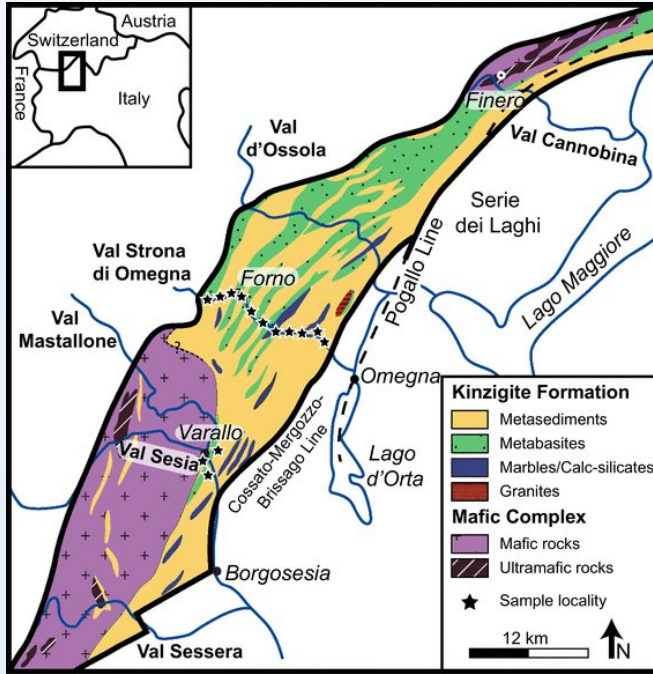
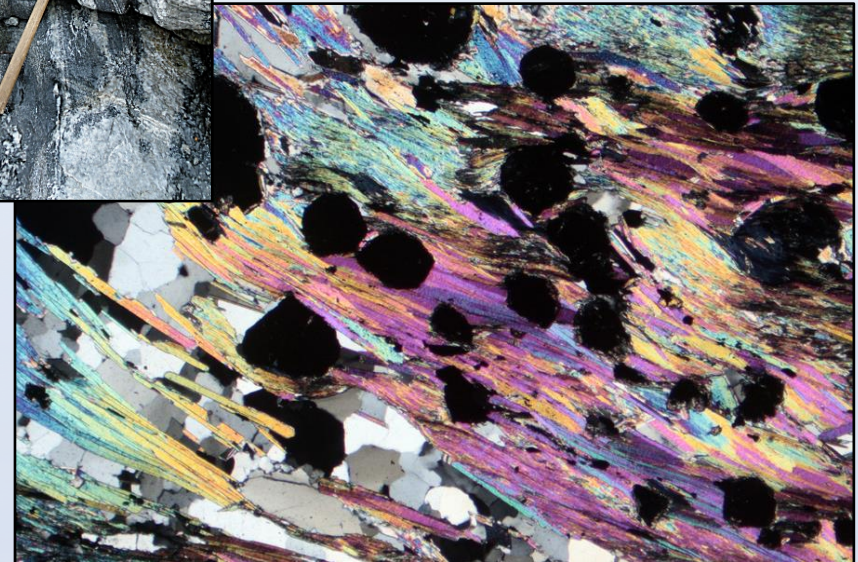


Strutture e tessiture delle rocce metamorfiche



Kunz et al
(2018)

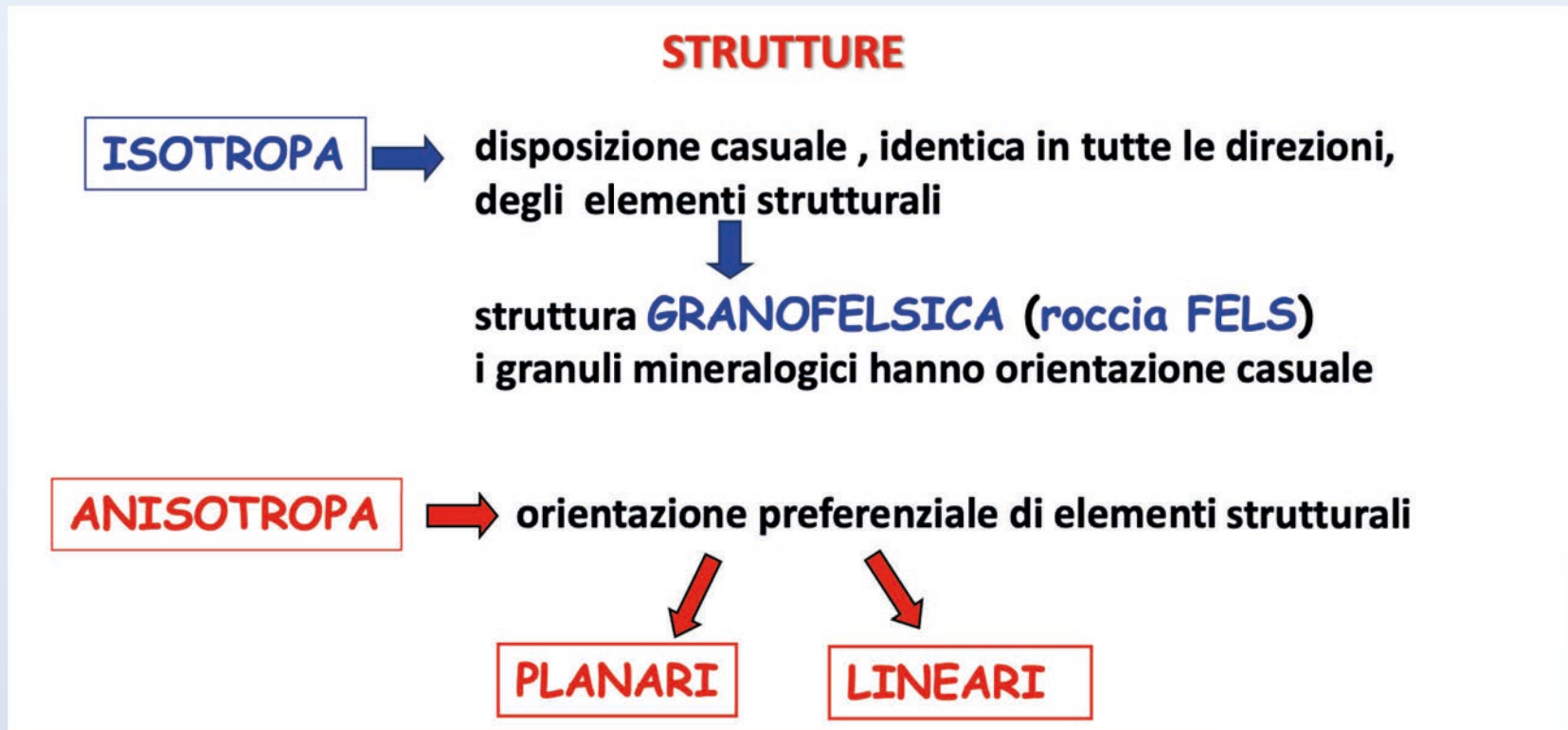


Strutture e tessiture delle rocce metamorfiche

STRUTTURA = disposizione delle parti di una roccia, che include:

- le relazioni spaziali fra le parti
- le loro dimensioni e relative forme
- le caratteristiche interne delle parti

TESSITURA = MICROSTRUTTURA = caratteri osservabili al microscopio



Anisotropie planari

Sono delle superfici di discontinuità planare

FOLIAZIONE (è un tipo di anisotropia planare):

struttura planare penetrativa (= che si presenta in modo ripetitivo) in un corpo roccioso.

Tipi di foliazione sono: LAYERING

CLIVAGGIO

SCISTOSITÀ

STRUTTURA GNEISSICA

LAYERING: struttura a bande di composizione diversa

CLIVAGGIO: consiste di un set di superfici parallele fittamente spaziate tra di loro (scala mm) lungo le quali la roccia si rompe facilmente (FISSILITA'). Lungo i piani NON si è ancora verificata una (ri)cristallizzazione orientata di minerali. I piani possono essere di preesistenti anisotropie planari.

Diversi tipi di clivaggio:

Clivaggio ardesiaco (slaty cleavage): costituito dall'isorientazione di fillosilicati a grana finissima, non distinguibili a occhio nudo

Clivaggio di crenulazione: collegato a sviluppo di sistemi di micropieghe (crenulazioni) che deformano una precedente struttura planare

Clivaggio di frattura: definito da un insieme di fratture finemente spaziate

Anisotropie planari

SCISTOSITÀ: tipo di foliazione determinata dalla cristallizzazione di nuovi minerali lamellari fillosilicatici (o ricristallizzazione) secondo una direzione preferenziale.

→ formazione di superfici lungo le quali la roccia si divide a scala cm

GNEISSOSITÀ: (= struttura gneissica): tipo di foliazione determinata dalla cristallizzazione di nuovi granuli con formazione di superfici scistose lungo le quali la roccia si divide a scala > cm

É definita da:

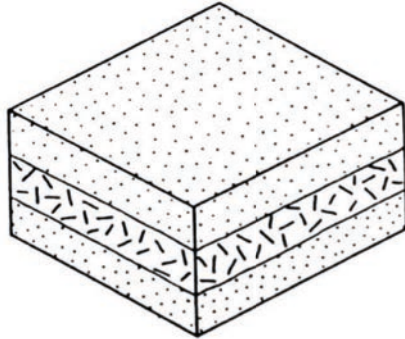
a) bande irregolari o mal definite

b) occhi o aggregati lenticolari di granuli (struttura occhiadina)

c) minerali fillosilicatici scarsi e/o debolmente orientati

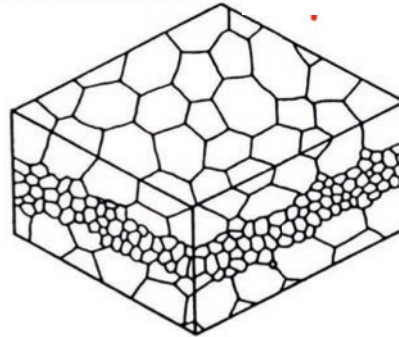
Anisotropie planari

layering
composizionale



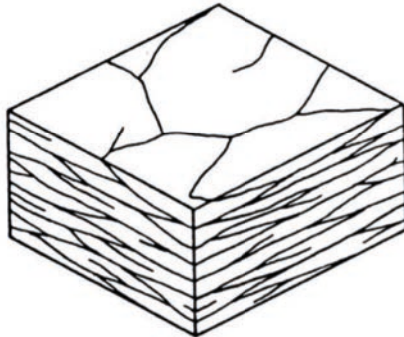
(a)

layering
granulometrico



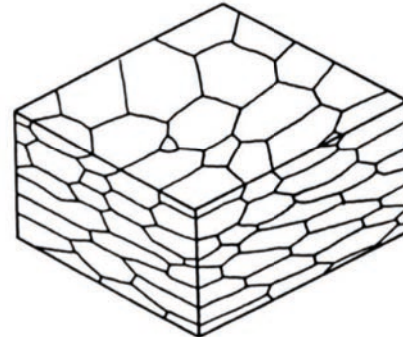
(b)

discontinuità
regolarmente
spaziate



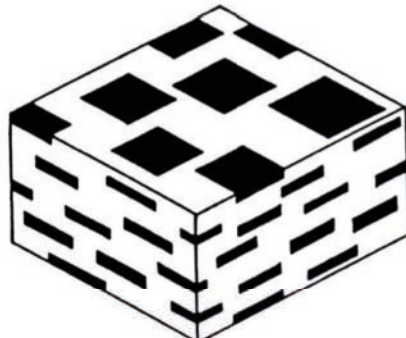
(c)

orientazione
preferenziale
di minerali
non lamellari



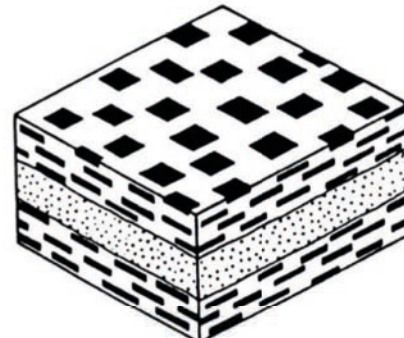
(d)

orientazione
preferenziale
di fillosilicati
SCISTOSITA'



(e)

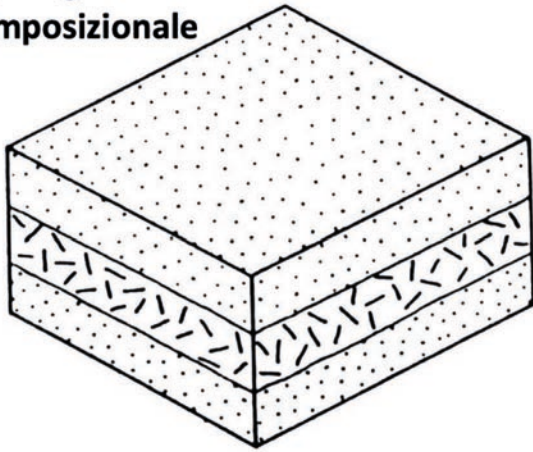
combinazione
di diverse foliazioni
(a+e: layering
composizionale +
scistosità)



(f)

Anisotropie planari

layering
composizionale

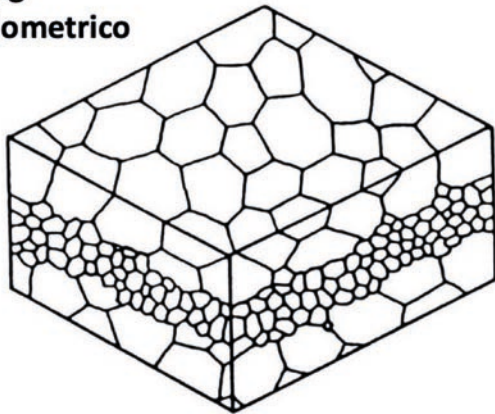


(a)

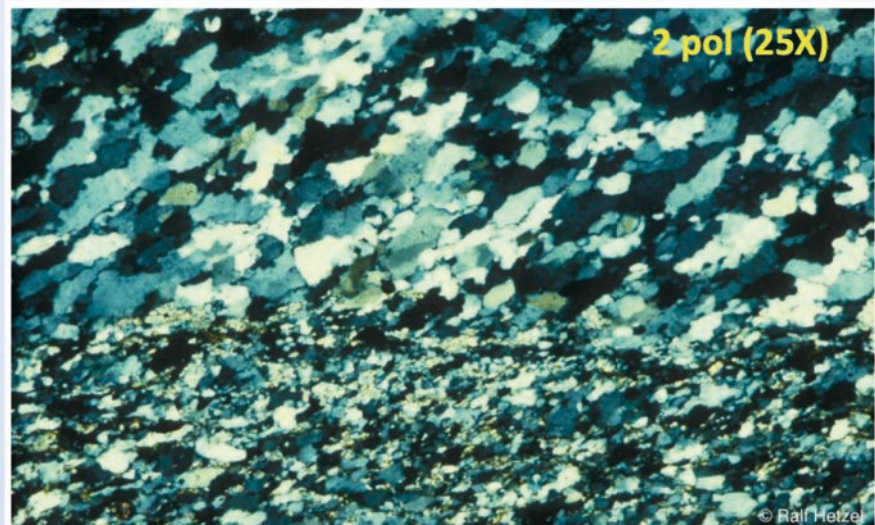


Hornfels a bande

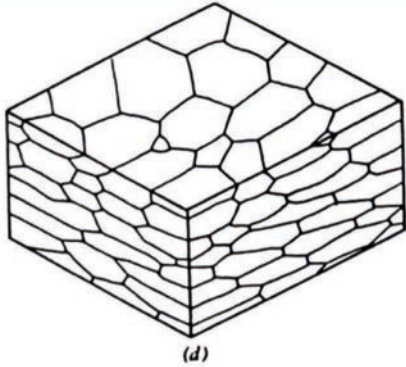
layering
granulometrico



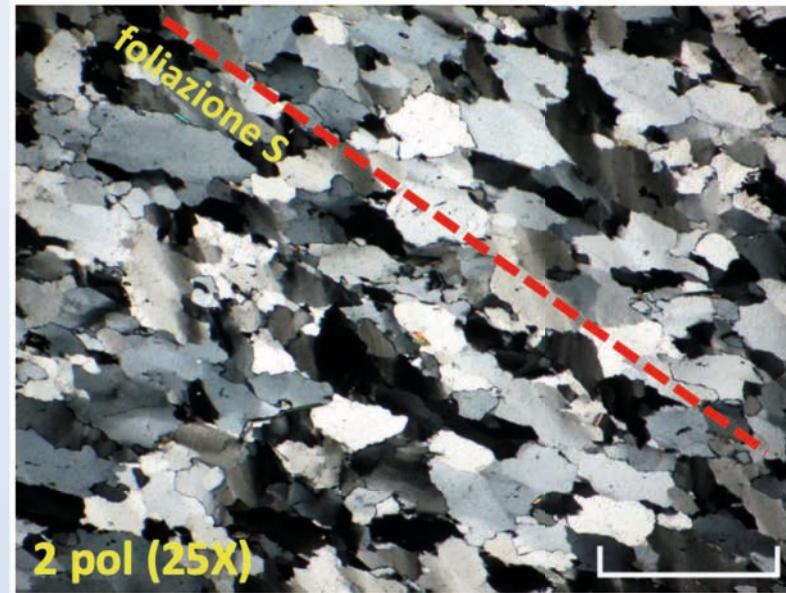
(b)



Anisotropie planari

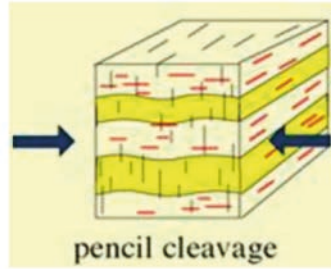
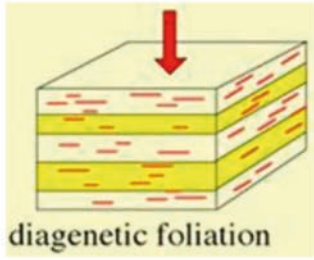


**orientazione
preferenziale
di minerali
non lamellari**

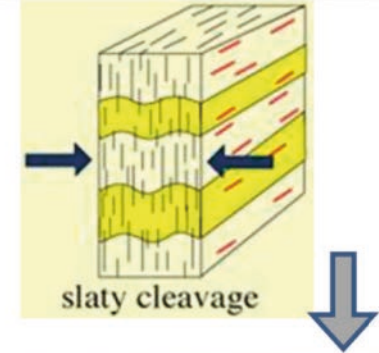


quarzo orientato

Clivaggio

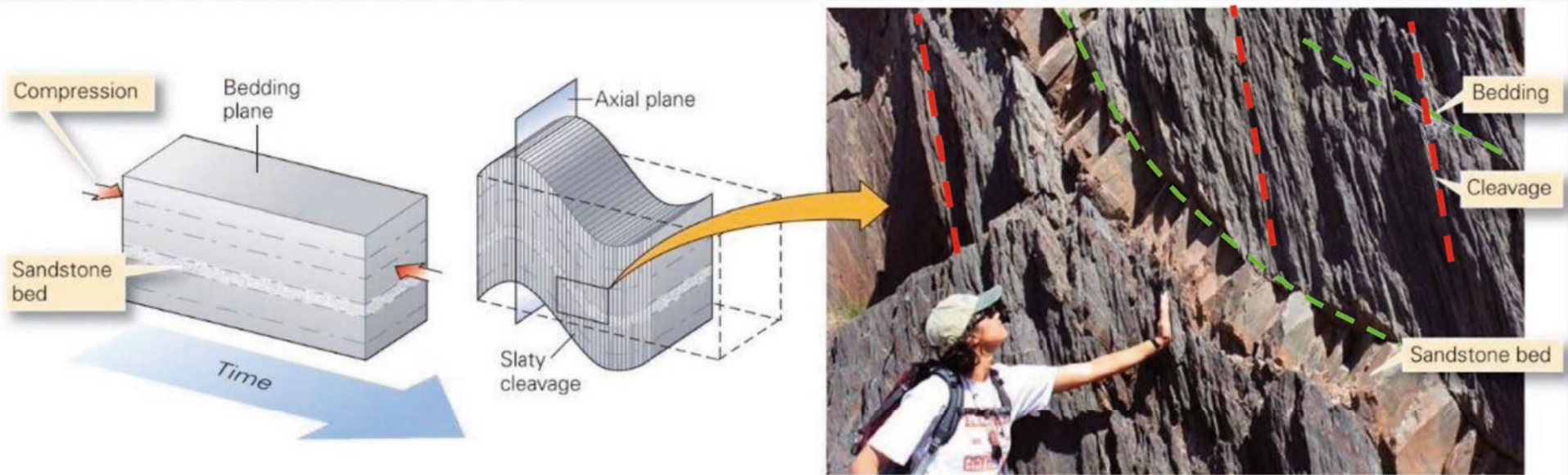


CLIVAGGIO

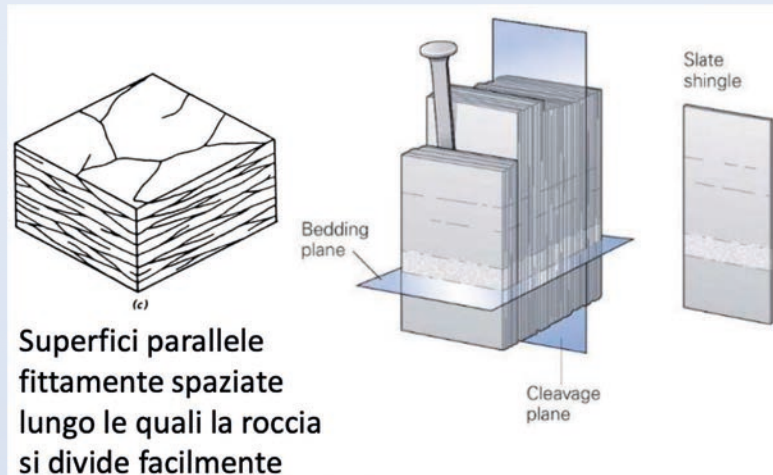


Clivaggio

Clivaggio ardesiaco

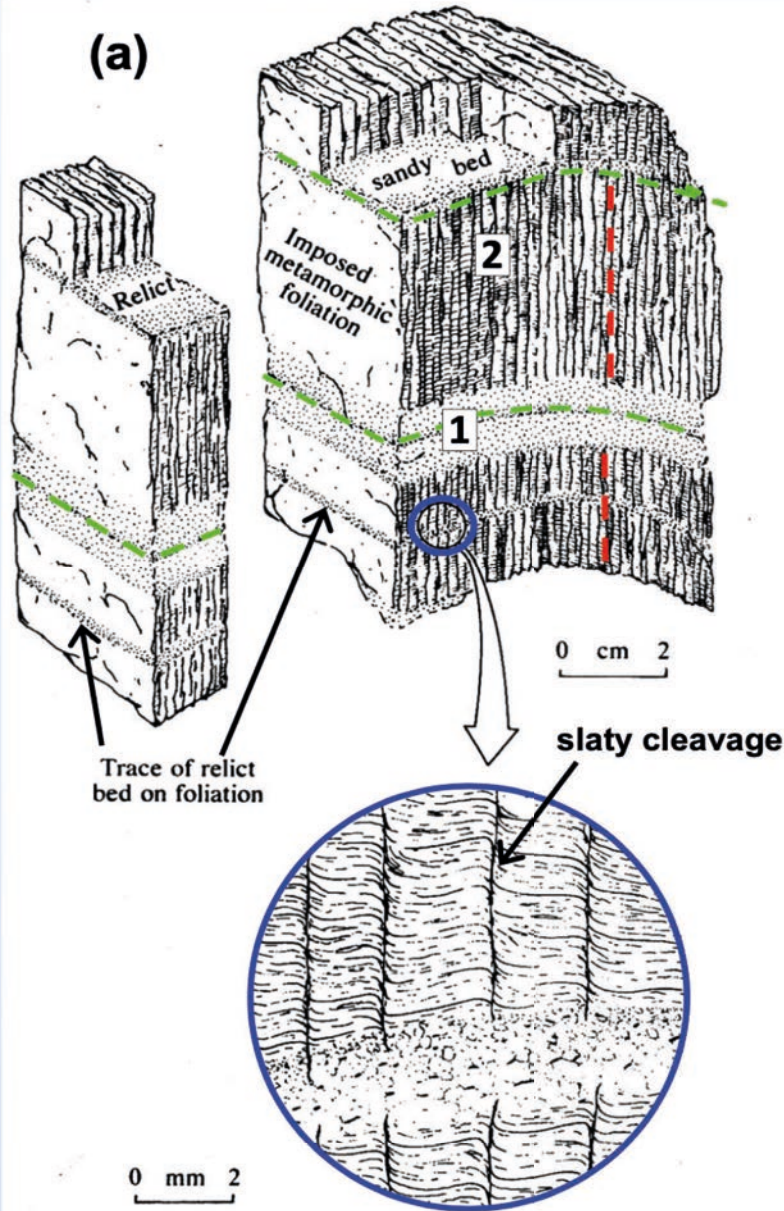


formazione del clivaggio in risposta allo stress compressivo: gli strati si piegano e parallelamente al piano assiale delle pieghe si forma il clivaggio



Clivaggio

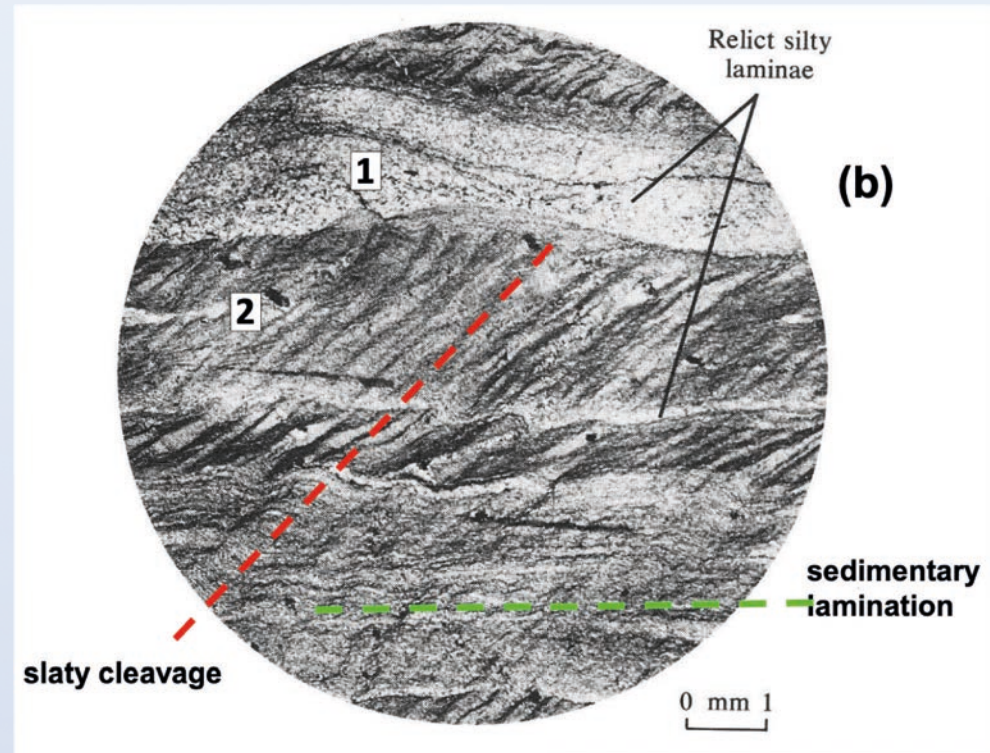
Clivaggio di crenulazione in argilloscisto (roccia sedimentaria debolmente metamorfosata)



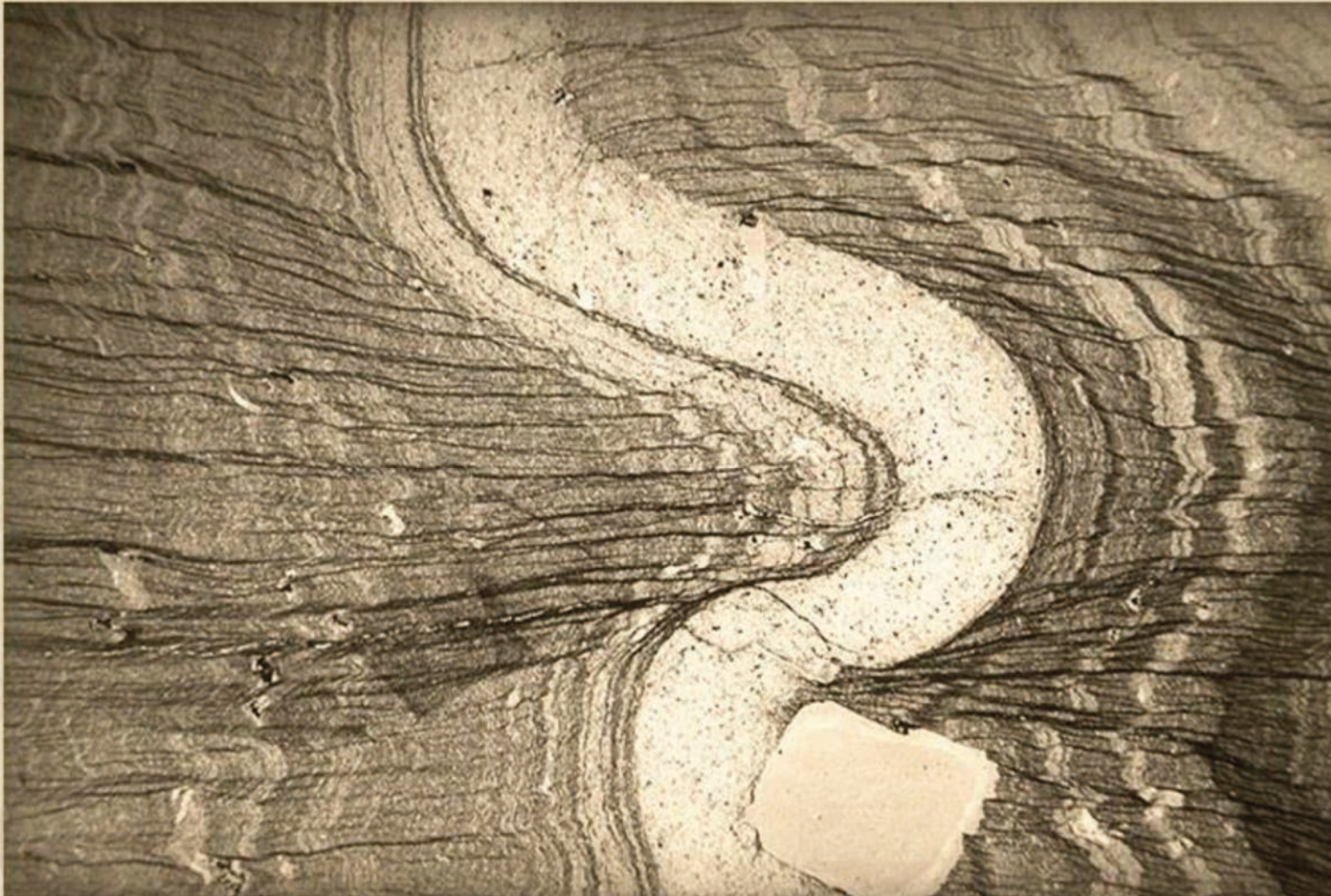
Livelli arenacei (1) e livelli argillosi (2); questi ultimi interessati da una foliazione metamorfica (piani verticali: clivaggio)

Nei livelli argillosi (2), i fianchi delle micropieghe della laminazione sedimentaria definiscono un clivaggio di crenulazione.

Nota l'assenza di micropieghe nei livelli arenacei (1) ricchi in quarzo- feldspati, a diversa competenza



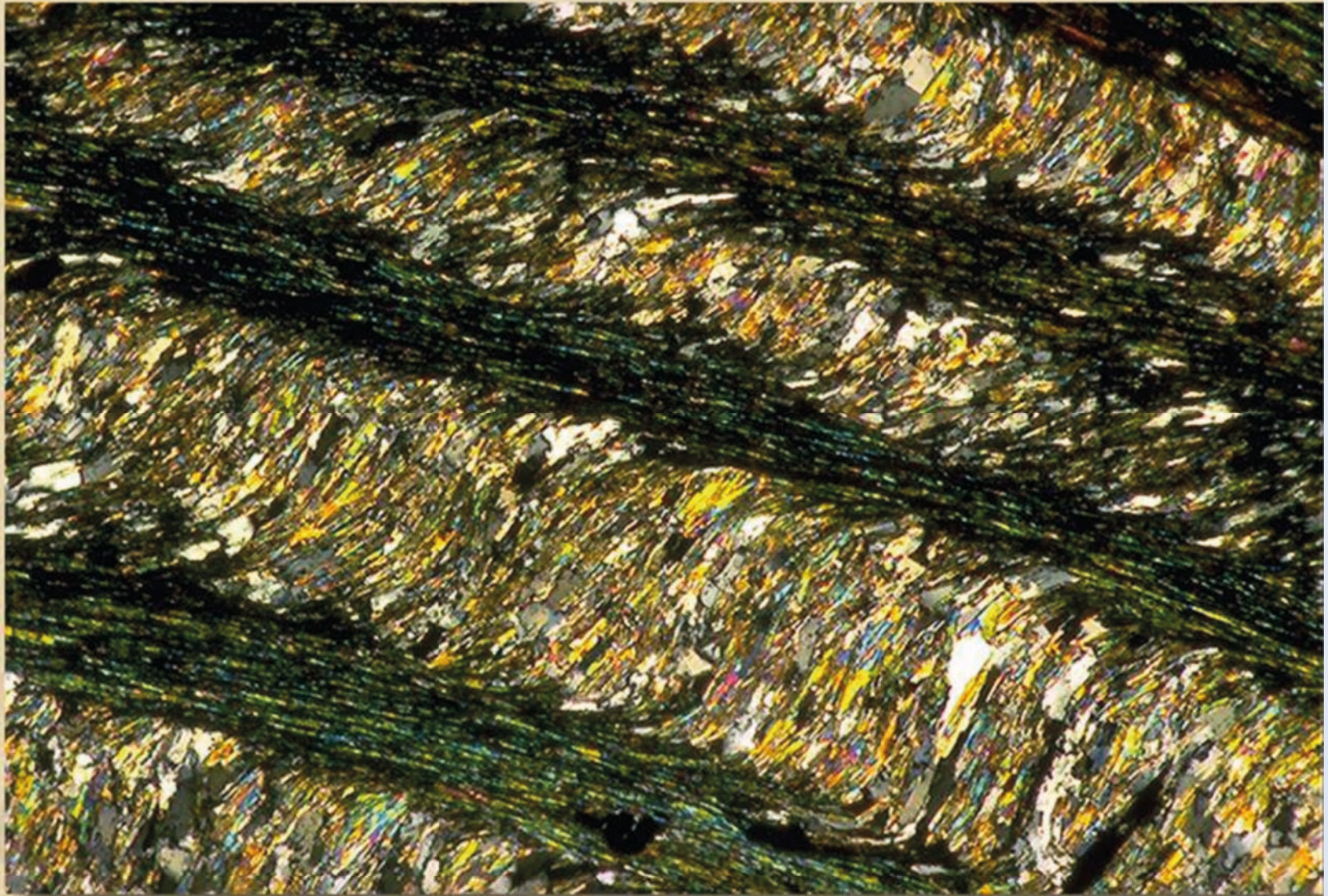
Clivaggio



Metasedimento di grado metamorfico molto basso: micropieghe della laminazione sedimentaria (**foliazione S₀**) ad andamento subverticale e sviluppo di **clivaggio di crenulazione (S₁)** ad andamento suborizzontale negli strati meta-pelitici. Il clivaggio si sviluppa negli strati ricchi in fillosilicati, non in quelli ricchi in quarzo (bianchi). Ampiezza foto 20mm. Nicols//. (Passchier & Trouw, 2005)

Clivaggio

Fig. C4.13



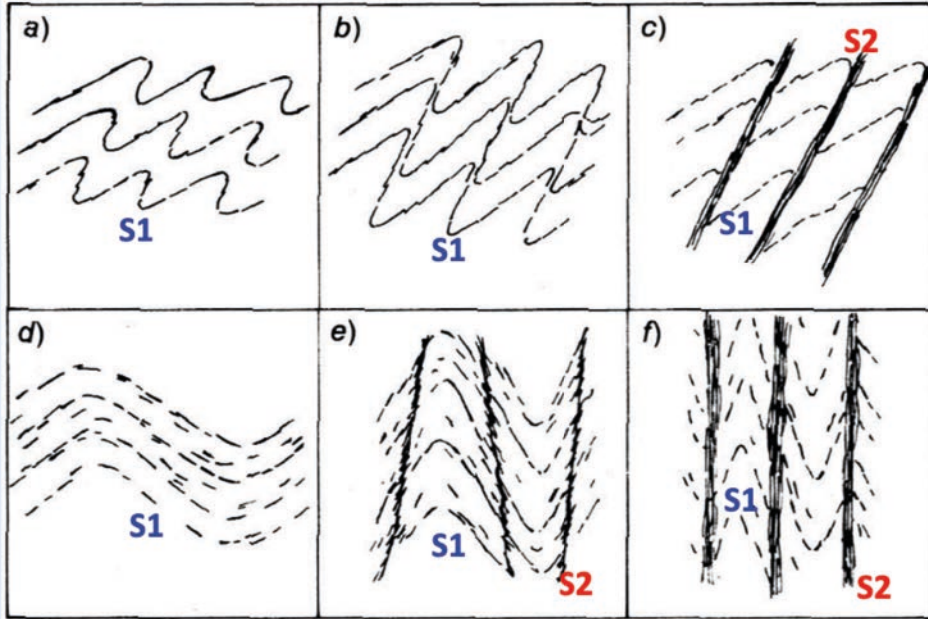
Differentiated crenulation cleavage in fine-grained schist. Note the absence of quartz in the mica-rich bands. NE-Brazil, width of view 2 mm. CPL.

Clivaggio di crenulazione in scisto a grana fine (Da Passchier e Trouw, 1996)

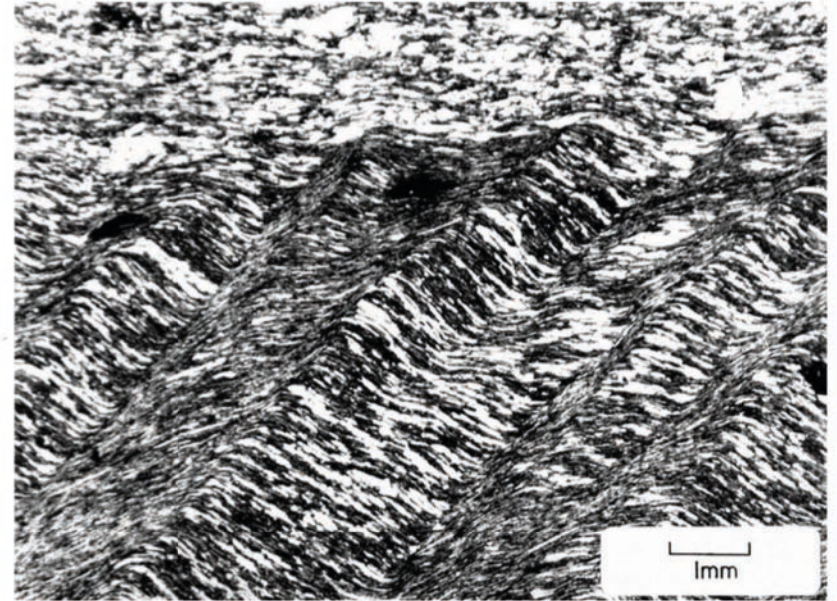
Clivaggio

CLIVAGGIO di crenulazione

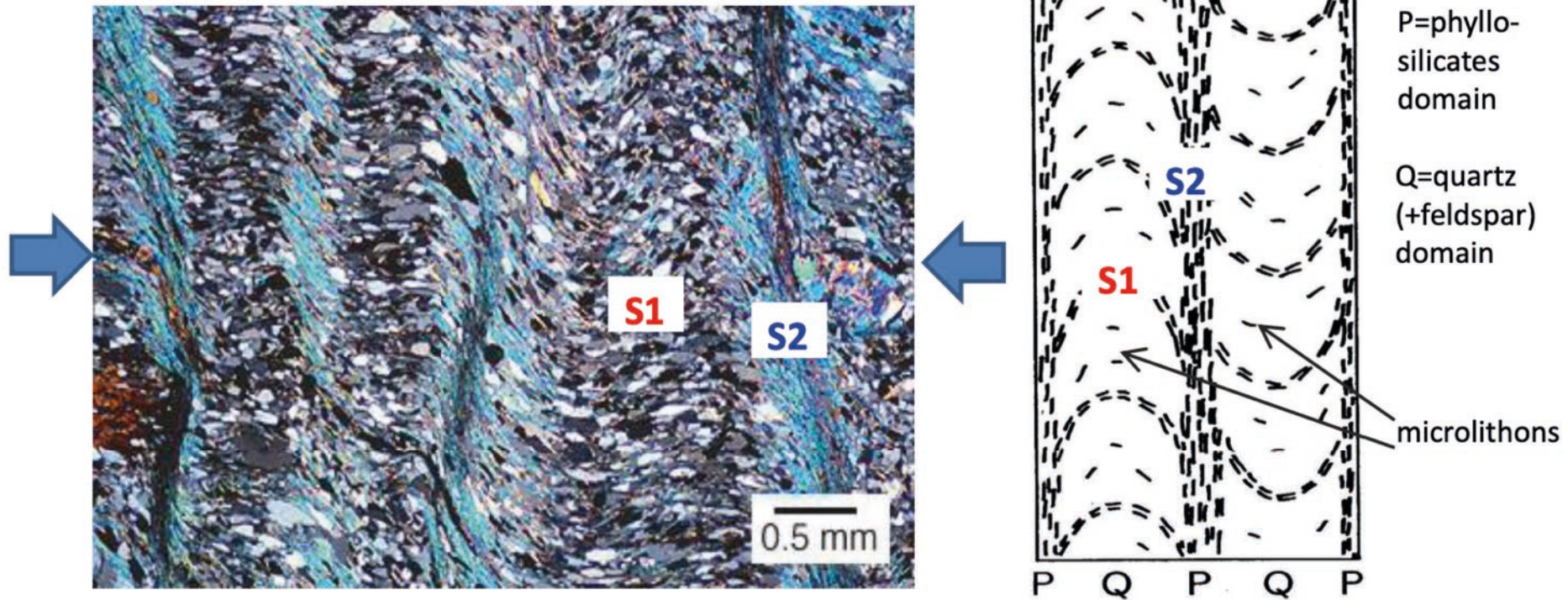
asimmetrico a-c



simmetrico d-f



Clivaggio

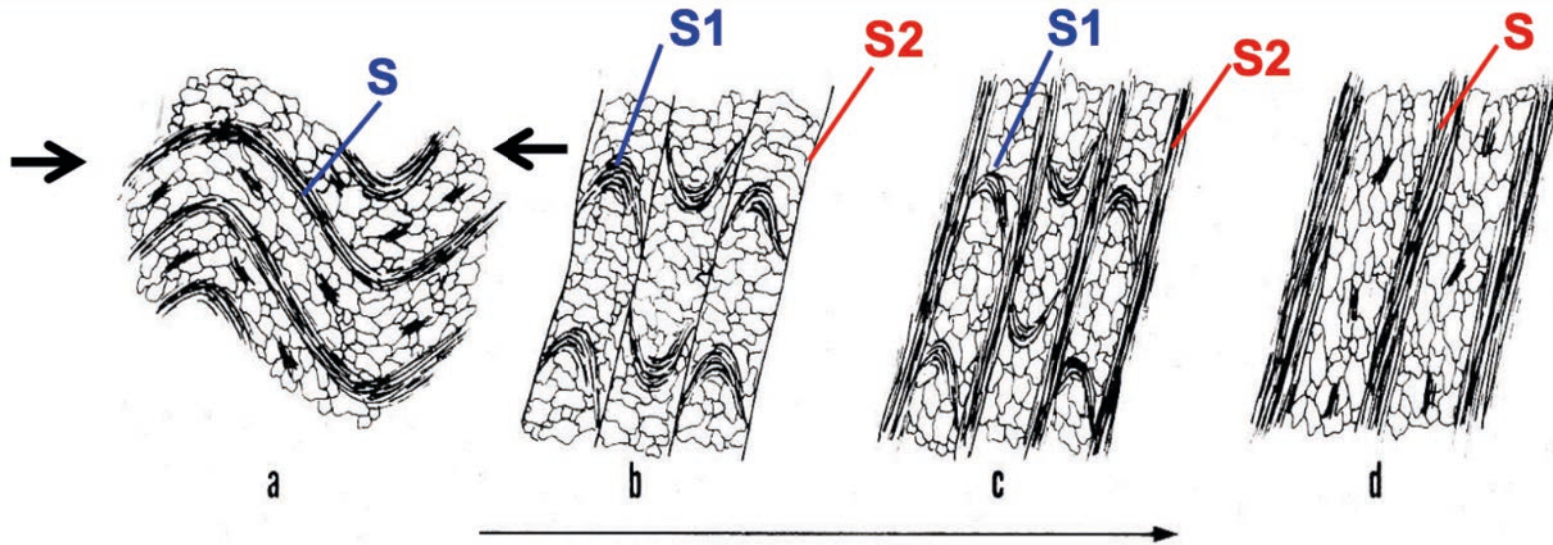


Per progressiva deformazione di S1, i fillosilicati migrano verso i fianchi delle micropieghe (domini P), che coincidono con la direzione perpendicolare a quella di massimo stress, mentre quarzo + feldspati migrano verso le cerniere delle micropieghe (domini) Q. Questo processo produce una nuova foliazione (S2) in corrispondenza dei piani di clivaggio.

La mobilitazione “locale” (a piccola scala) dei componenti chimici/mineralogici è detta differenziazione metamorfica : si creano dei micro-domini chimico-mineralogici (alternanza di livelli fillosilicatici e livelli quarzoso-feldspatici, spesso osservabili nelle rocce metamorfiche) che sommati tutti assieme, a scala maggiore, ridanno la composizione di partenza (= protolito; processo isochimico)

Clivaggio

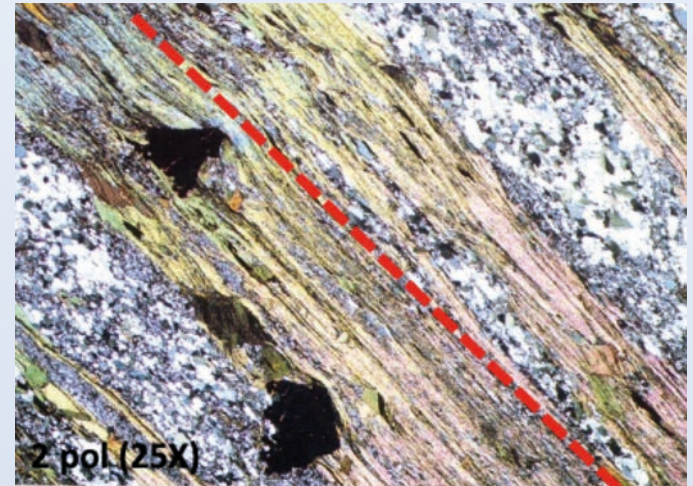
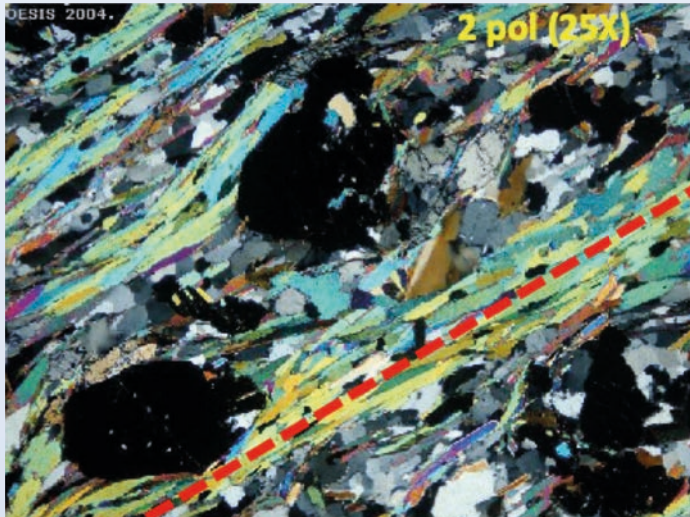
Evoluzione da laminazione sedimentaria a clivaggio fino a scistosità:



- Alternanza laminare ondulata di lettini quarzoso-feldspatici e lettini fillosilicatici. S1 può essere una laminazione sedimentaria o una generica foliazione S di partenza. Sforzi compressivi hanno ondulato (“crenulato”) S1 originariamente piana;
- Si creano superfici di CLIVAGGIO trasversali S2 che interrompono e dislocano S1 con slittamenti differenziali;
- Lungo S2 cristallizzano i fillosilicati contemporaneamente agli sforzi compressivi (cristallizzazione sin-cinematica). Le superfici S2 sono ora diventate piani di SCISTOSITA'. Permangono ancora residui di S1;
- La cristallizzazione sin-cinematica è proseguita fino all’eliminazione dei residui S1. Ora si ha soltanto la foliazione S2. Senza il controllo dei passaggi precedenti, questa potrà essere definita genericamente S.

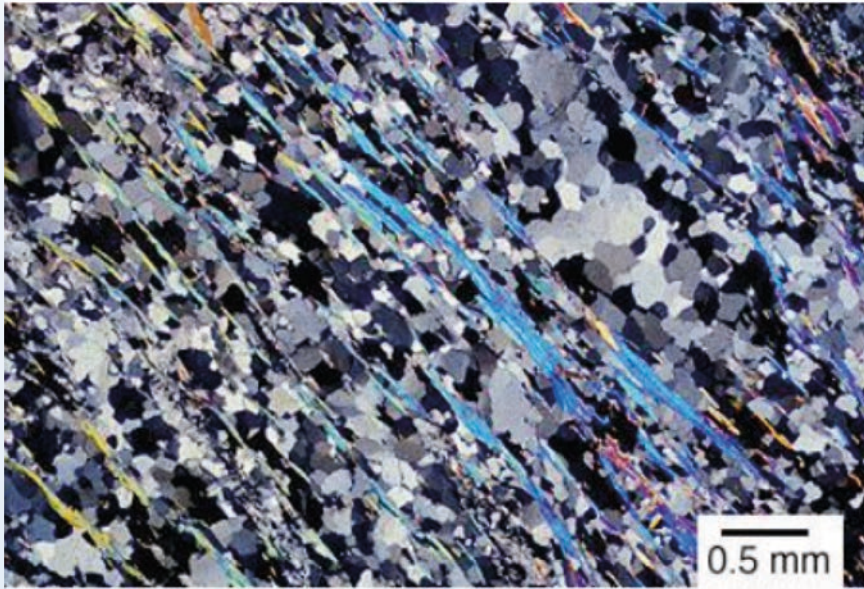
Scistosità

Orientazione preferenziale di fillosilicati con ricristallizzazione – foliazione alla scala cm



traccia del piano di foliazione S

Scistosità



(from <http://www.geolab.unc.edu/Petunia/IgMetAtlas/mainmenu.html>)

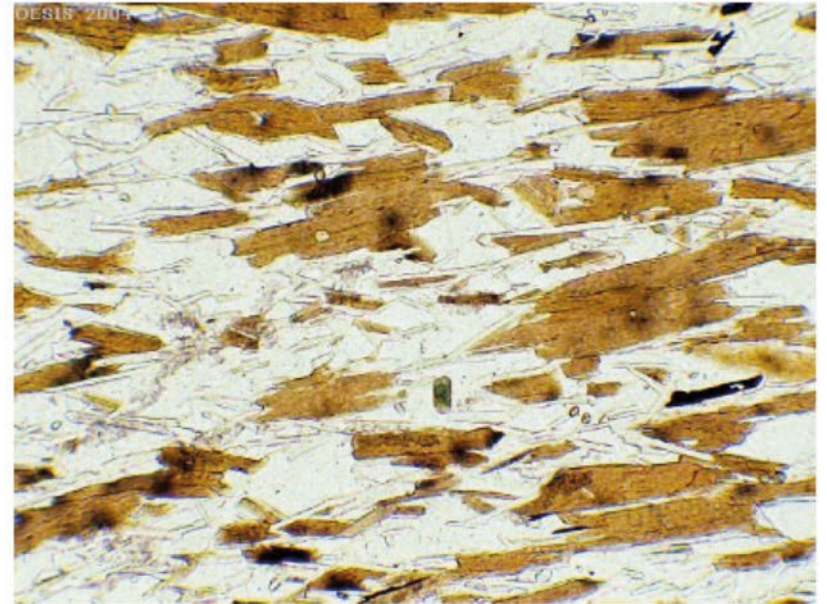
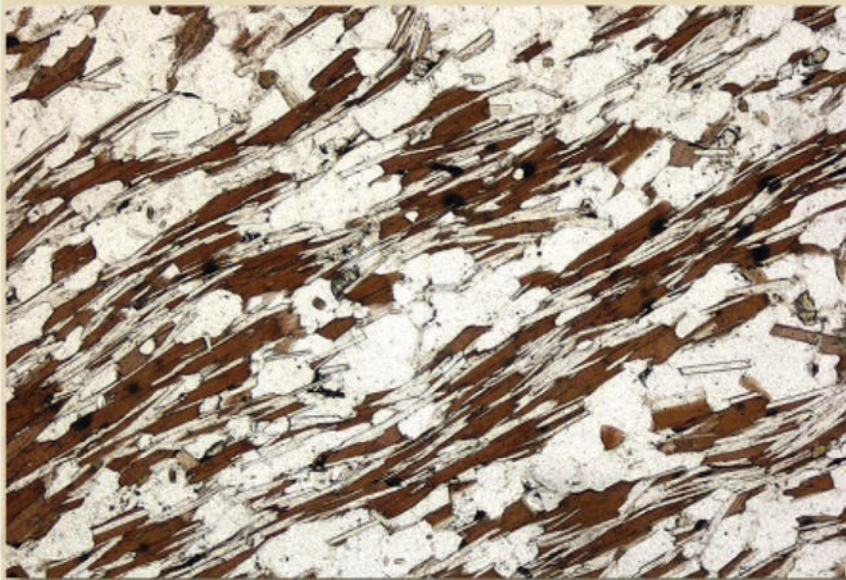
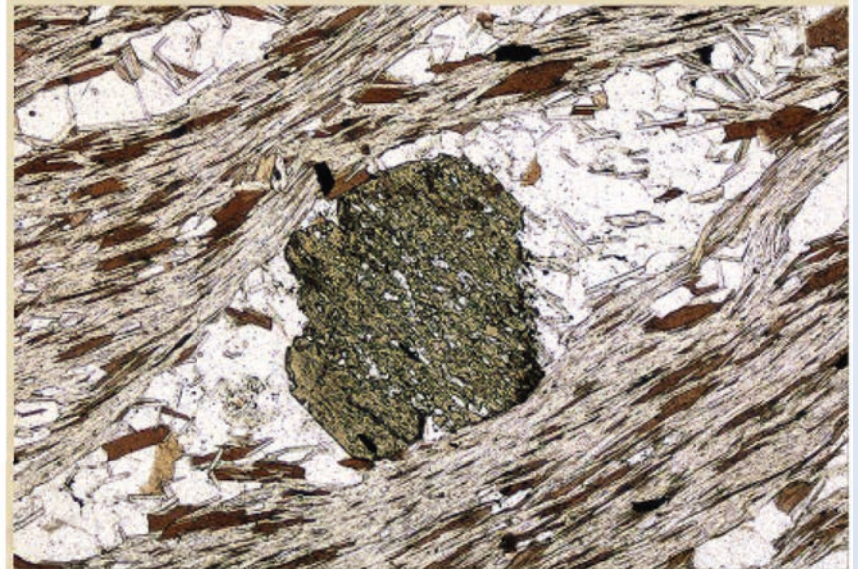


Fig. C4.19b5



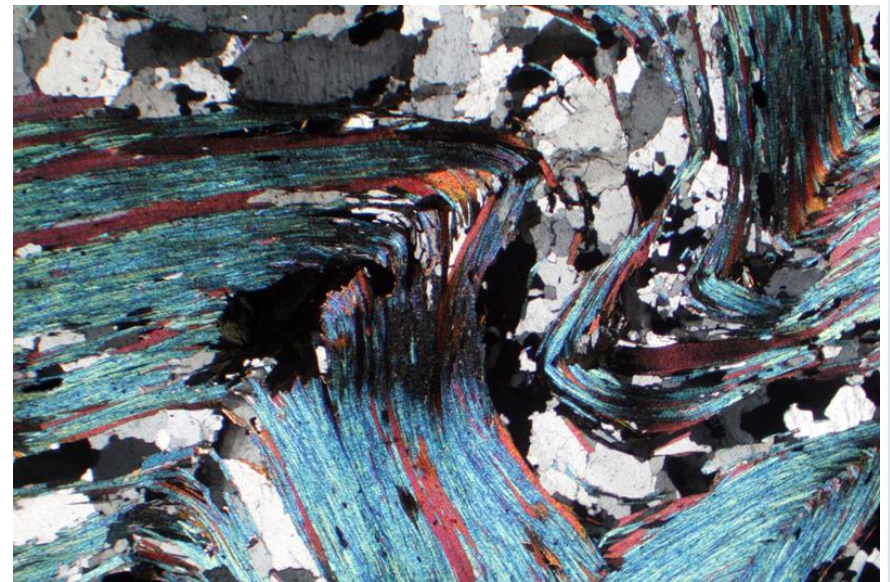
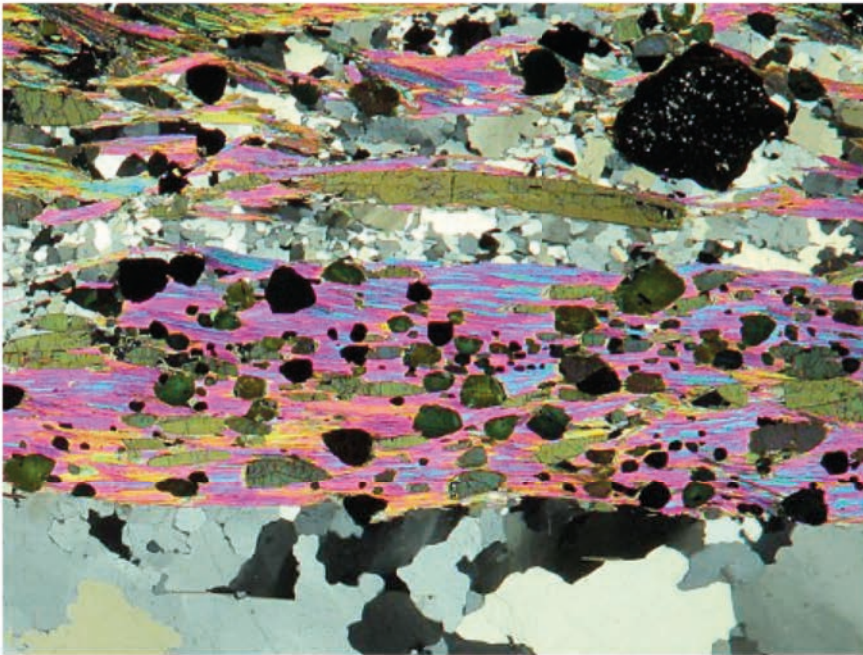
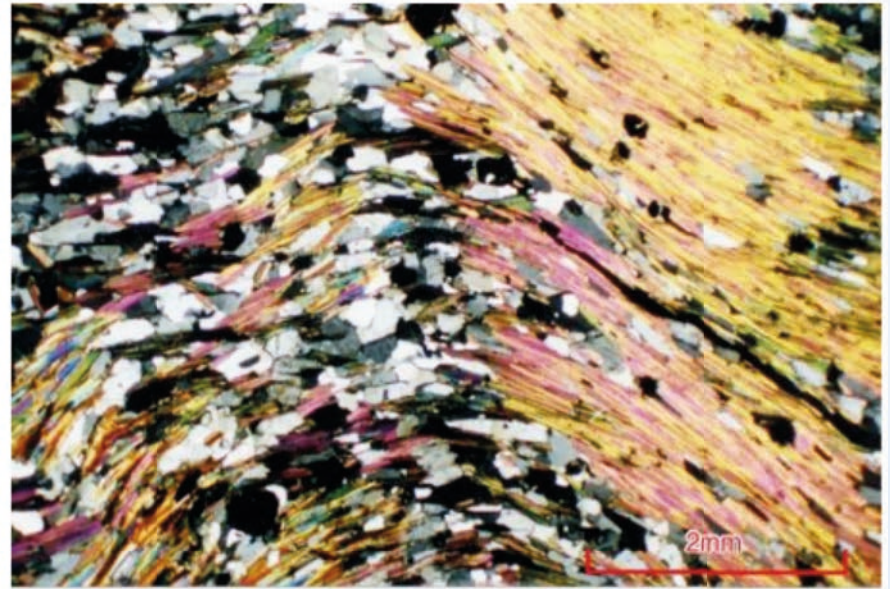
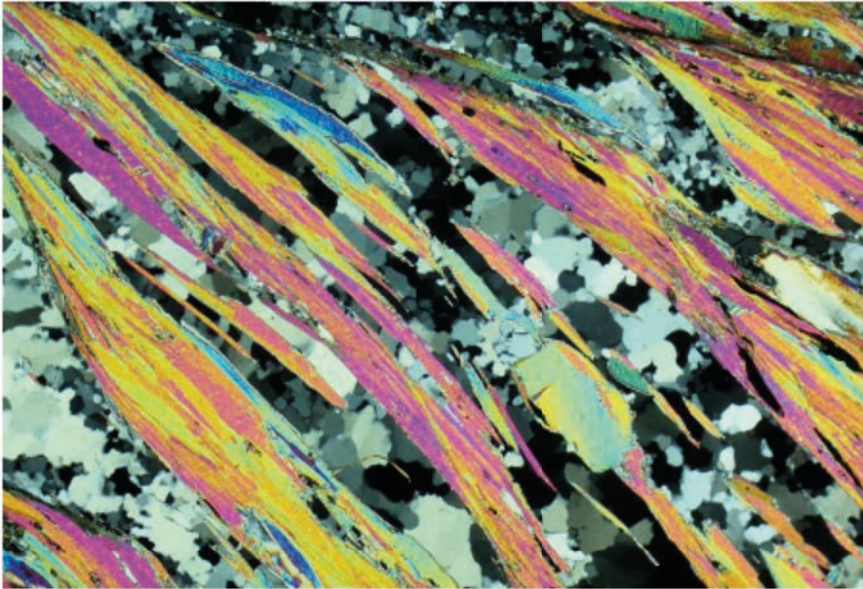
Homogenised S_2 where relicts of crenulations have been erased and the fabric is transposed to a continuous S_2 cleavage. Width of view 2.95 mm. PPL.

Fig. C4.19b7



Porphyroblast of staurolite with S_1 oblique to S_2 which here is S_2 . This image coincides with stage 4 of crenulation cleavage development as shown in Fig. C4.19b4. This porphyroblast is intertectonic between D_1 and D_2 , and shows what can happen to porphyroblasts as in Fig. 4.19b6 when a new foliation develops. Width of view 5.9 mm PPL.

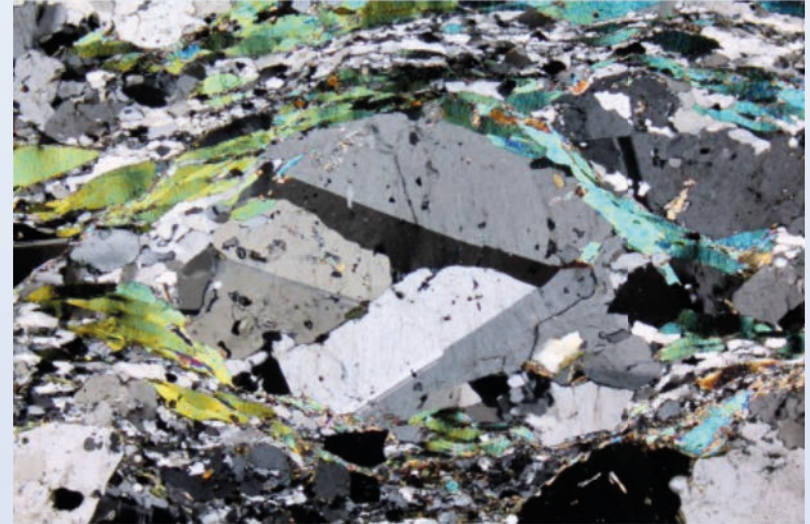
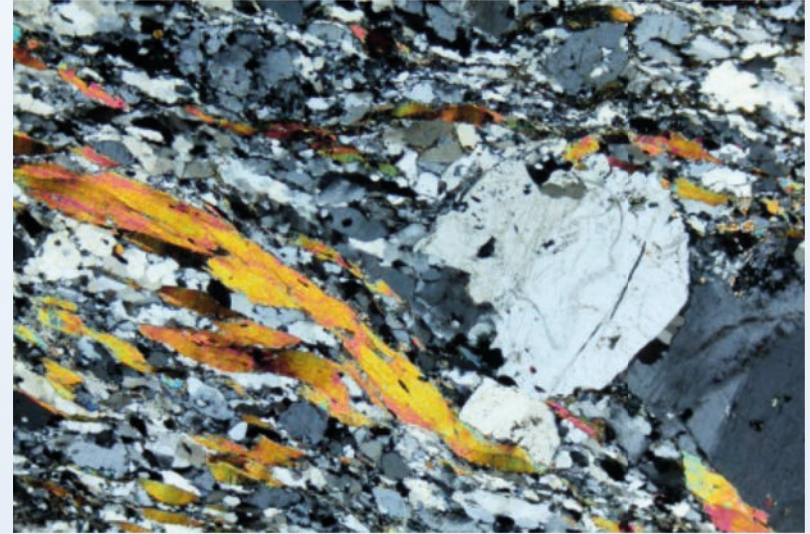
Scistosità



Gneissosità



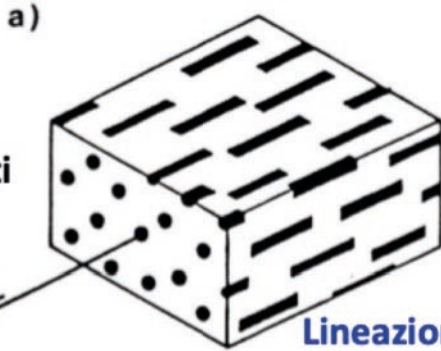
Nutman et al (2017)



Anisotropie lineari - lineazione

Lineazione: qualsiasi struttura lineare penetrativa visibile in un corpo roccioso

orientazione preferenziale di minerali allungati (es. anfiboli)

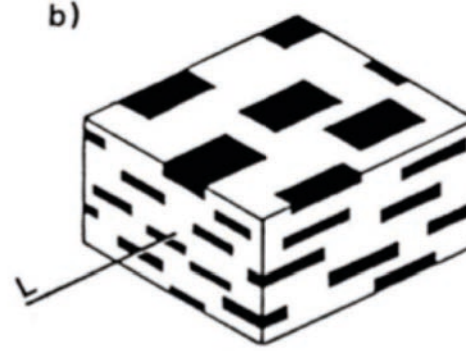


Lineazione mineralogica

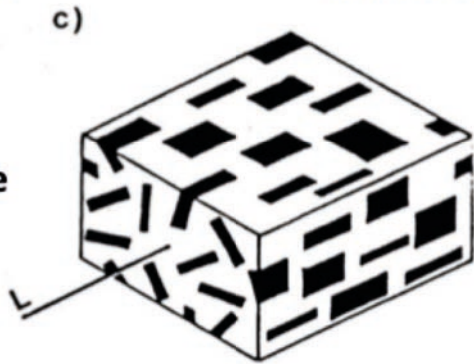
Lineazione mineralogica

combinazione di lineazione + foliazione orientazione preferenziale di minerali lamellari (fillosilicati)

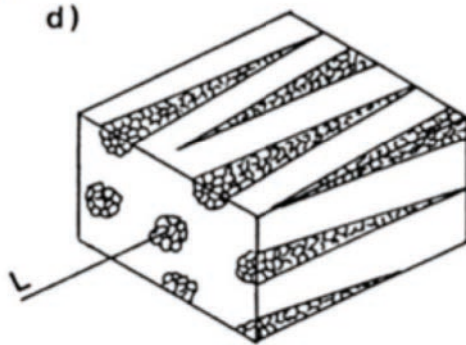
cf. schema foliazioni fig. (e)



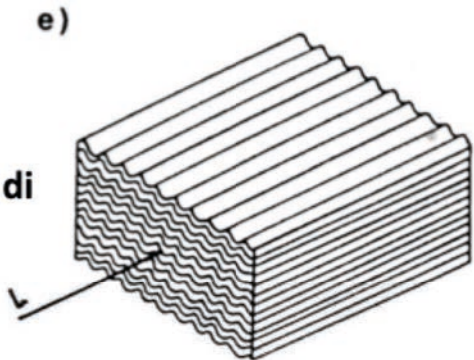
asse comune di minerali tabulari variamente orientati



allineamento di aggregati granulari fusiformi

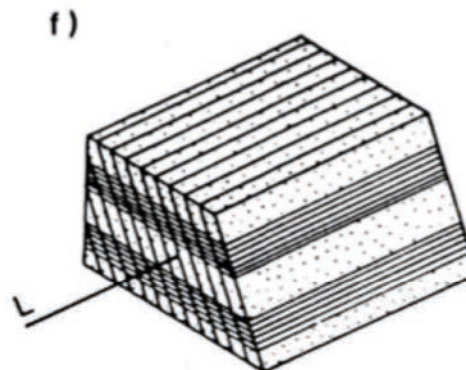


lineazione per crenulazione (linee di cerniera di micropieghe)



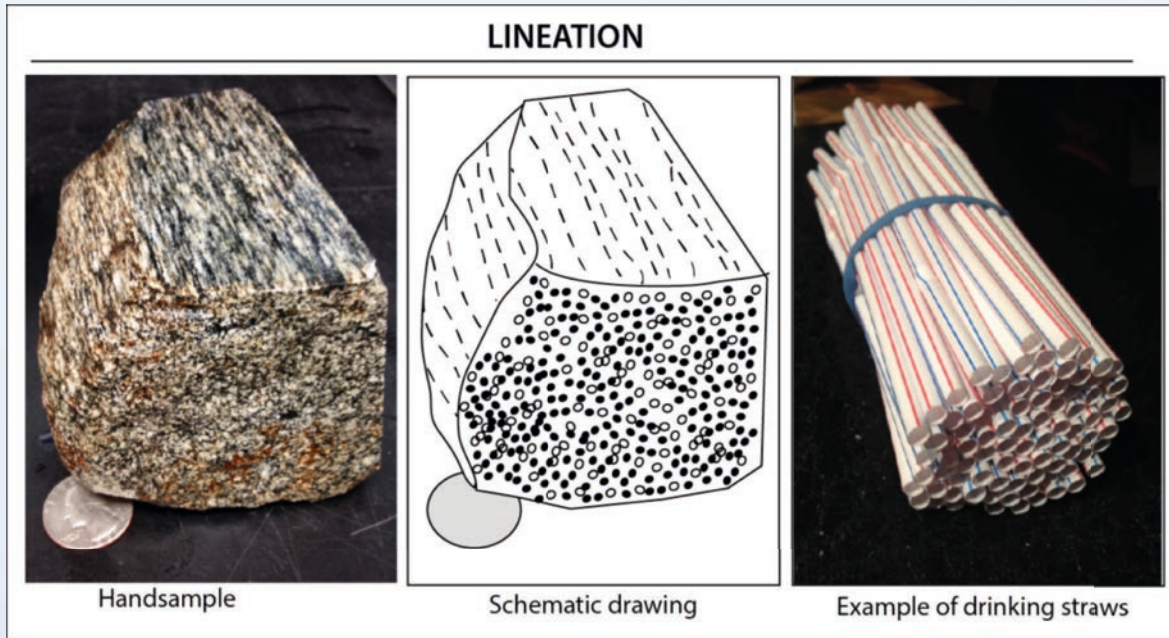
intersezione di 2 foliazioni (es: layering composizionale + clivaggio)

Lineazione per intersezione



Anisotropie lineari - lineazione

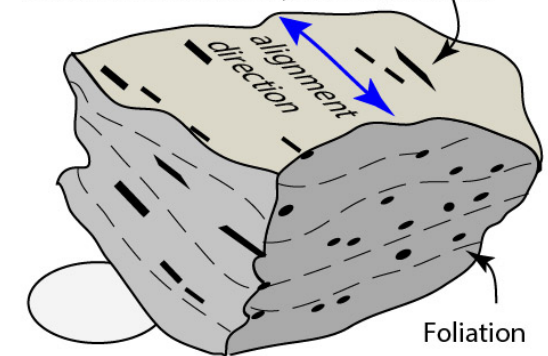
Lineazione mineralogica



(Peter Davis, Open Geology)

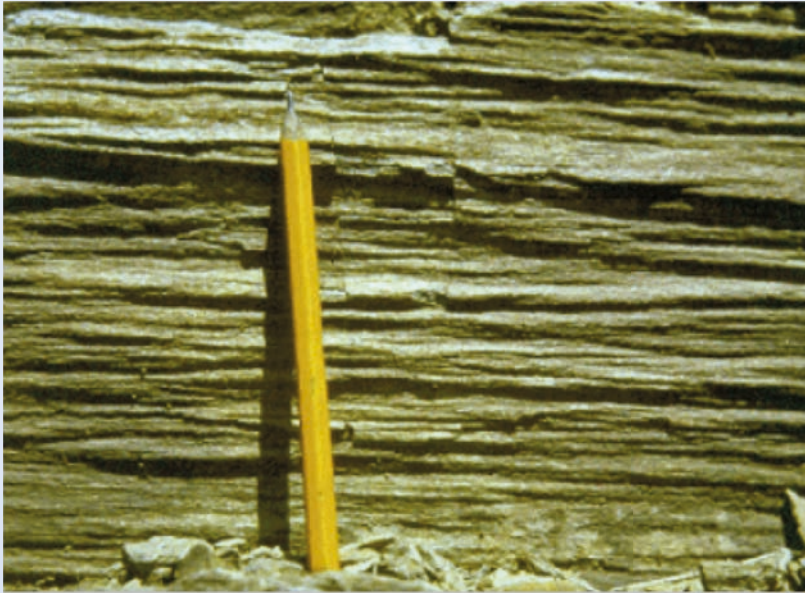
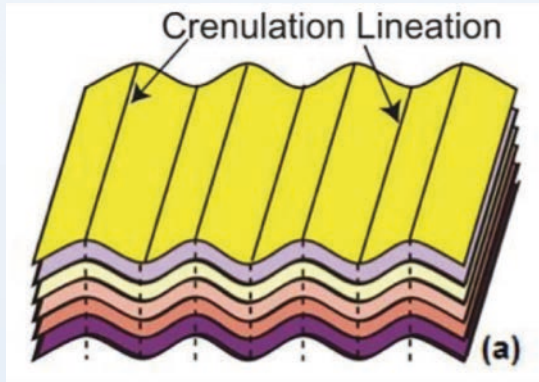


Aligned tourmaline crystals on foliation



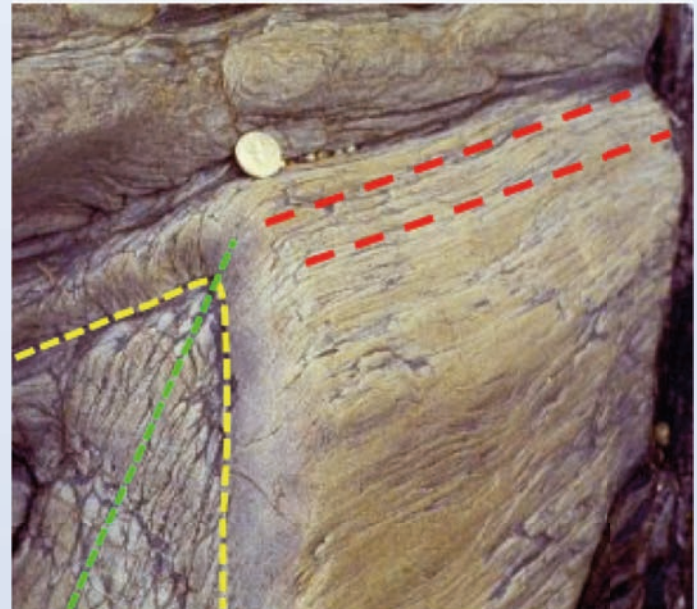
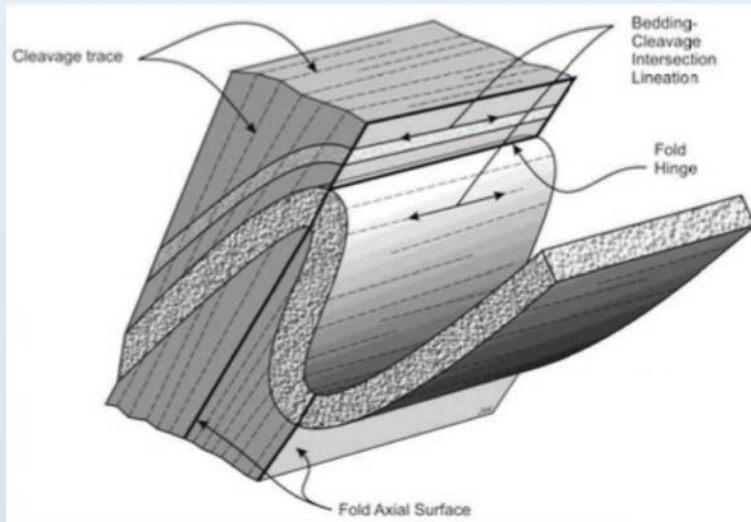
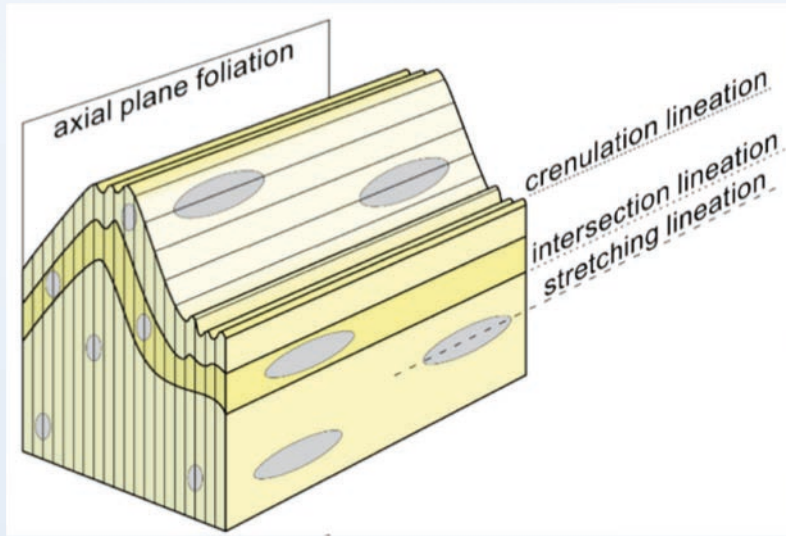
Anisotropie lineari - lineazione

Lineazione per crenulazione

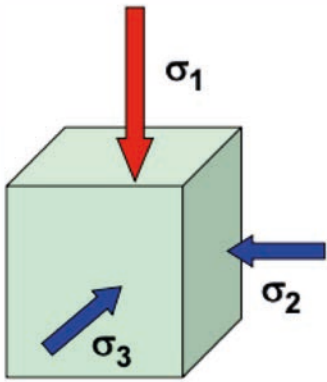


Anisotropie lineari - lineazione

Lineazione per intersezione

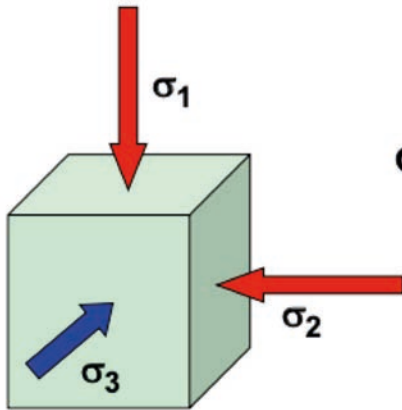
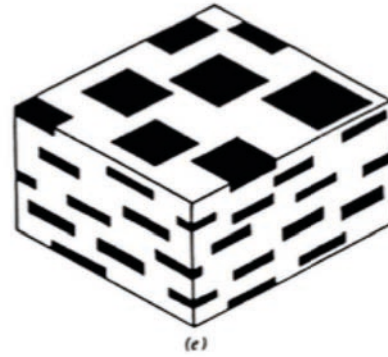


Anisotropie planari e lineari



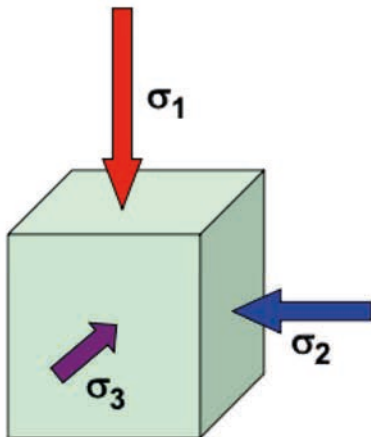
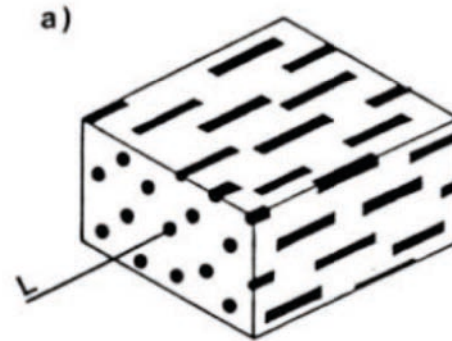
$$\sigma_1 > \sigma_2 = \sigma_3$$

FOLIAZIONE



$$\sigma_1 = \sigma_2 > \sigma_3$$

LINEAZIONE

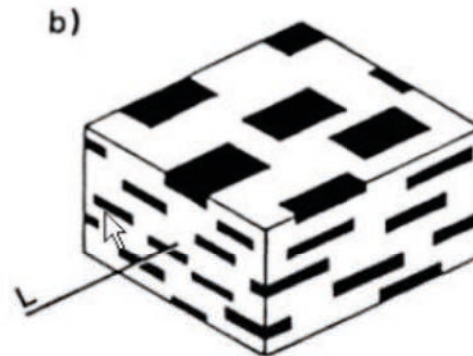


$$\sigma_1 > \sigma_2 > \sigma_3$$

FOLIAZIONE

+

LINEAZIONE



NB: in entrambi i casi illustrati, L è una lineazione mineralogica

Tessiture (= microstrutture)

Tessiture intergranulari:

Assetto delle interfacce tra i granuli, la forma e dimensioni dei granuli, le loro orientazioni e la loro distribuzione nello spazio a scala microscopica

Dimensione cristalli (grana)

- OMEOBLASTICA
- ETEROBLASTICA
- PORFIROBLASTICA
- PECILOBLASTICA (*poikiloblastic*)

Forma dei cristalli

- IDIOBLASTICA (comune per i porfiroblasti)
- XENOBLASTICA
- GRANOBLASTICA
- POLIGONALE

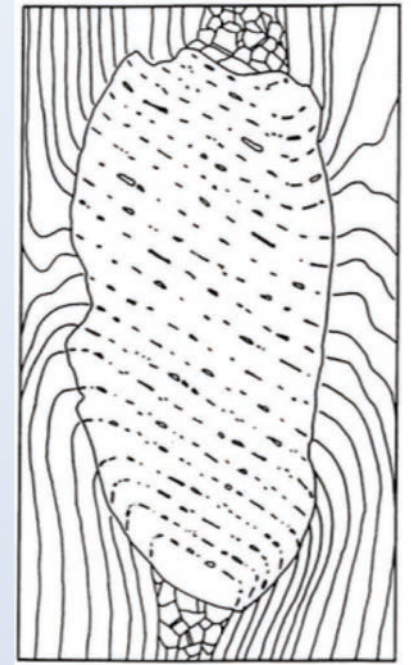
Eventuale orientazione dei cristalli

- DECUSSATA (cristalli prismatici/lamellari)
- LEPIDOBLASTICA (miche)
- NEMATOBlastica (anfiboli)

Tessiture intragranulari:

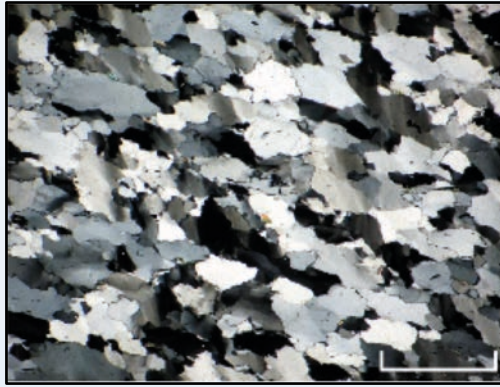
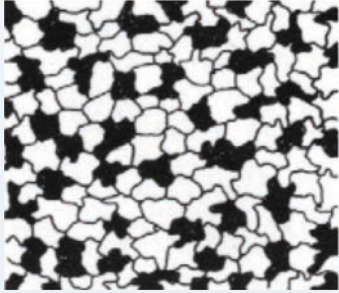
Assetti microstrutturali all'interno dei singoli granuli (es: geometrie delle inclusioni, deformazioni, pseudomorfofi) a scala microscopica

Esempio:
Microstruttura intragranulare in porfiroblasto di plagioclasio: disposizione delle inclusioni rispetto alla scistosità esterna (definita a millepiedi)



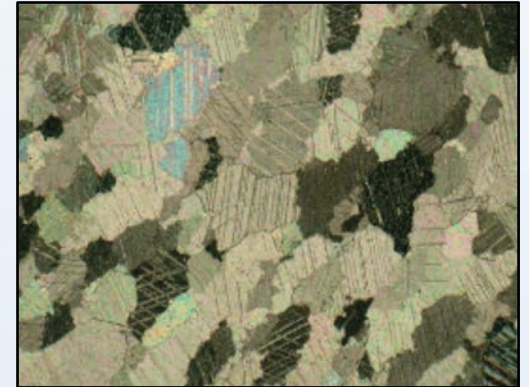
Tessiture intergranulari

Omeoblastica - xenoblastica

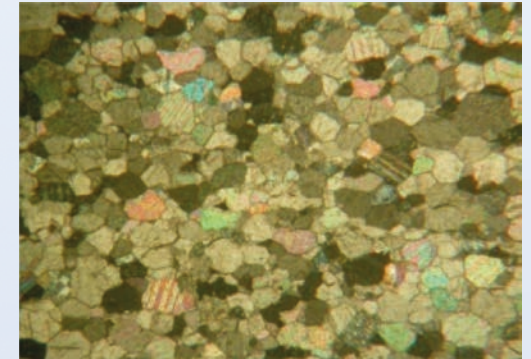
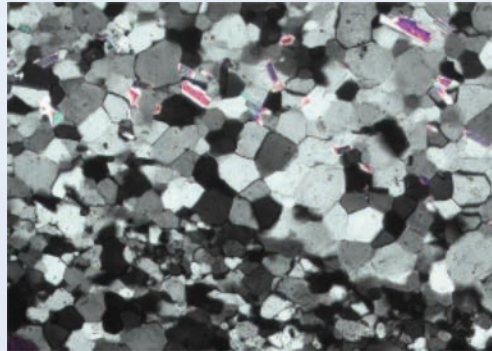
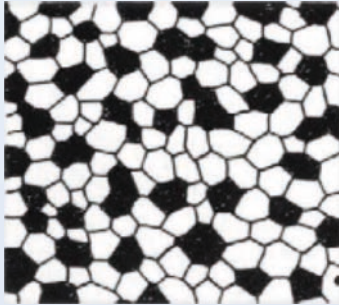


Quarzite

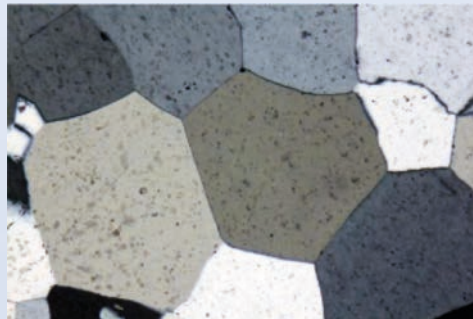
Marmo



Omeoblastica - granoblastica

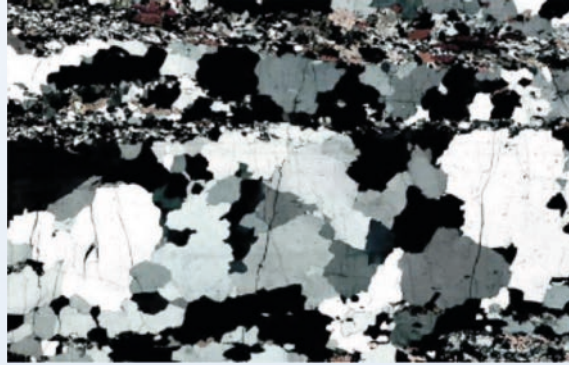
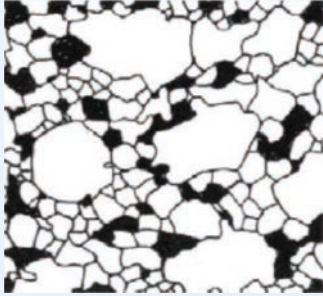


Omeoblastica - poligonale



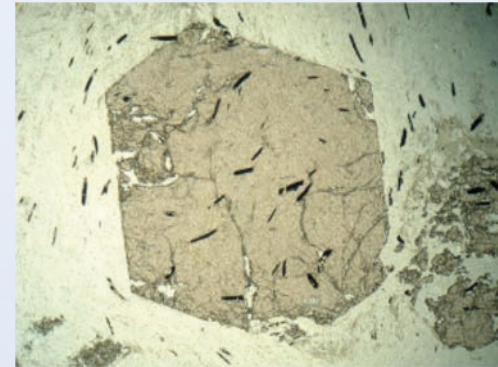
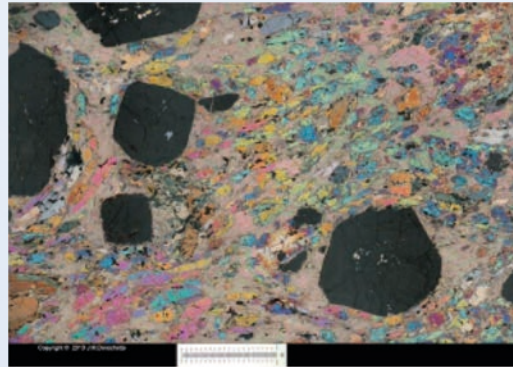
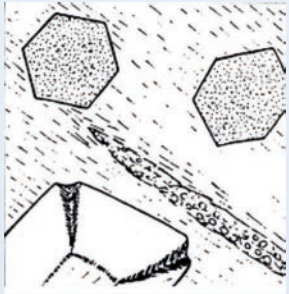
Tessiture intergranulari

Eteroblastica - xenoblastica

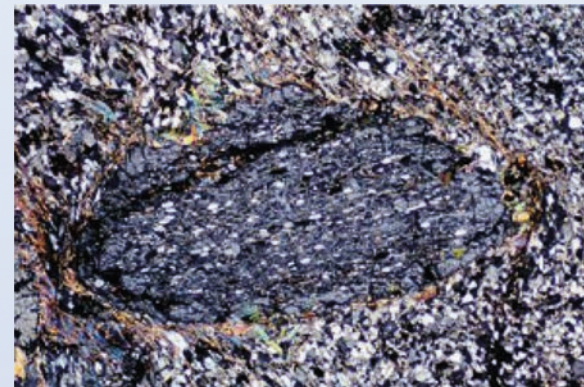
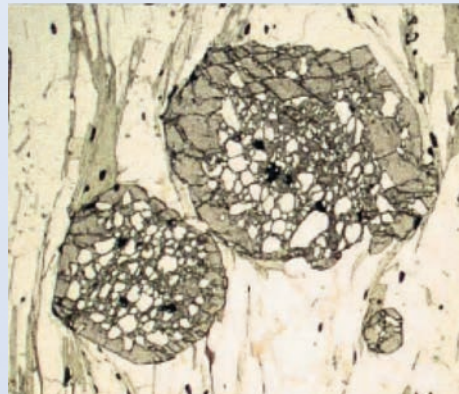


Quarzite

Porfiroblastica

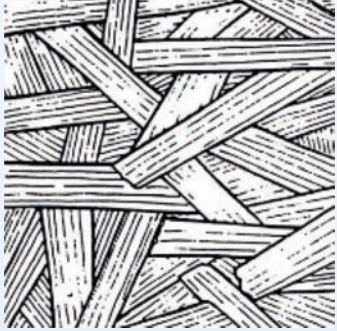


Peciloblastica



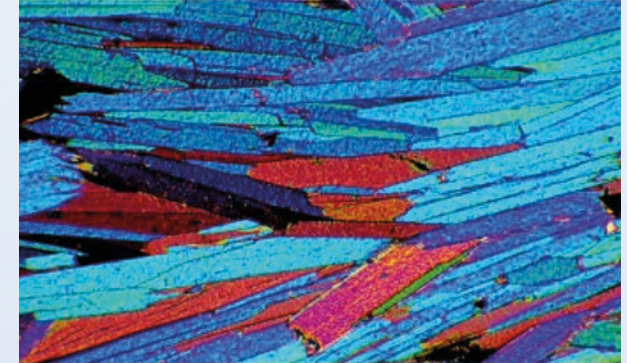
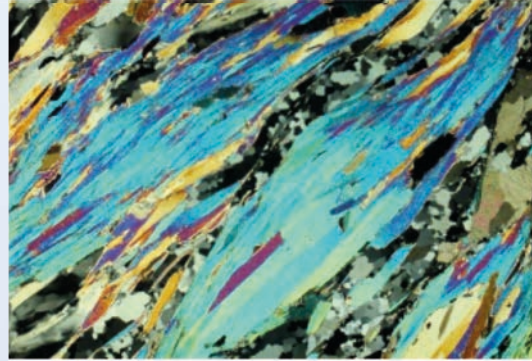
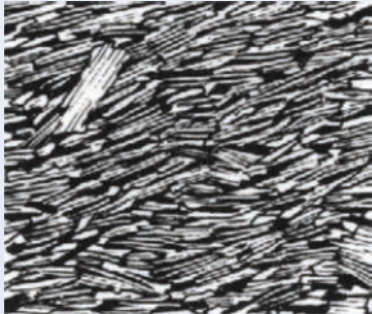
Tessiture intergranulari

Decussata

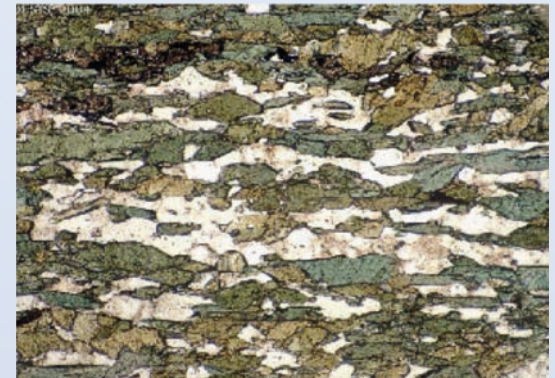
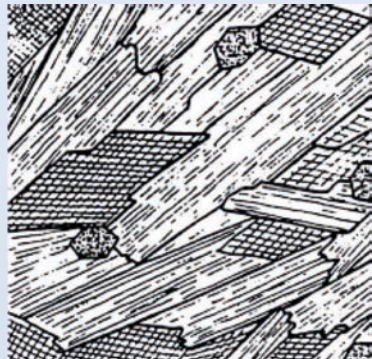


Disposizione di minerali lamellari o aciculari

Lepidoblastica (disposizione orientata di fillosilicati)



Nematoblastica (disposizione orientata di anfiboli)

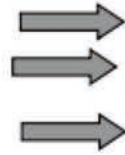


Tessiture intragranulari

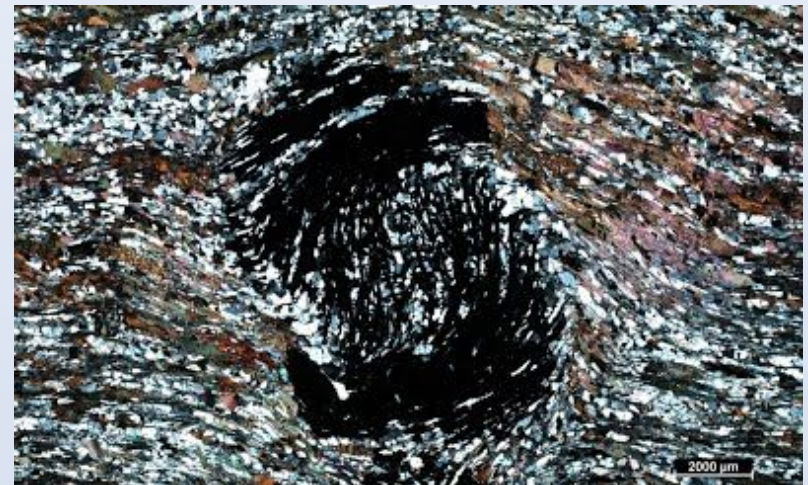
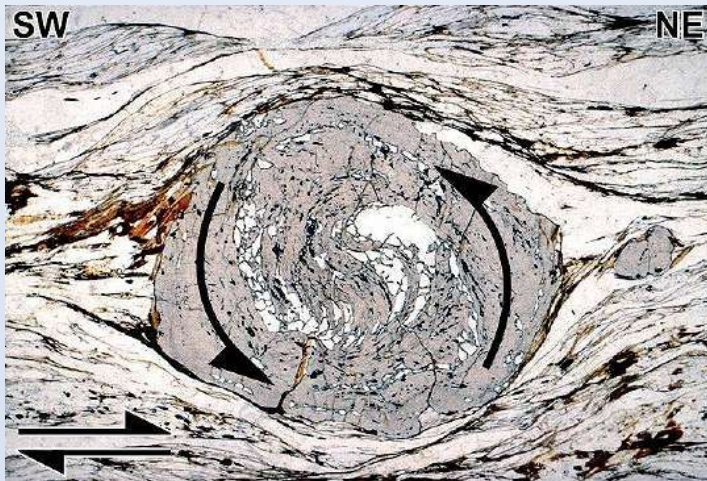
In combinazione con le tessiture intergranulari, danno informazioni importanti sui rapporti cronologici tra deformazione e blastesi.

Questo perchè i minerali delle rocce metamorfiche spesso non cristallizzano contemporaneamente: dall'analisi microstrutturale si può ricostruire la relazione temporale tra deformazione e cristallizzazione dei porfiroblasti

Cristallizzazione PRE-cinematica
Cristallizzazione SIN-cinematica
Cristallizzazione POST-cinematica



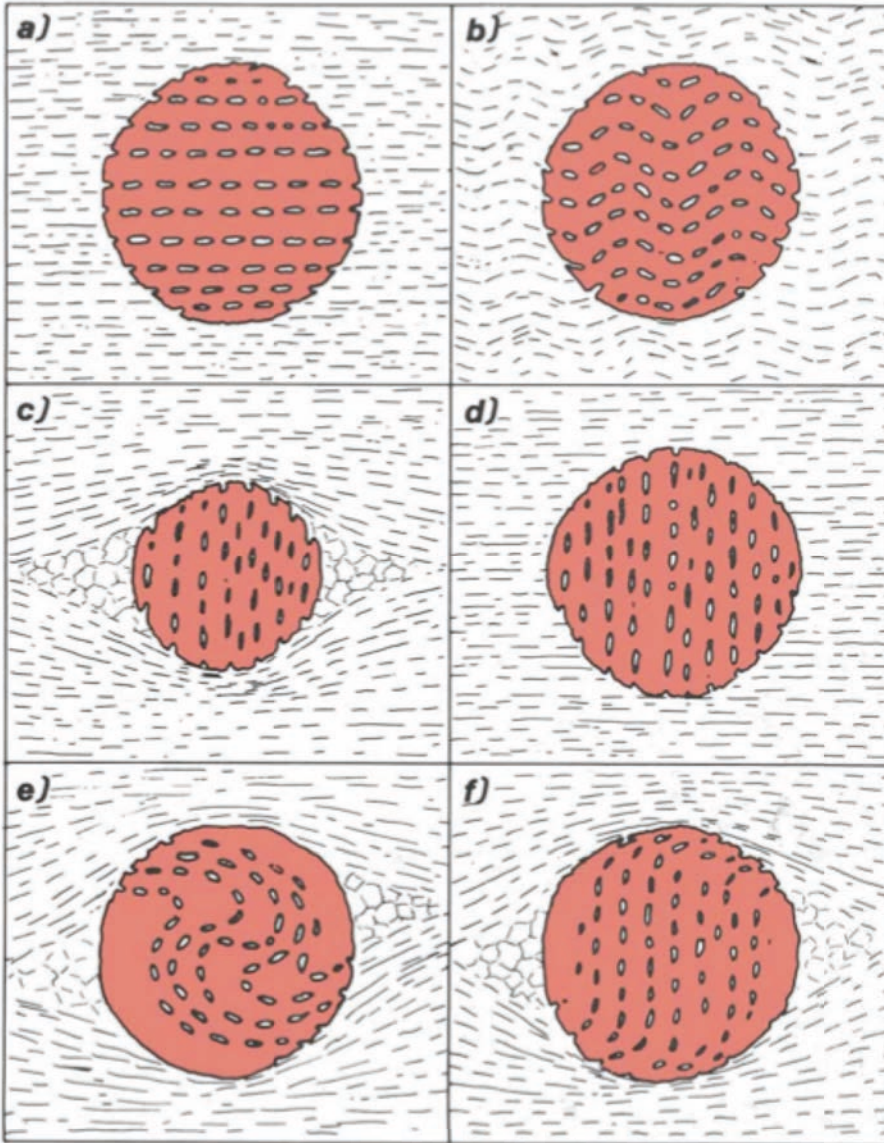
Deformazione POST-cristallina
Deformazione PARA-cristallina
Deformazione PRE-cristallina



Tessiture intragranulari

Relazioni tra scistosità interna nei porfiroblasti e scistosità esterna

**POST-
cinematico**



**PRE-
cinematico**

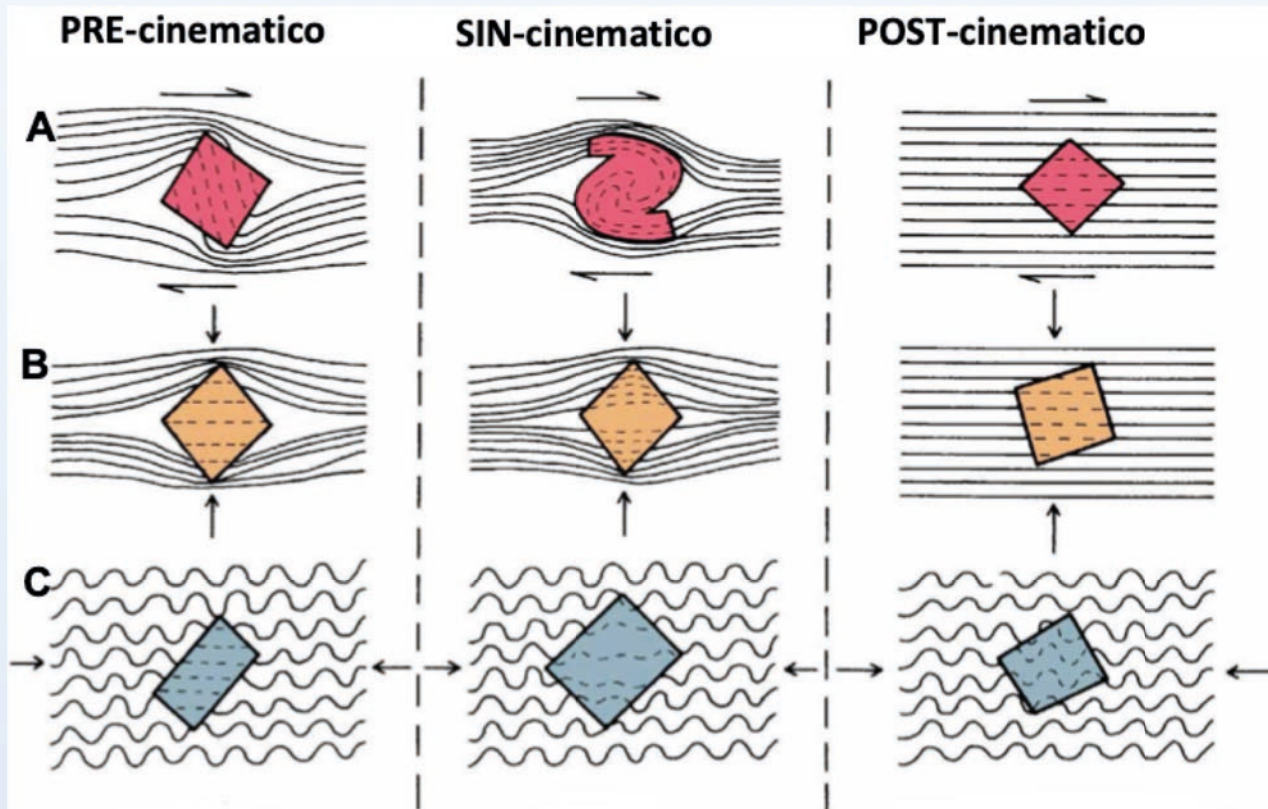
**SIN-
cinematico**

Crescita post-cinematica: scistosità interna (S_i) identica alla scistosità esterna (S_e)

Crescita pre-cinematica : scistosità interna discordante con la scistosità esterna (S_i forma un angolo brusco rispetto a S_e); “ombre di pressione” ai fianchi del granulo (raramente mancanti)

Crescita sin-cinematica: la S_i ha uno sviluppo sigmoidale, a forma di $S \pm$ serrata, oppure a spirale (dipende dall'orientazione del taglio delle s.s. rispetto all'asse di rotazione del granulo) – porfiroblasti “a palla di neve”

Tessiture intragranulari



Microstrutture intracristalline in porfiroblasti pre- sin- e post-cinematici, in relazione ad :

- (A) una deformazione di taglio semplice con produzione di slittamenti differenziali parallelamente ai piani di scistosità (shear)**
- (B) una compressione perpendicolare ai piani di scistosità S (flattening)**
- (C) una compressione laterale rispetto ai piani di scistosità (folding)**

PRE- :

- A)** S_i è discordante e forma un brusco angolo con S_e
- B)** incurvamento di S_e attorno al porfiroblasto con formazione di ombre di pressione; S_i molto più spaziata di S_e
- C)** S_i non è pieghettata mentre lo è S_e

SIN- :

- A)** S_i con andamento sigmoidale o a spirale (porfiroblasti a palla di neve)
- B)** S_i ampiamente spaziate al nucleo e via via più ravvicinate al bordo del porfiroblasto
- C)** S_i piana o debolmente ondulata nel nucleo, e sempre più pieghettata verso i bordi dove si raccorda con S_e

POST- :

- a) b) c)** S_i uguale a S_e

Tessiture intragranulari

Cristalli pre-cinematici

Pieghe ed estinzione ondulata dei fillosilicati

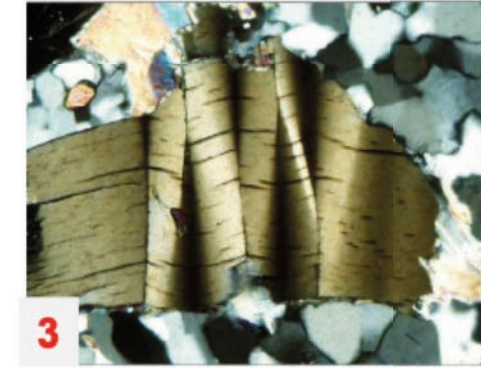
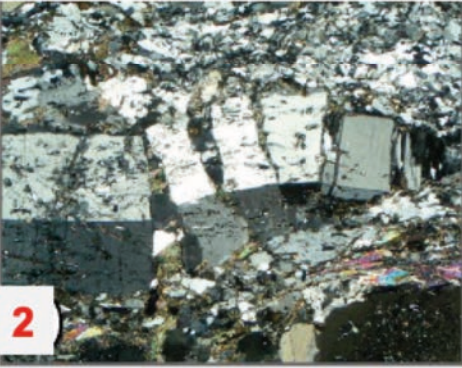
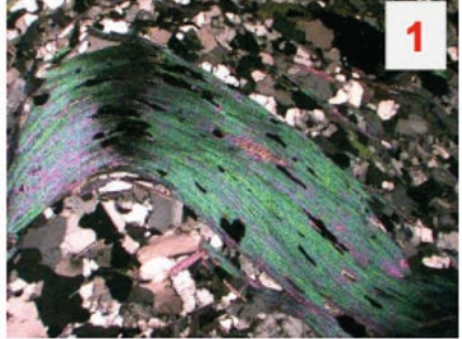
Fratturazione e stiramento del cristallo

kink-bands

Geminazioni per deformazione

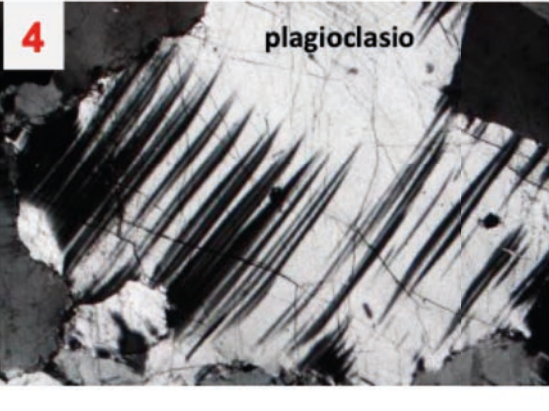
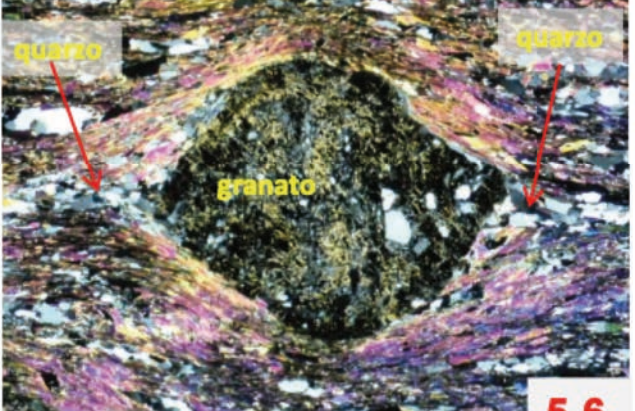
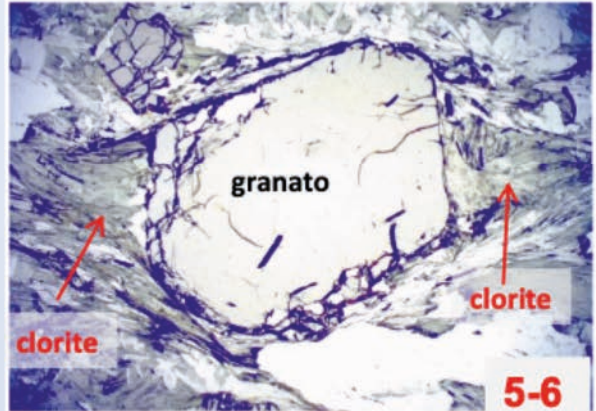
Incurvamento della foliazione intorno al cristallo

ombre e frange di pressione



feldspato

cianite



5-6

5-6

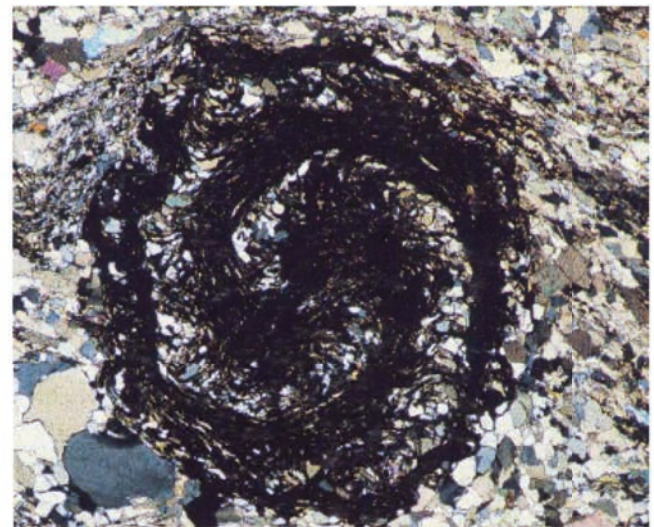
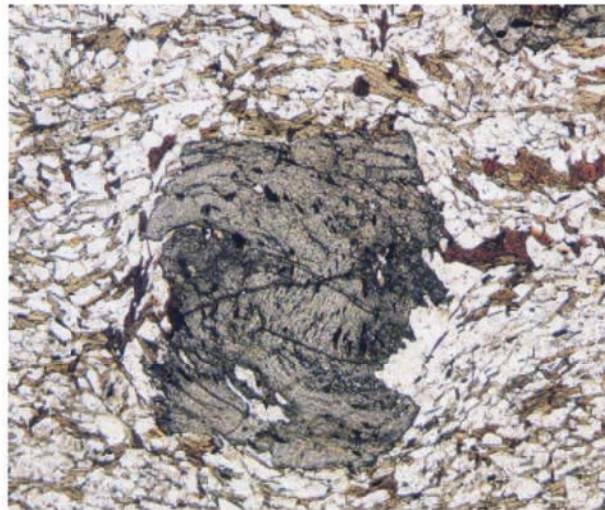
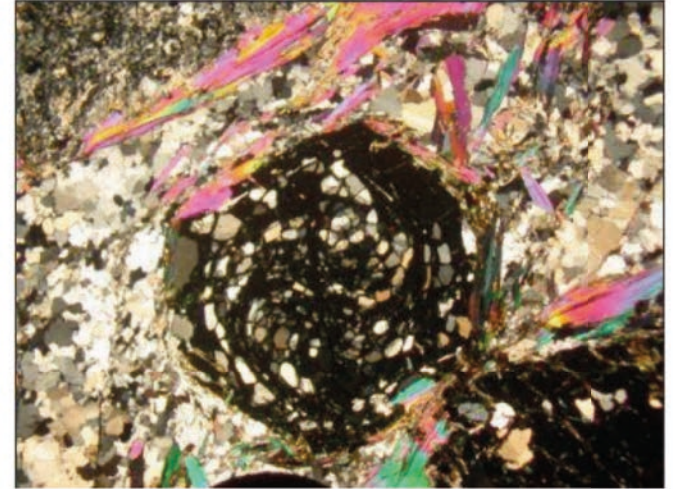
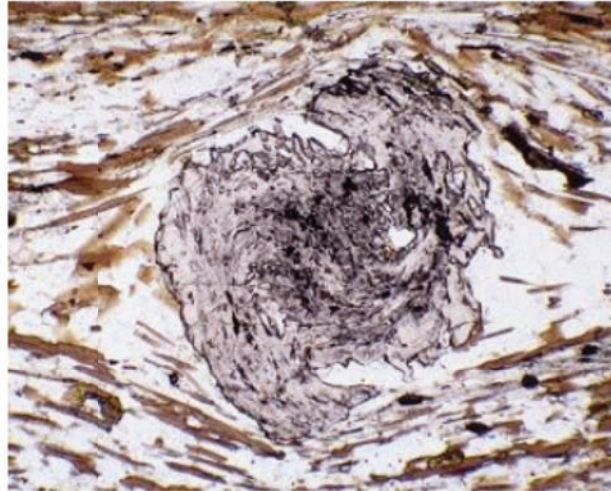
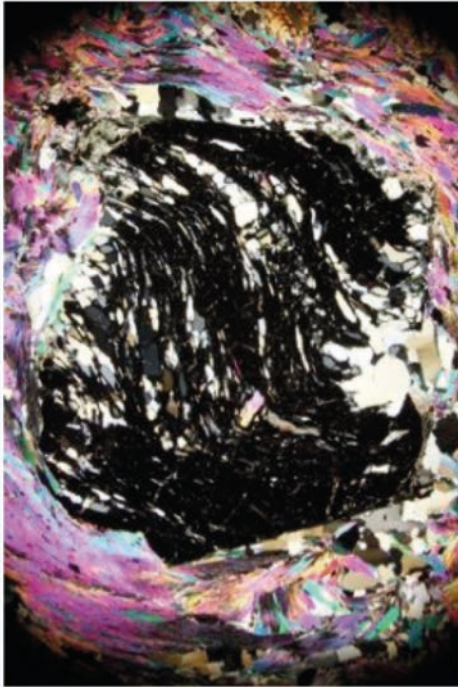
4

plagioclasio

Tessiture intragranulari

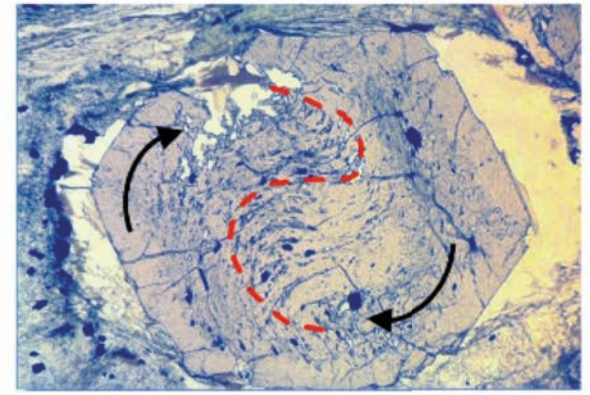
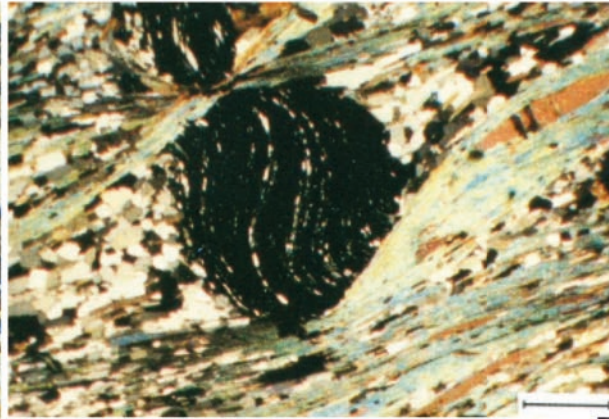
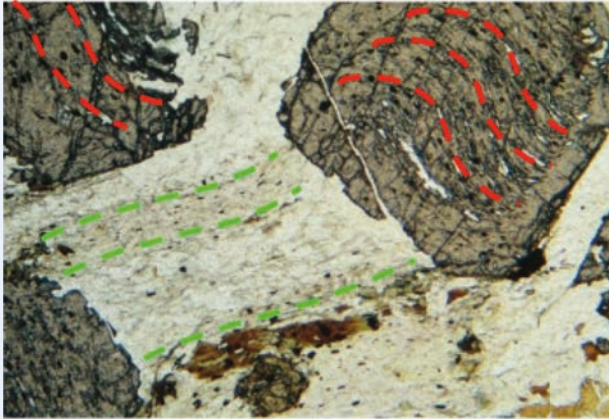
**porfiroblasti
sin-cinematici**

Tipiche tipologie delle inclusioni con involucri sigmoidali a forma di S (S fabric) \pm serrata o a spirale



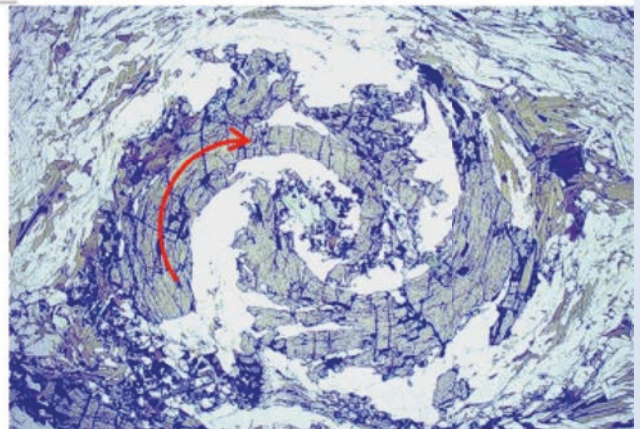
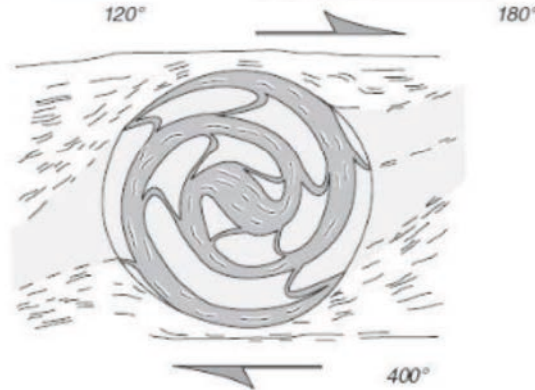
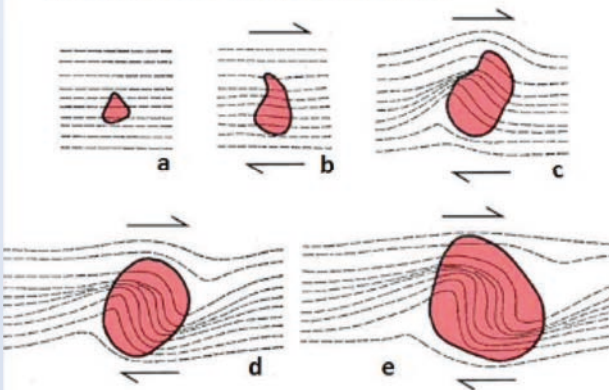
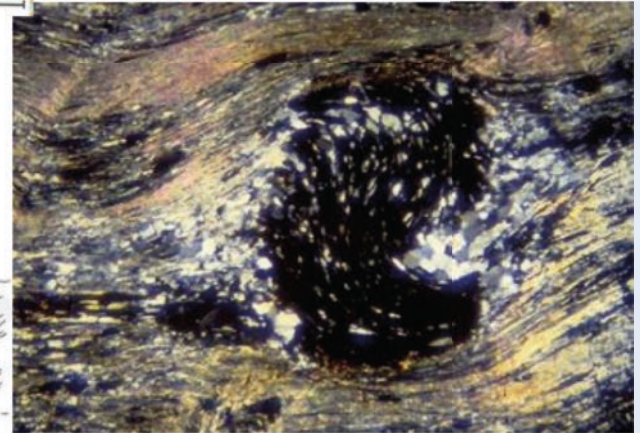
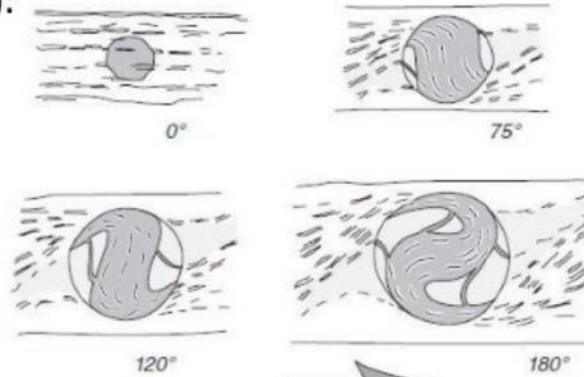
Tessiture intragranulari

Porfiroblasti sin-cinematici



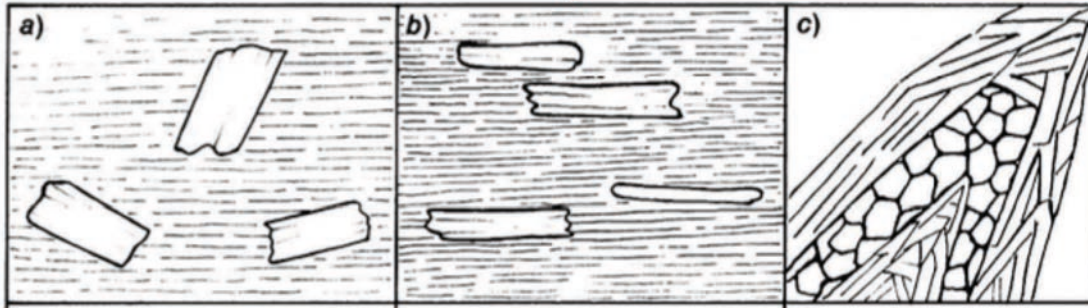
Interpretazione dello sviluppo delle inclusioni a S o spirale, secondo il modello tradizionale di Spry (1969):

rotazione del blasto, causata dallo simple shear , e contemporanea crescita con progressiva incorporazione dei minerali presenti nella foliazione esterna, che invece è stazionaria.

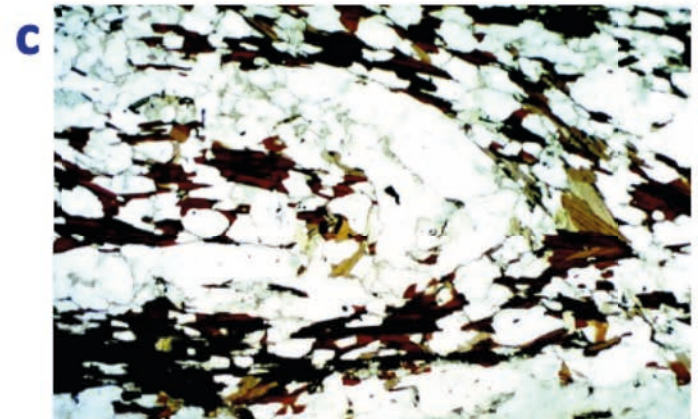
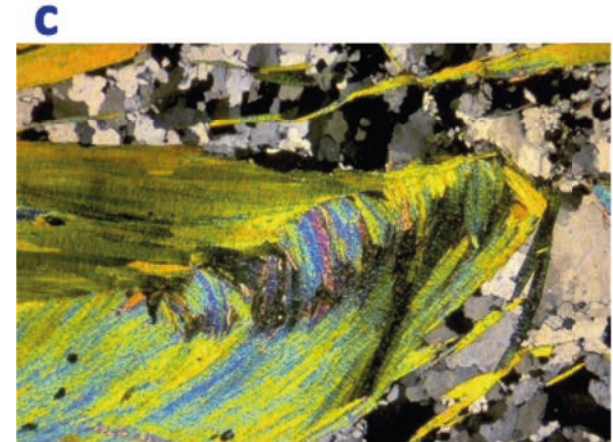
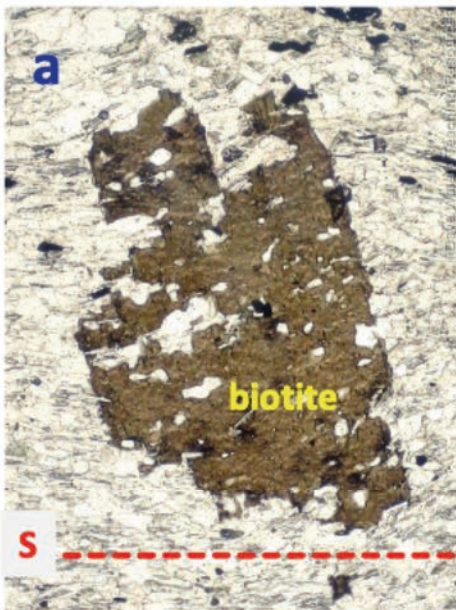
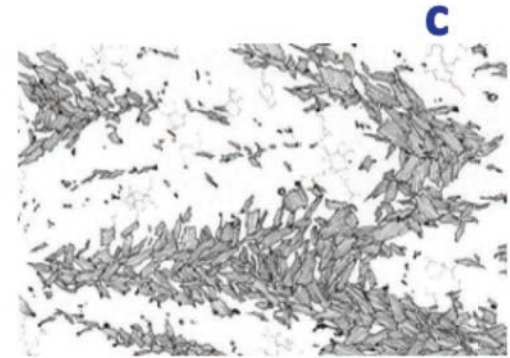


Tessiture intragranulari

blasti post-cinematici

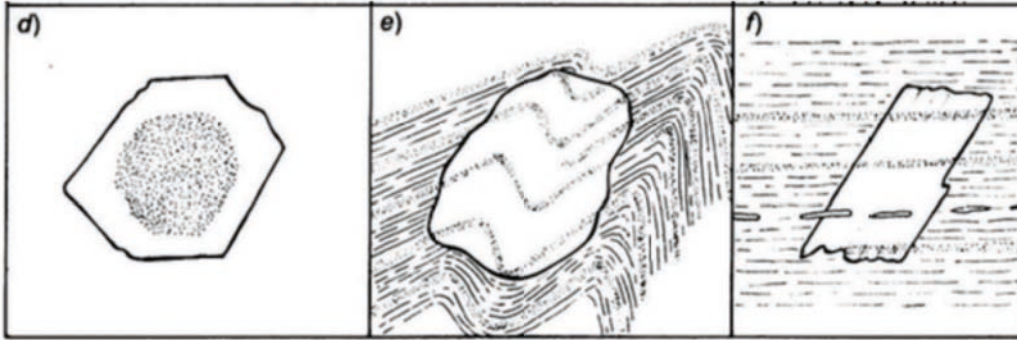


- a) Orientazione dei blasti casuale o trasversale rispetto alla foliazione b) orientazione dei blasti parallela alla foliazione (cristallizzazione mimetica) c) archi poligonali (estinzione retta dei fillosilicati)

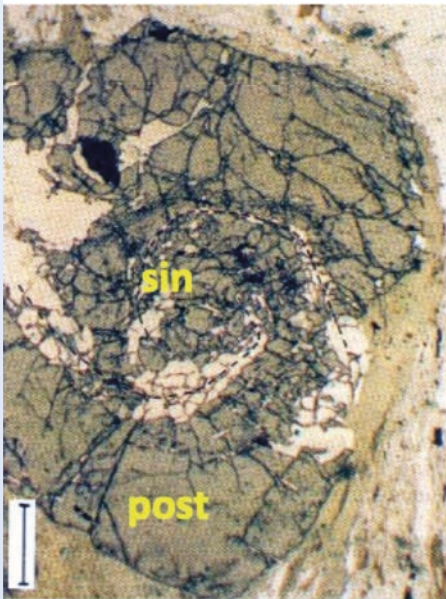


Tessiture intragranulari

blasti post-cinematici

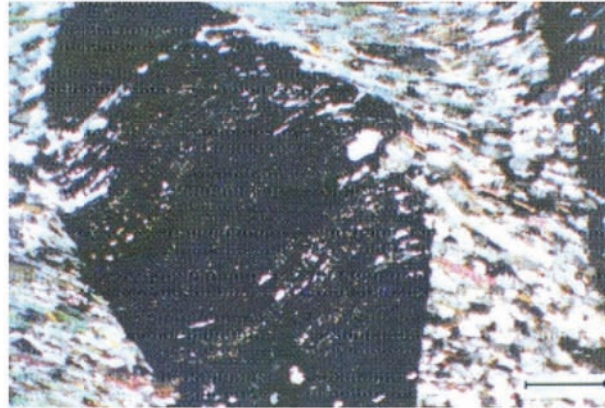


d) crescita di un bordo senza inclusioni attorno ad un nucleo con inclusioni rotazionali; e) + f) scistosità interna uguale alla scistosità esterna

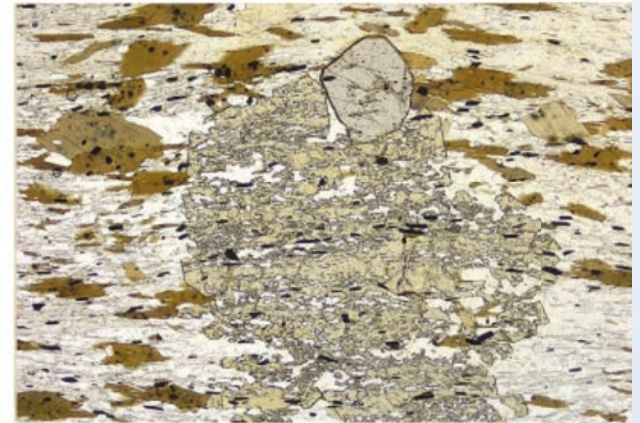
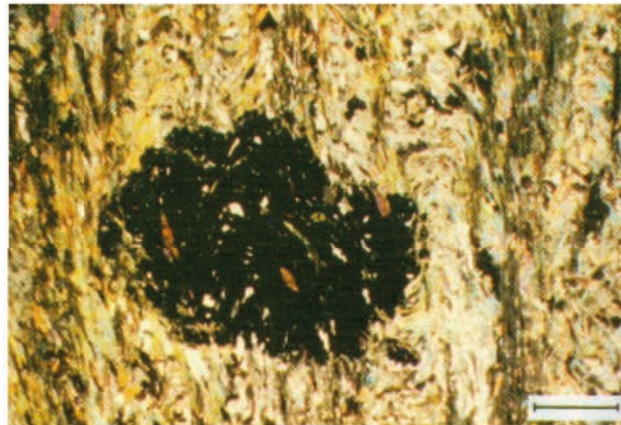


d

(Barker, 1998; barra=1mm)



e



f

