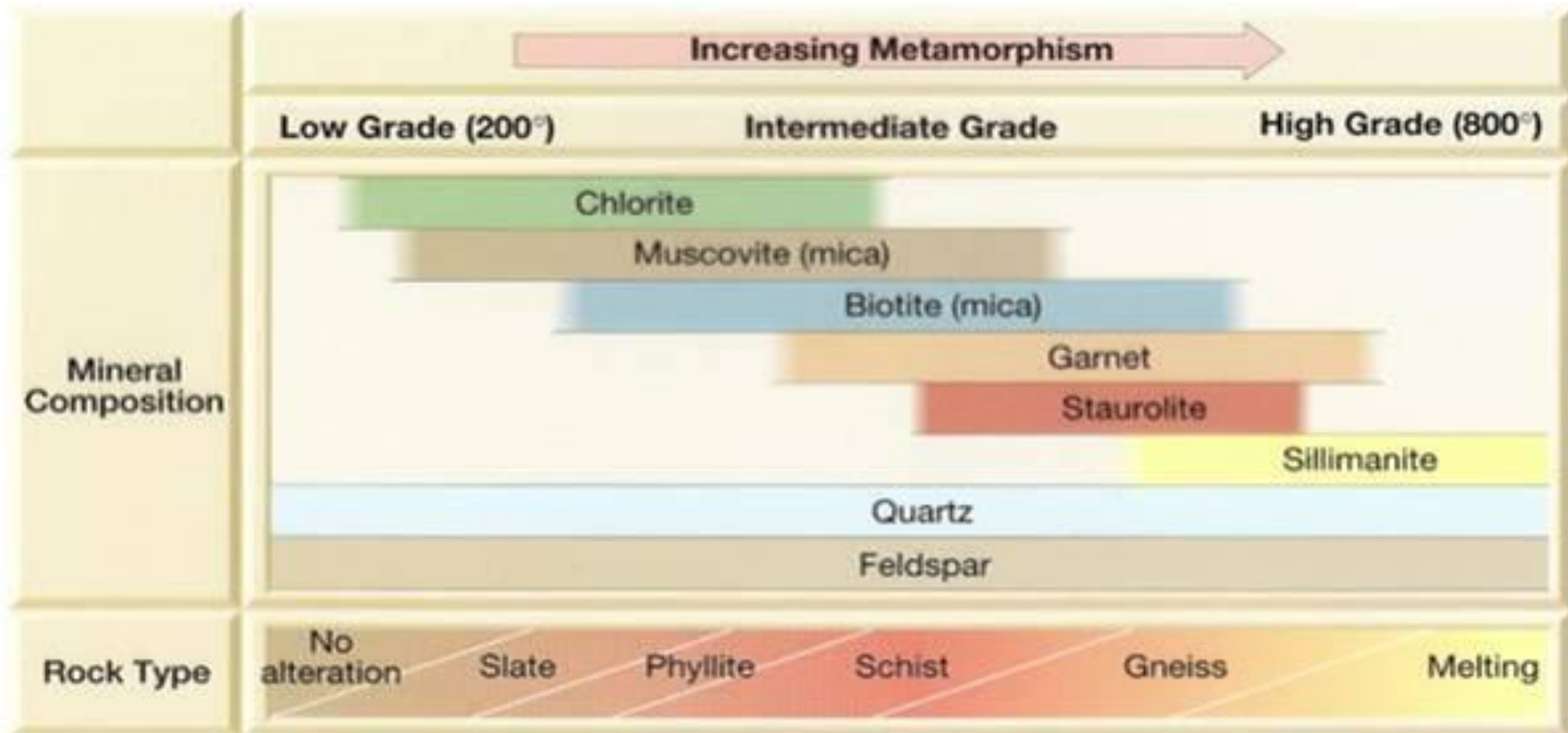
La risposta mineralogica al metamorfismo

Le associazioni mineralogiche:

- ✓ Condizioni P e T – diagramma Al_2SiO_5
- ✓ Composizione di roccia totale del protolito

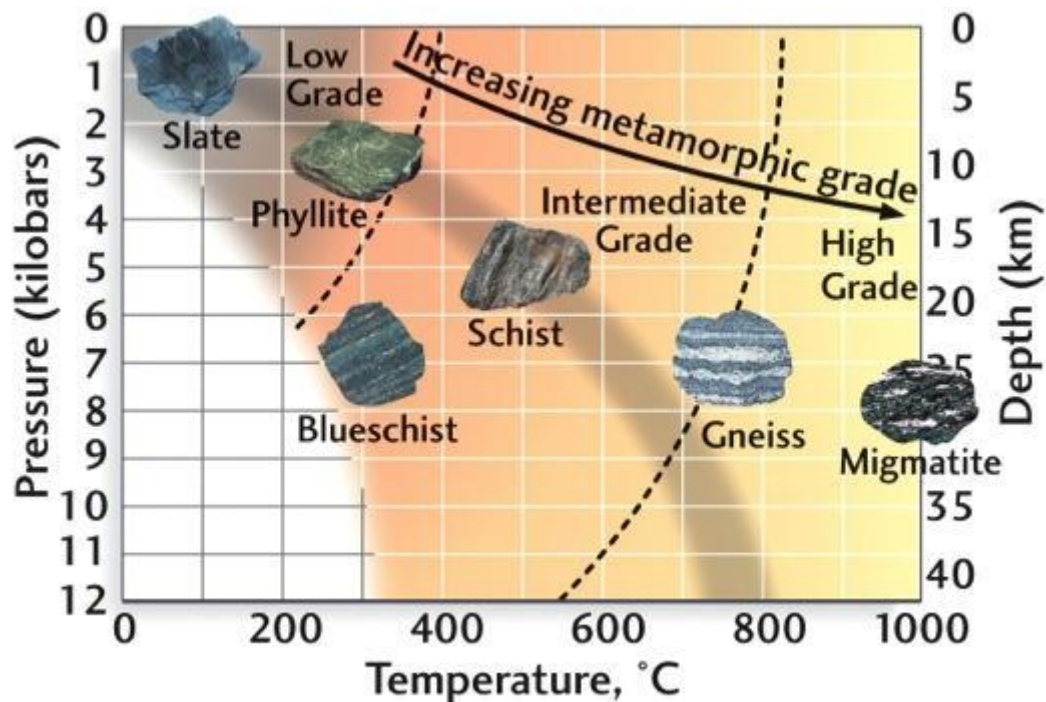
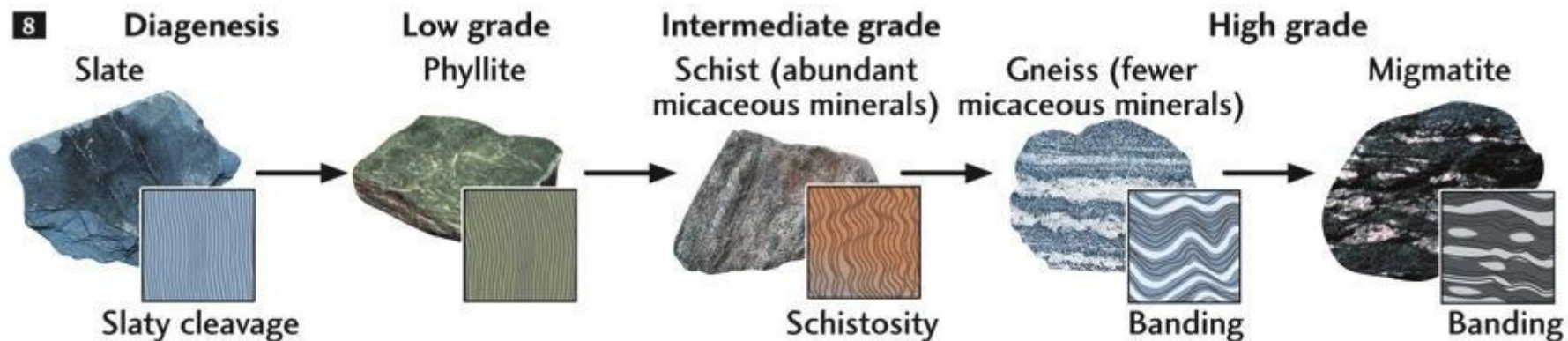


La risposta mineralogica al metamorfismo



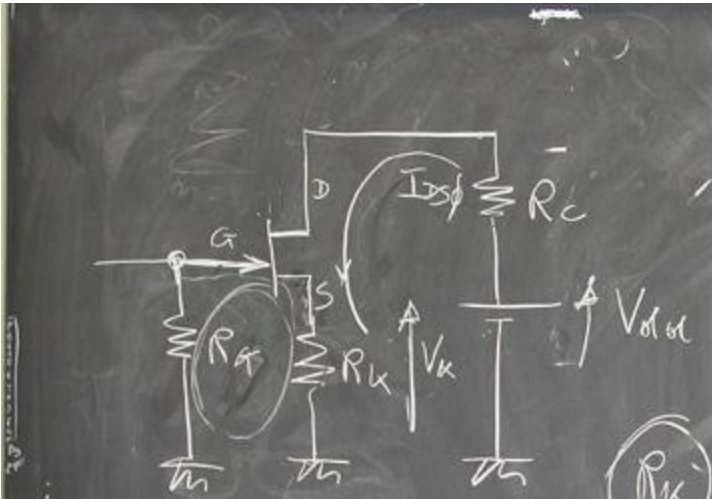
METAPELITI

ARDESIA □ MICASCISTO □ PARAGNEISS □ MIGMATITE





- Argiloscisto (slate, ardesia) è una roccia a grana estremamente fine derivata da sedimenti pelitici (metapelite) costituita prevalentemente da fillosilicati che conferiscono alla roccia una tessitura foliata (clivaggio). I minerali che definiscono la foliazione non sono visibili ad occhio nudo. Assumono colorazioni variabili, talvolta rossi, spesso grigio-neri ad indicare abbondante materia organica. Alla mica bianca si accompagnano clorite, quarzo e talvolta albite.



$V_{GS\phi}, V_{DS\phi}, I_{DS\phi}$

$$I_{DS} = I_{DSS} \left(1 - \frac{V_{GS}}{V_p} \right)^2$$

$$V_{GS} = -R_k I_{DS}$$

$$I_{DS} = -\frac{1}{R_k} V_{GS}$$

$$V_p = -6V \quad (|V_p|)$$

$$\frac{I_{DS}}{I_{DSS}} = 1 + \frac{R_k^2 I_{DS}^2}{V_p^2} + 2 \frac{R_k I_{DS}}{V_p}$$

$$\frac{R_k^2}{V_p^2} I_{DS\phi}^2 + \left(\frac{2R_k}{V_p} - \frac{1}{I_{DSS}} \right) I_{DS\phi} - 1 = 0$$

$-R_k I_{DSS} = -4V$	$-R_k I_{DSS\phi} = -7V$
----------------------	--------------------------

METAPELITI - fillade

Fillade (*phyllite*) è una roccia a grana fine, con una foliazione molto sviluppata, con superfici solitamente a lucentezza sericea, di colore variabile da plumbeo al verdastro, sulle quali possono spiccare porfiroblasti (es. granato) o spalmature di biotite.



METAPELITI - micascisto

- Micascisti sono tipicamente lucenti, di colore argento quando sono ricchi di mica bianca, più marroni quando sono ricchi di biotite. La mica si presenta scagliosa, a grana maggiore rispetto alle filladi.
- Possono spiccare porfiroblasti di granato, staurolite (in prismi marrone scuro) o cianite (in lamine allungate e piatte di colore azzurro).



staurolite



granato



rombododecaedro

cianite



METAPELITI - paragneiss

Roccia a grana grossa caratterizzata dall'alternanza di livelli a composizione mineralogica diversa (livelli a miche alternati a livelli quarzoso - feldspatici). La foliazione è discontinua

Per comporre il nome della roccia si usano i nomi di minerali che si osservano: ad es. gneiss a biotite , gneiss a granato e staurolite,...

Si utilizzano, generalmente, associazioni che possono dare un'indicazione della facies metamorfica



METAPELITI - granuliti

La destabilizzazione delle miche a temperature $> 600^{\circ}\text{C}$ porta alla comparsa di aluminosilicato (cianite o sillimanite) e K-feldspato.

La mica bianca si decompone prima della biotite quindi nelle metapeliti si possono osservare gneiss a biotite, granato, sillimanite (in facies granulitica), rocce che storicamente vengono chiamate Kinzigiti (da località tipo Kinzig – Foresta Nera)

La scomparsa definitiva della biotite genera K-feldspato e ortopirosseno (granuliti acide)



kinzig
ite



granul
ite

Specific Metamorphic Rock Types

Skarn: a contact metamorphosed and silica metasomatized carbonate rock containing calc-silicate minerals, such as grossular, epidote, **tremolite**, **vesuvianite**, etc. **Tactite** is a synonym.



Granulite: a high grade rock of pelitic, mafic, or quartzo-feldspathic parentage that is predominantly composed of OH-free minerals. Muscovite is absent and plagioclase and orthopyroxene are common.



MIGMATITI

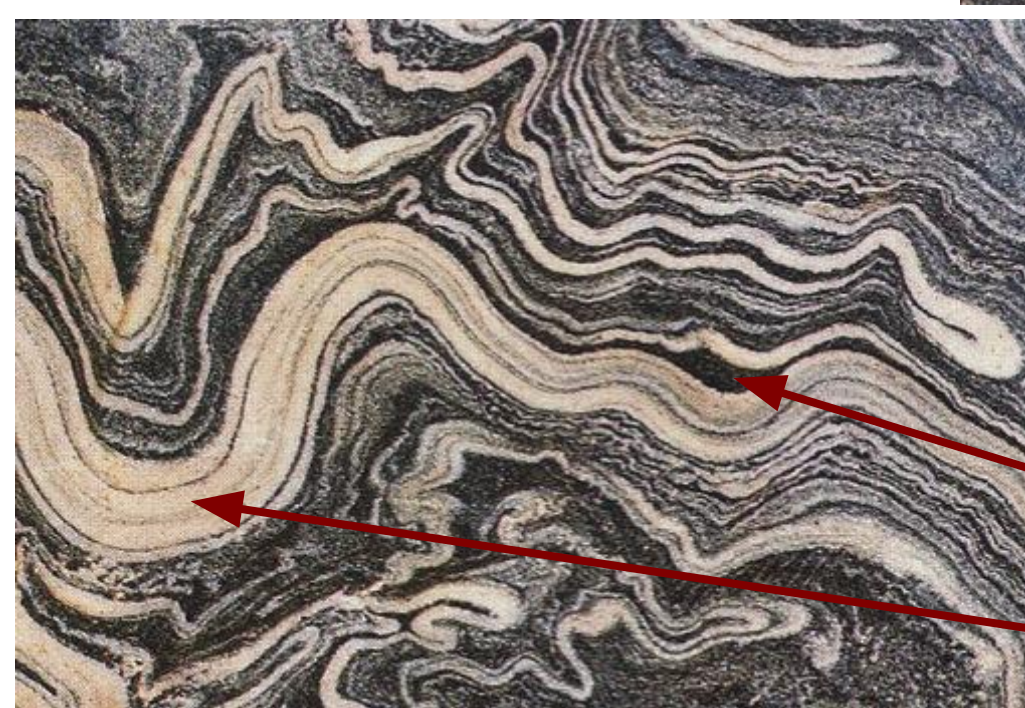
Migmatiti: alcuni gneiss possono trasformarsi in *migmatiti*. Rocce particolari con componenti metamorfiche ed ignee (fuse), che si rinvengono in aree caratterizzate da metamorfismo in facies granulitica



Gli strati più scuri (*Paleosoma*) rappresentano la porzione più restitica del protolito, la parte più chiara (*Neosoma*, composizione granitica) rappresenta il prodotto della fusione parziale del protolito.

Paleosoma

Neosoma



Specific Metamorphic Rock Types



Migmatite: a composite silicate rock that is heterogeneous on the 1-10 cm scale, commonly having a dark gneissic matrix (*melanosome*) and lighter felsic portions (*leucosome*). Migmatites may appear layered, or the leucosomes may occur as pods or form a network of cross-cutting veins.

La maggior parte dei minerali delle rocce mafiche tendono
a
formare ampie soluzioni solide;

Le variazioni che si osservano maggiormente nei prodotti metamorfici sono quindi legate ad una riequilibriatura delle stesse fasi che modificano la loro composizione al variare delle condizioni di P e T.

Rispetto alle metapeliti le metabasiti presentano meno fasi

METABASITI – scisto verde

In facies scisti verdi si osserva la associazione tipica (common) costituita da
Clorite+quarzo+albite+epidoto+attinolute/tremolite

La roccia si chiama SCISTO VERDE (prasinite) Il colore verde è dato da clorite, epidoto e attinolute. In generale sono a grana fine, poco scistose.



epidoto $\text{Ca}_2(\text{Al,Fe})_3\text{Si}_3\text{O}_{12}(\text{OH})$



Specific Metamorphic Rock Types

Greenschist/Greenstone: a low-grade metamorphic rock that typically contains chlorite, actinolite, epidote, and albite. Note that the first three minerals are green, which imparts the color to the rock. Such a rock is called greenschist if foliated, and greenstone if not. The protolith is either a mafic igneous rock or graywacke.



Amphibolite: a metamorphic rock dominated by hornblende + plagioclase. Amphibolites may be foliated or non-foliated. The protolith is either a mafic igneous rock or graywacke.

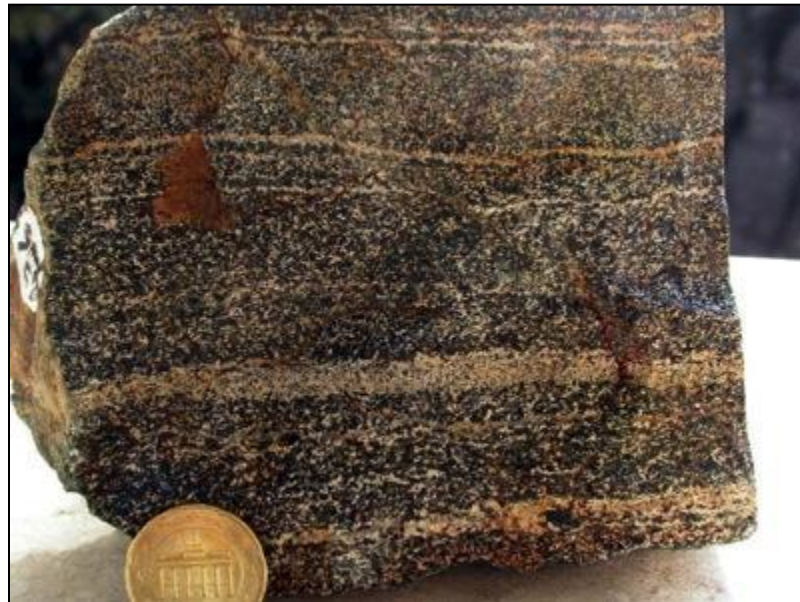


METABASITI – anfibolite

La transizione facies scisti verdi -> anfiboliti coinvolge principalmente la decomposizione della clorite e la comparsa di anfiboli più ricchi in alluminio.

attinolite → **orneblenda** (l'anfibolo accoglie maggior alluminio ($\text{Al}_2\text{O}_3 > 5\%$) derivante dalla decomposizione della clorite)

Le rocce che si formano si chiamano ANFIBOLITI. Solitamente sono gneissiche. A grana fine, con anfiboli sotto forma di aghetti semilucidi. Il colore delle anfiboliti è verde molto scuro



METABASITI - granulite

Il passaggio verso la facies granulitica è segnato dalla decomposizione dell'anfibolo che produce dapprima clinopirosseno calcico e poi ortopirosseno.

Le granuliti mafiche sono poco o per niente scistose, appaiono granulari con cristalli isodiammetrici. Oltre a pirosseni si riconoscono plagioclasio e granato.

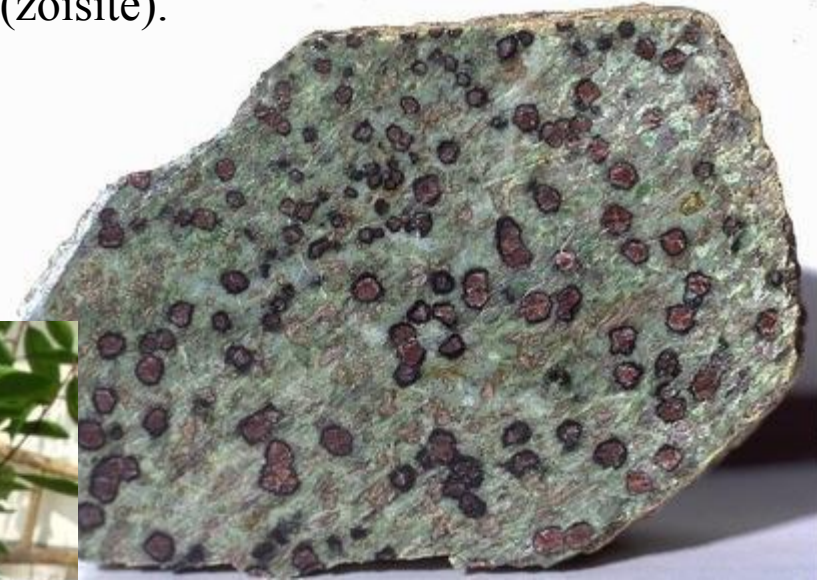


METABASITI – eclogite

Le ECLOGITI sono caratterizzate dalla presenza di pirosseno sodico, l'onfacite, la cui comparsa è legata alla destabilizzazione del plagioclasio albitico, e da granato.

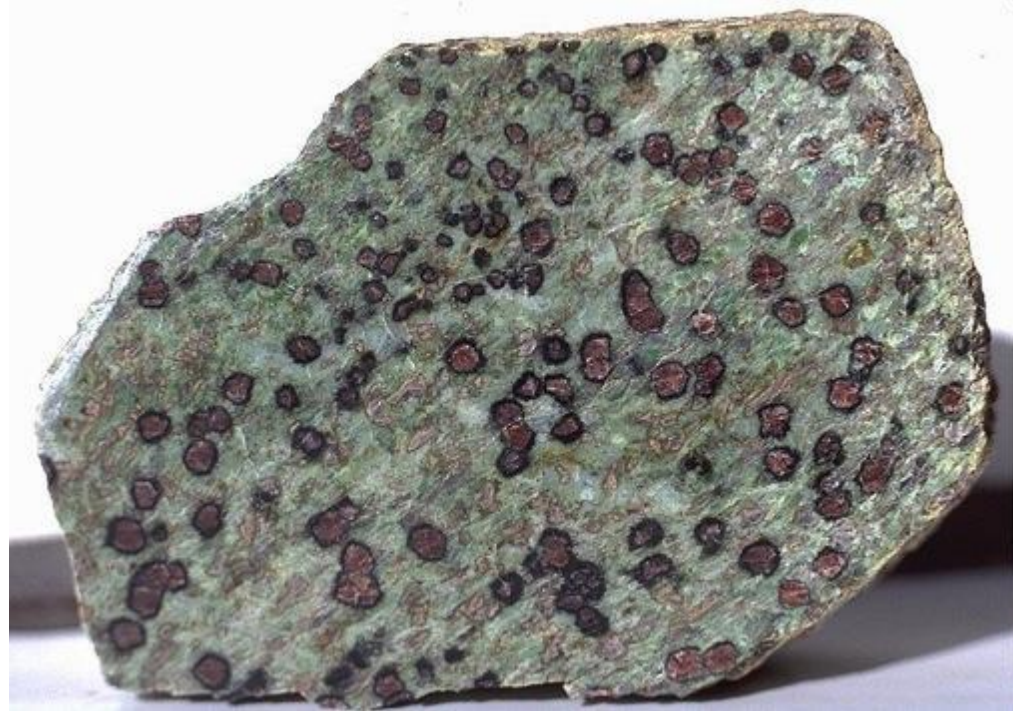
La grana è variabile, in generale grossa, il colore è dato dal fondo verde brillante su cui spicca il rosa-viola del granato.

In alcuni campioni si può riconoscere cianite, epidoto (zoisite).



Specific Metamorphic Rock Types

Eclogite: a green and red metamorphic rock that contains clinopyroxene and garnet (omphacite + pyrope). The protolith is typically basaltic.



METABASITI – scisto blu

Gli SCISTI BLU sono caratterizzati dalla presenza di anfibolo blu, anfibolo sodico della serie glaucofane-riebekite. Gli scisti blu sono molto vari tessituralmente, da micascisti con porfiroblasti di glaucofane a campioni più compatti costituiti prevalentemente da anfibolo blu. Si può riconoscere lawsonite.



Specific Metamorphic Rock Types

Serpentinite: an ultramafic rock metamorphosed at low grade, so that it contains mostly serpentine.



Blueschist: a blue amphibole-bearing metamorphosed mafic igneous rock or mafic graywacke. This term is so commonly applied to such rocks that it is even applied to non-schistose rocks.



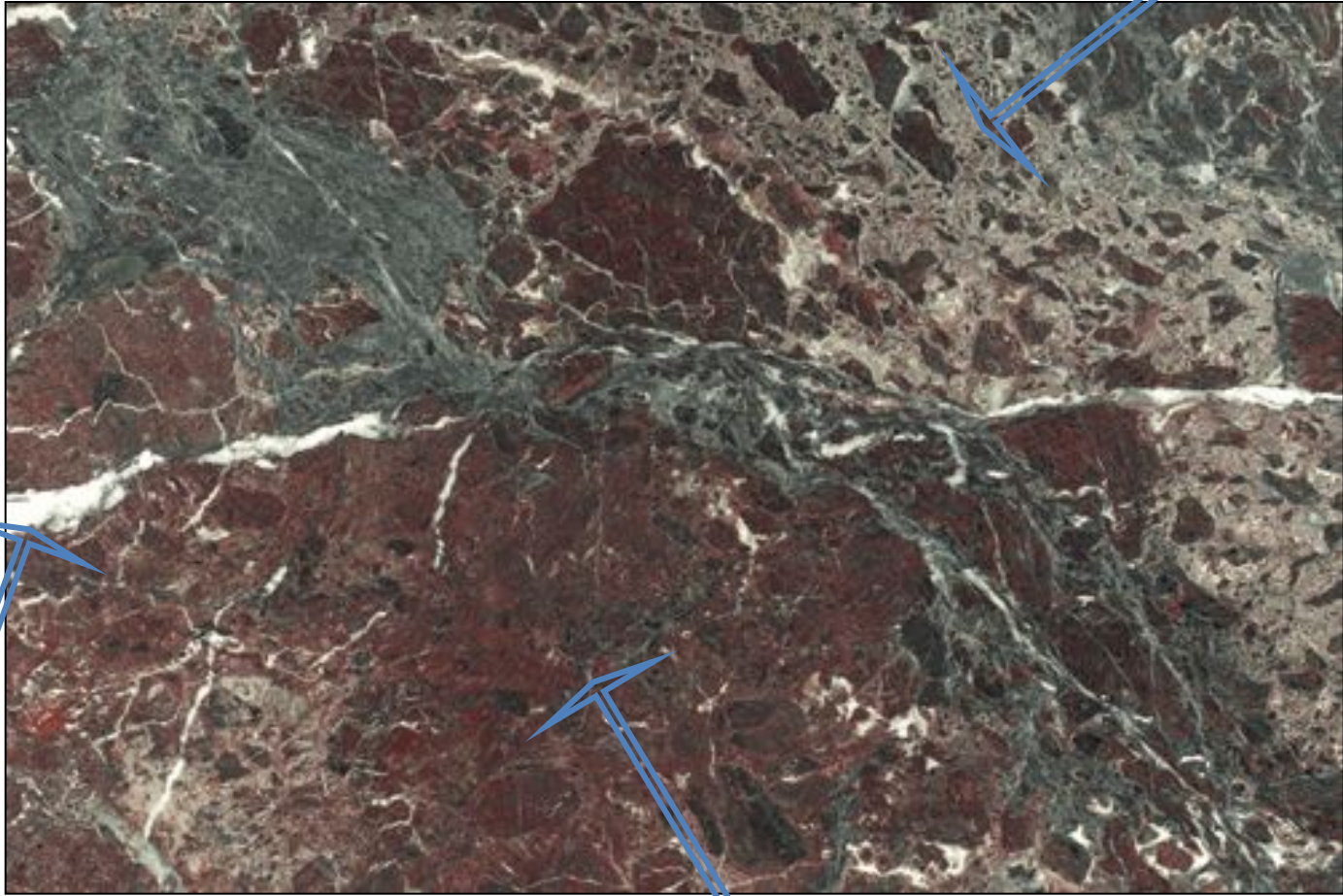
METAPERIDOTITI

Roccia metamorfica prodotta da reazioni di idratazione di rocce femiche e ultrafemiche

Le rocce metamorfiche ricche di serpentino si chiamano serpentiniti, rocce di colore verde scuro/nero, spesso scistose, con piani di divisibilità mai lisci, ma scheggiati regolarmente, a lucentezza grassa



Breccia
di serpentinite



Vene
di calcite

Serpentinite

METACARBONATI

- **Metacarbonati** derivano dal metamorfismo di rocce calcaree in cui la componente carbonatica è predominante.
- **Marmi** sono carbonati pressochè puri
- **Rocce a silicati di calcio** la porzione carbonatica è subordinata la roccia può essere costituita da silicati di Ca-Mg-Fe-Al come diopside, grossularia, anfiboli calcici, vesuvianite, epidoto, wollastonite, etc. derivano da protoliti di composizione mista come ad esempio calcareniti arenacee o marne
- **Skarn**: rocce a silicati di calcio formate dal metasomatismo legato all'interazione tra carbonati e rocce ricche in silicati o fluidi. Ad es. Contatto tra rocce incassanti di natura carbonatica e una intrusione

METACARBONATI - marmo

- ✓ Roccia metamorfica che contiene più del 50 vol% di minerali carbonatici (calcite, aragonite, dolomite ...).
- ✓ Il protolite è tipicamente un calcare o una dolomia

Marmo puro

Se i carbonati sono > 95 vol%

Marmo impuro

Se i carbonati sono < 95 vol%

Il nome dei marmi impuri è composto da marmo + minerale (ad es., marmo a forsterite e diopside)



High Strain Metamorphism

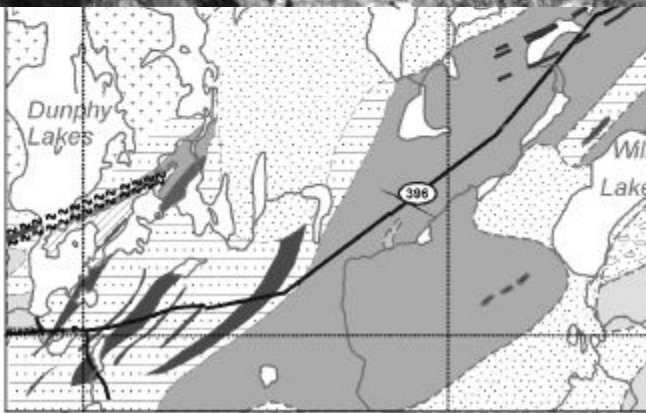
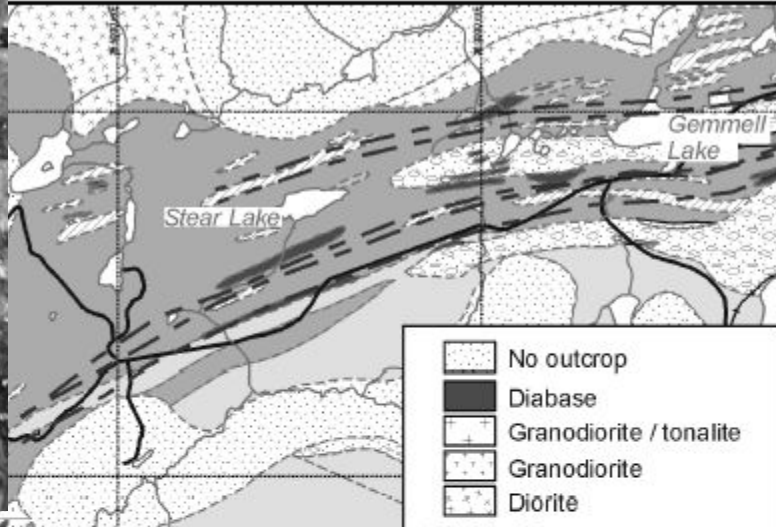
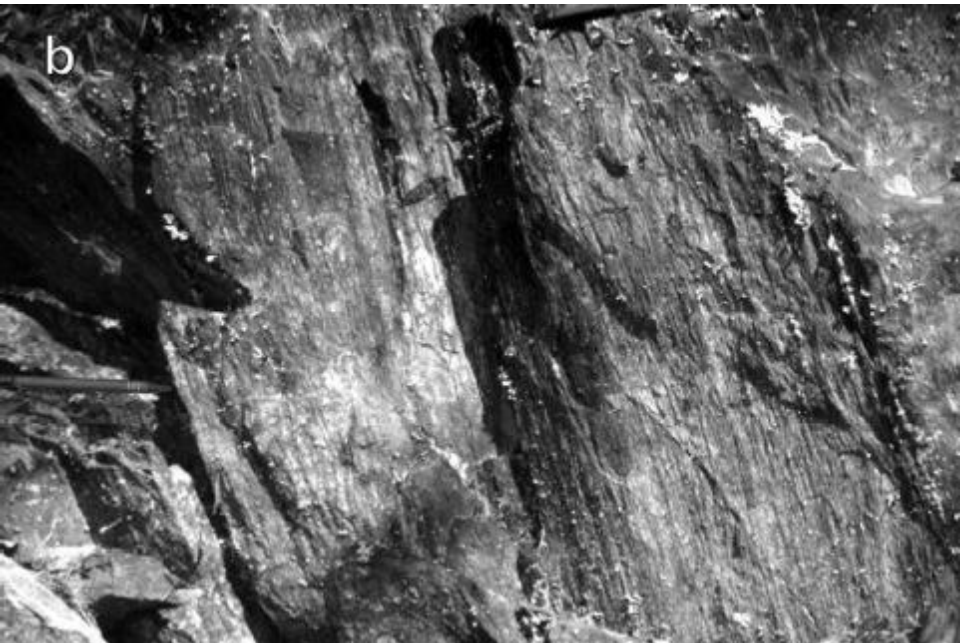
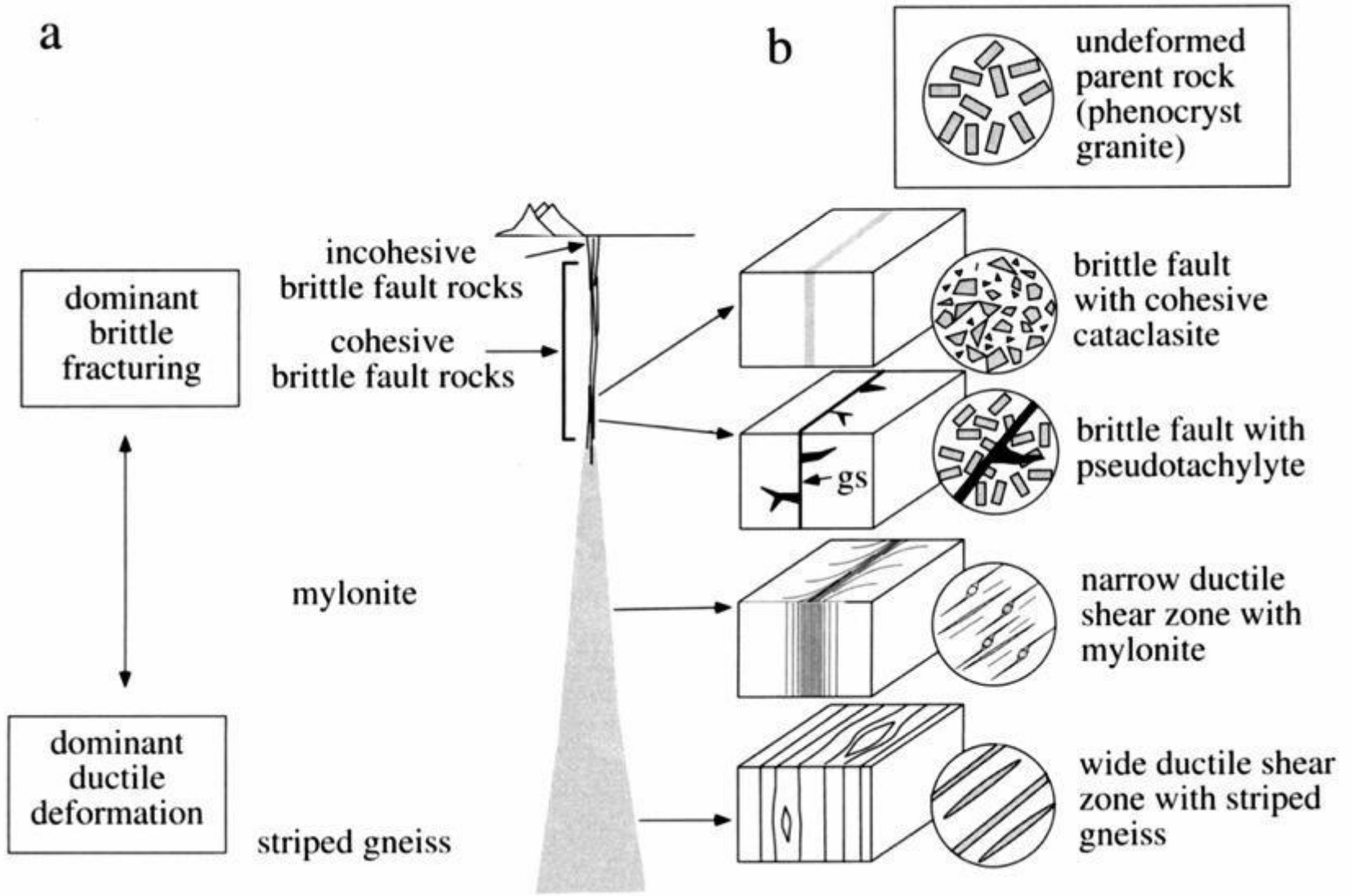
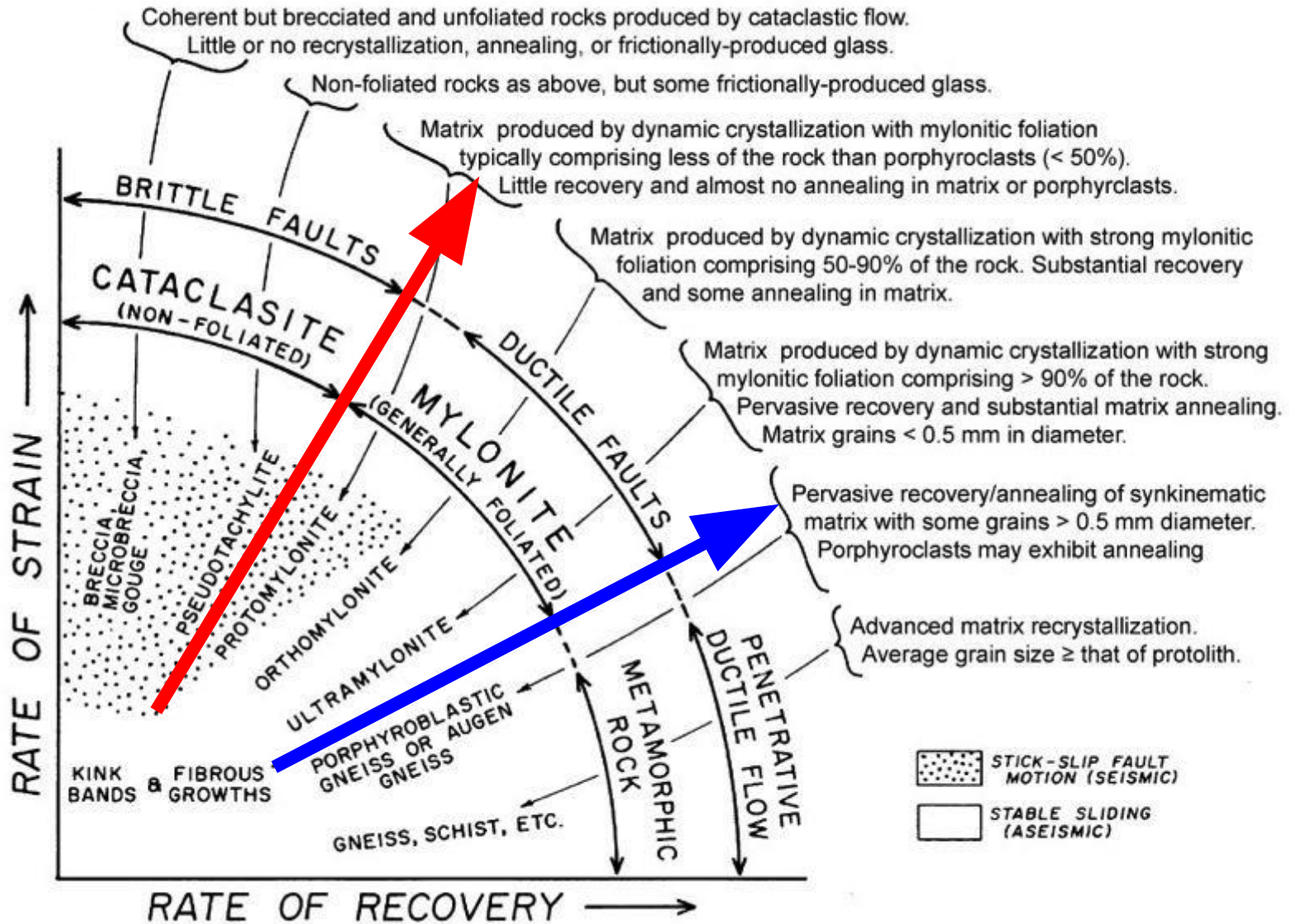


Figure GS-12-1: General geology of the Lynn Lake greenstone belt.

High Strain Rocks



High Strain Rocks



High Strain Rocks

Table 22-1. Classification of High-Strain Fault Zone Rocks

% fine matrix	Rocks without primary cohesion	Rocks with primary cohesion			
		Non-foliated	Foliated		Glass in matrix
50	Fault breccia	Microbreccia	Protomylonite	Blastomylonite (if significantly recrystallized)	Pseudotachylite
70			Mylonite		
90	Fault gouge	Cataclasite	Ultramylonite		

After Higgins (1971)

