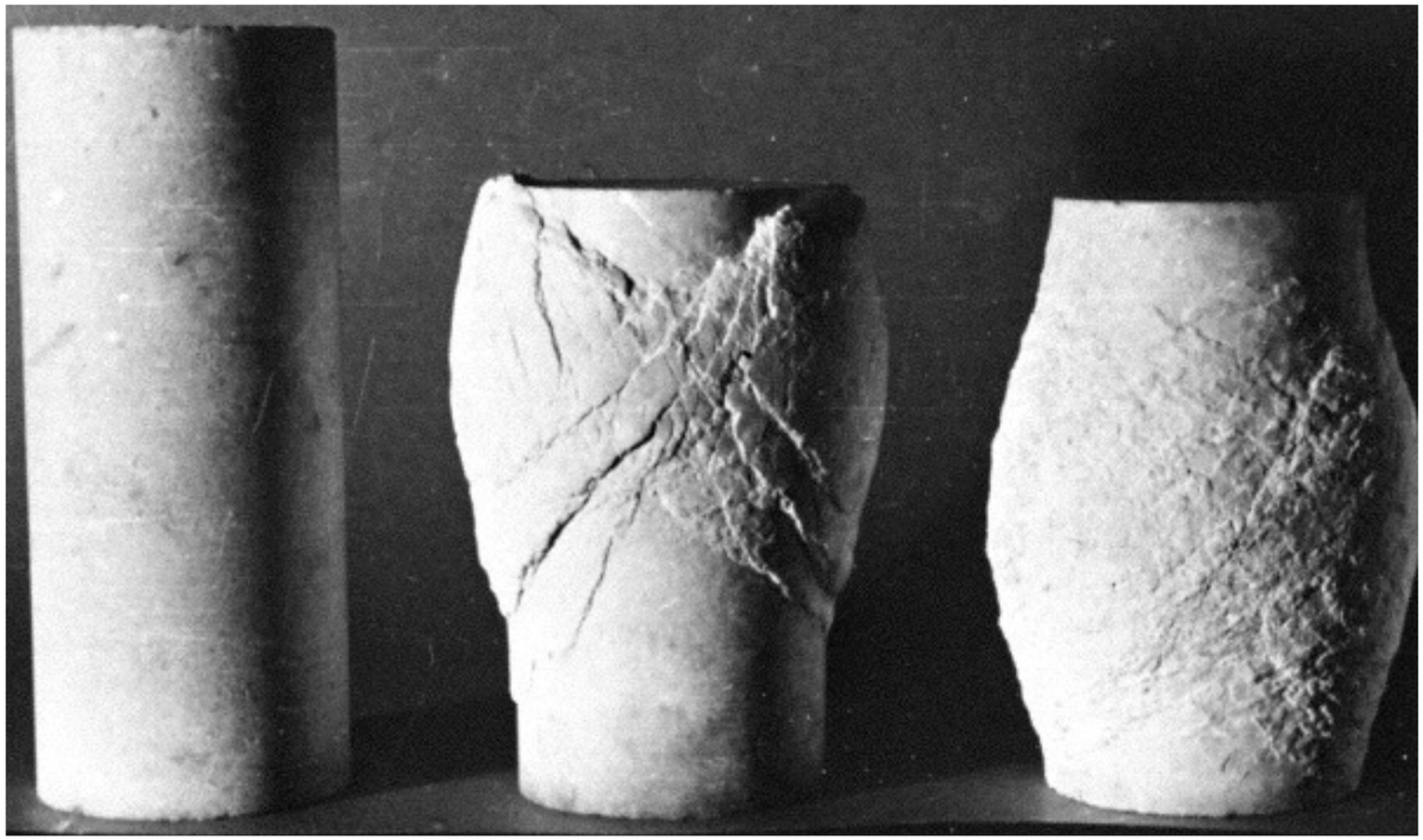
Strutture da deformazione

Transizione fragile / “duttile”

- Il termine **fragile** riferito ad una deformazione ha un preciso significato meccanico e implica il meccanismo deformativo di cataclasi, cioè un tipo di deformazione in cui si ha formazione di fratture e in cui lo strain viene accomodato da scivolamento dei grani lungo esse.
- Una definizione altrettanto chiara dal punto di vista meccanico non esiste per il termine “duttile".

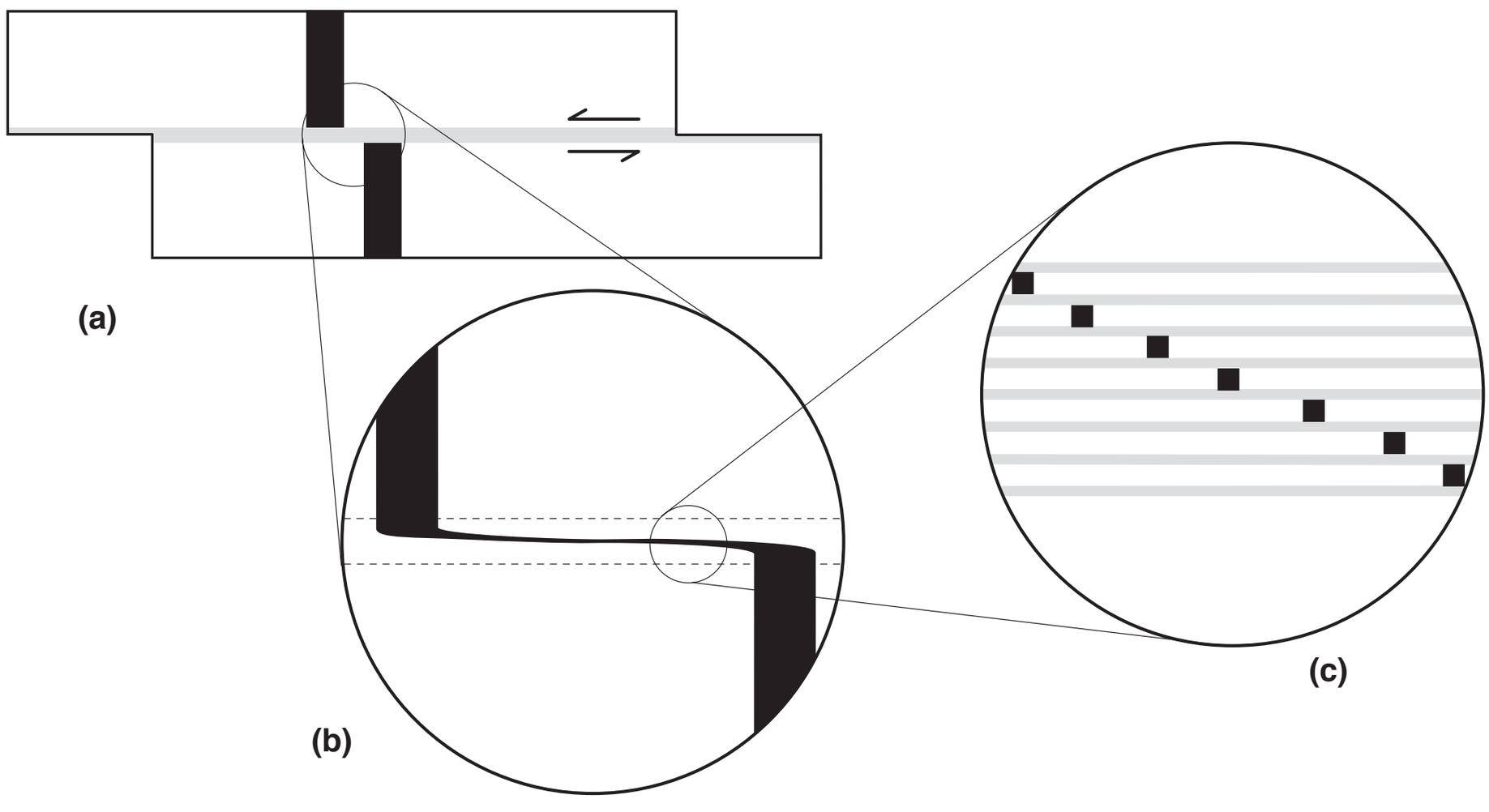
Transizione fragile / “duttile”

- Per “duttilità" si intende la *capacità di un materiale di deformarsi in modo diffuso e uniforme*.
- In meccanica delle rocce, una roccia che ha un comportamento duttile è una roccia che se sottoposta a stress può *acquisire una certa quantità di deformazione (strain) prima di giungere a rottura*.



Transizione fragile / “duttile”

- Il problema è che una certa deformazione può essere duttile ad una certa scala di osservazione e non esserlo più ad un’altra scala (e viceversa!)
- Tutte le rocce deformate mostrano una deformazione duttile (o fragile) a seconda della scala di osservazione.



Transizione fragile / “duttile”

- concetto di transizione fragile/duttile può generare confusione perché associa il termine fragile, con un ben definito significato meccanico, al termine duttile che invece non ha alcun significato meccanico preciso.
- un comportamento duttile ad una certa scala di osservazione può risultare da uno qualsiasi dei meccanismi deformativi possibili (cataclasi, plasticità, scivolamento viscoso, dissoluzione e riprecipitazione).

Transizione fragile / “duttile”

sarebbe più corretto distinguere tra:

- deformazione localizzata e deformazione non localizzata

oppure di transizione tra:

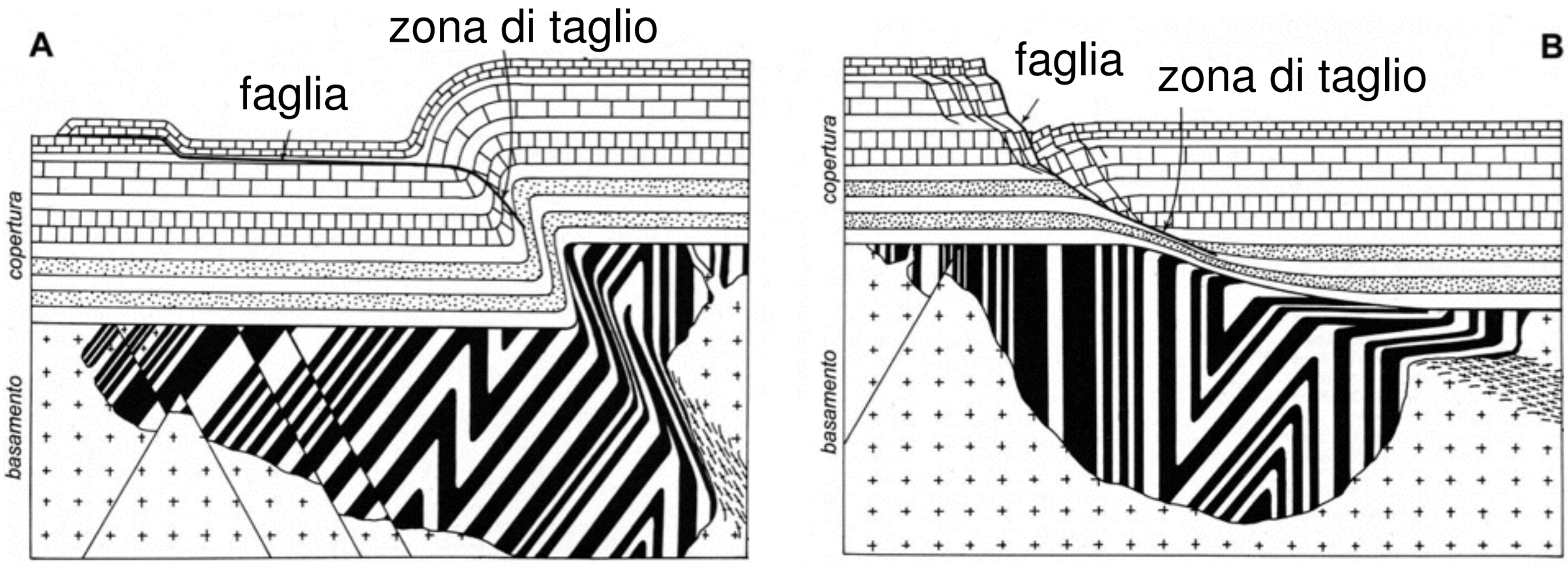
- comportamento fragile (cataclasi) e plasticità.

Minerale	Temperatura
Anidrite	70 °C
Calcite	180 °C
Quarzo	270 °C
Feldspati	450-500 °C
Olivina	700 °C

Temp. transizione cataclasi/plasticità

Cataclasiti e miloniti

- Sono “rocce di faglia”



Cataclasiti

- Rocce in cui la maggiore parte dello strain viene accomodato dal meccanismo deformativo di cataclasi.
- Affioramenti di rocce cataclastiche sono generalmente caratterizzati da una fratturazione ed un'alterazione diffusa.

Cataclasiti

- E’ possibile distinguere cataclasiti prive di coesione (brecce di frizione) da cataclasiti con coesione.
- La coesione della roccia può essere originaria, cioè posseduta anche durante la deformazione oppure essere acquisita secondariamente a seguito di fenomeni di cementazione.

Milonite

- Miloniti sono rocce in cui la maggiore parte dello strain viene accomodato dai cristalli mediante uno tra i meccanismi deformativi di plasticità, scivolamento viscoso, dissoluzione e riprecipitazione.

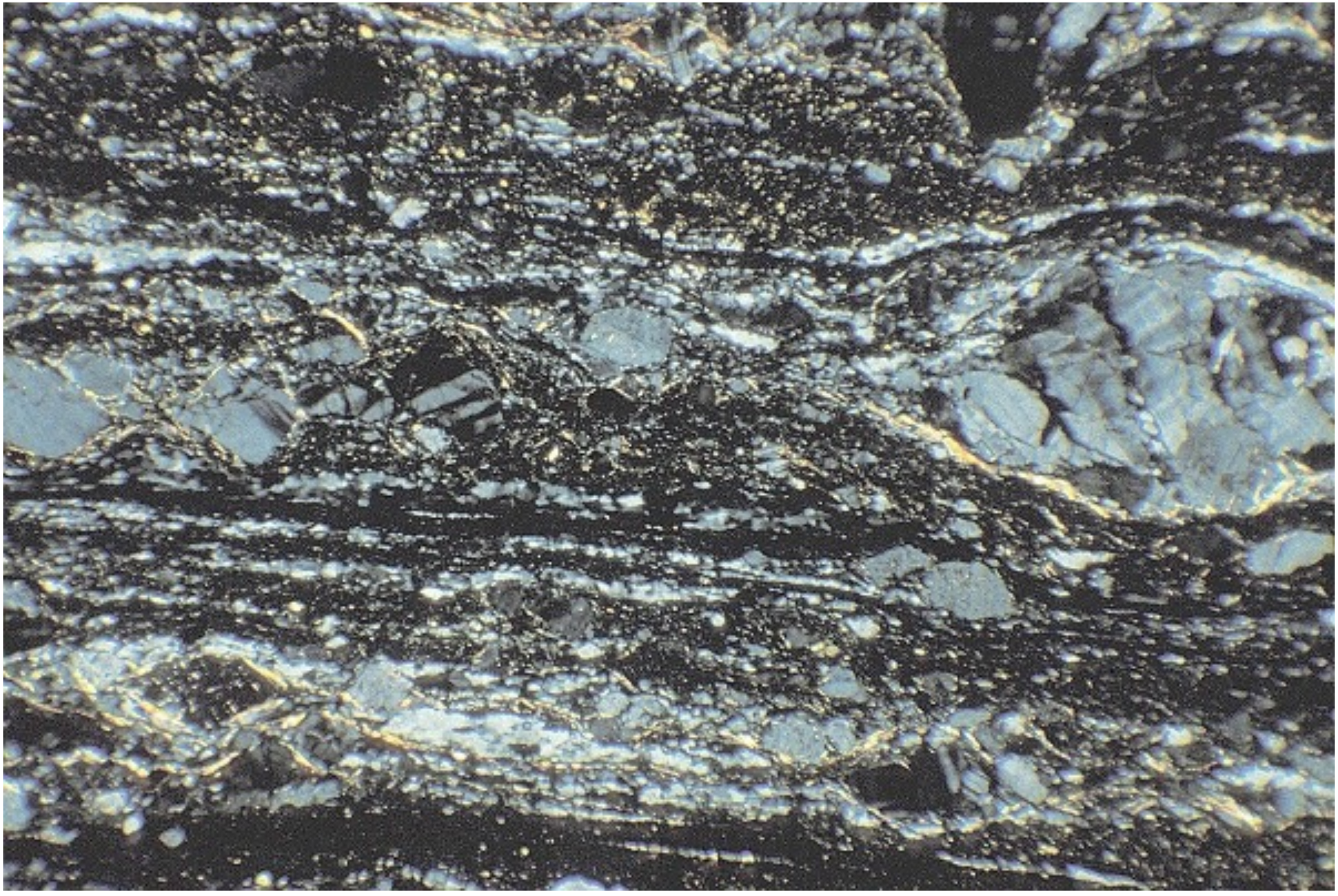
Milonite

Milonite

Milonite

- In rocce polimineraliche la fase che si deforma più facilmente accomoda lo strain totale della roccia se può formare una matrice continua attorno alle fasi più competenti.
- Queste ultime formano boudinage o clasti, a seconda del contrasto di competenza.

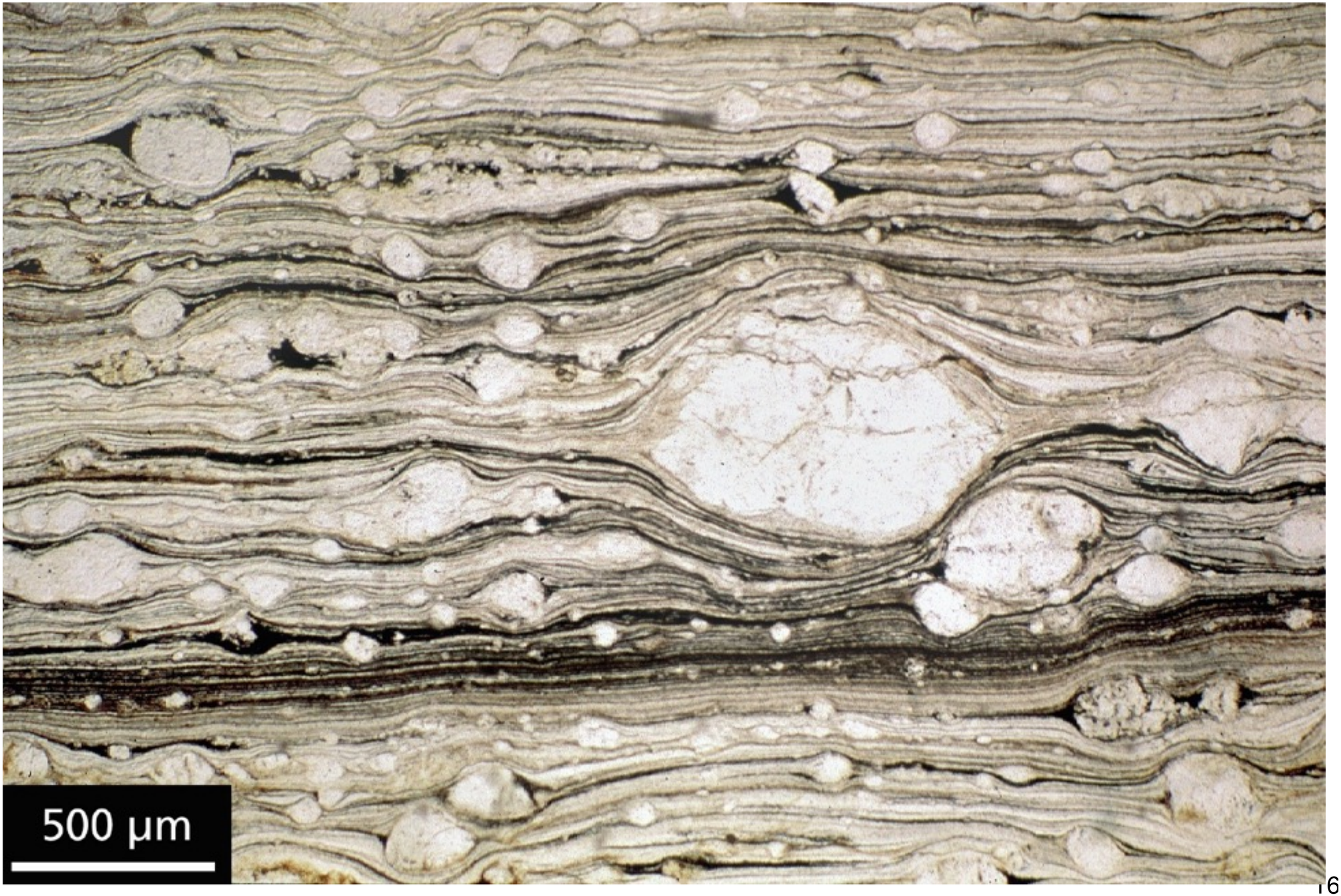
Milonite



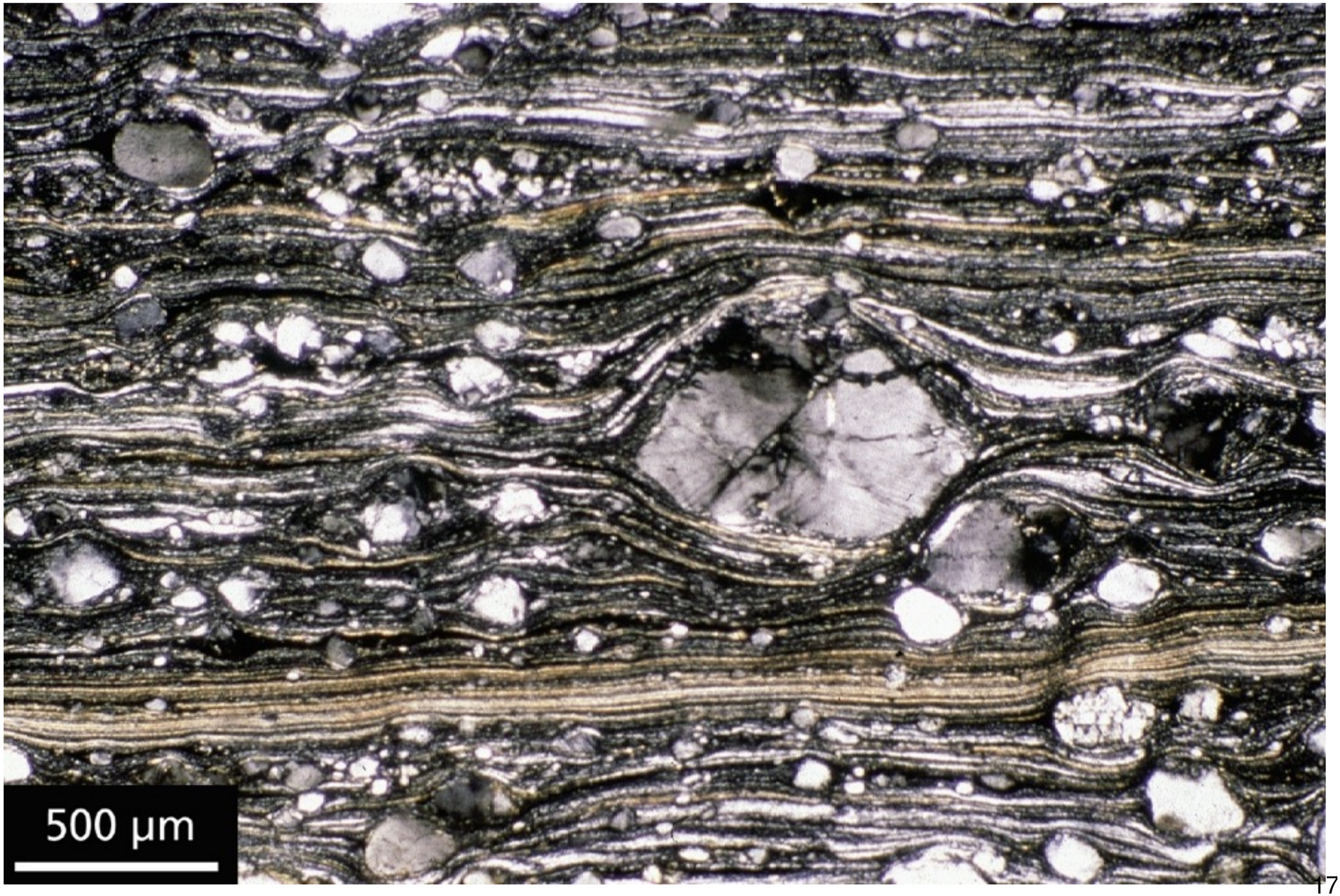
Milonite

- In rocce polimineraliche la fase che si deforma più facilmente accomoda lo strain totale della roccia se può formare una matrice continua attorno alle fasi più competenti.
- Queste ultime formano boudinage o clasti, a seconda del contrasto di competenza.

Milonite



Milonite



Miloniti

Reazioni tra fasi mineralogiche durante lo sviluppo di miloniti possono portare a:

- variazioni del rapporto volumetrico tra le fasi
- variazioni del contrasto di competenza,
- cambio del meccanismo deformativo operante
- modificazioni della microstruttura
- comportamento reologico della roccia.

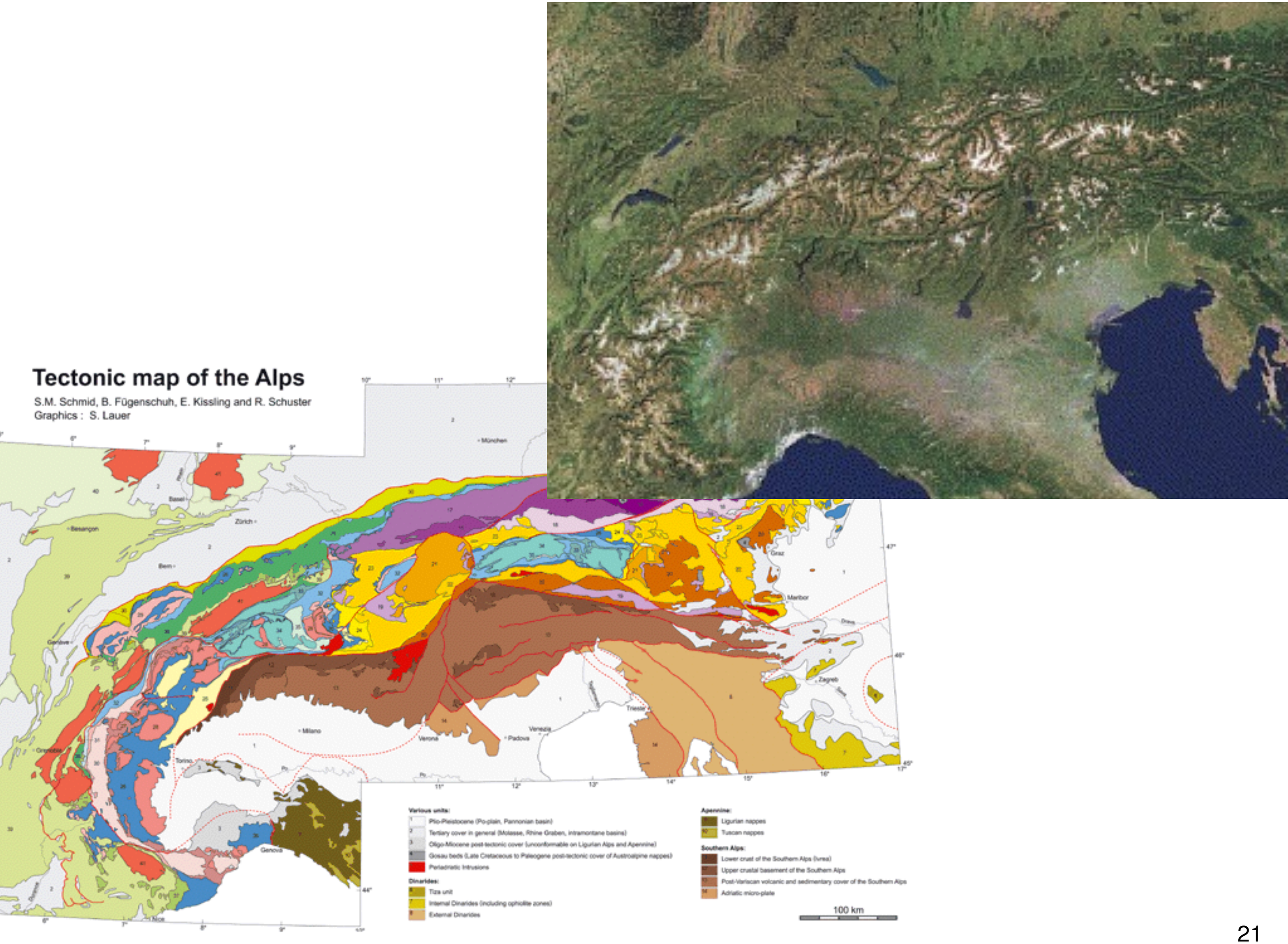
Classificazione

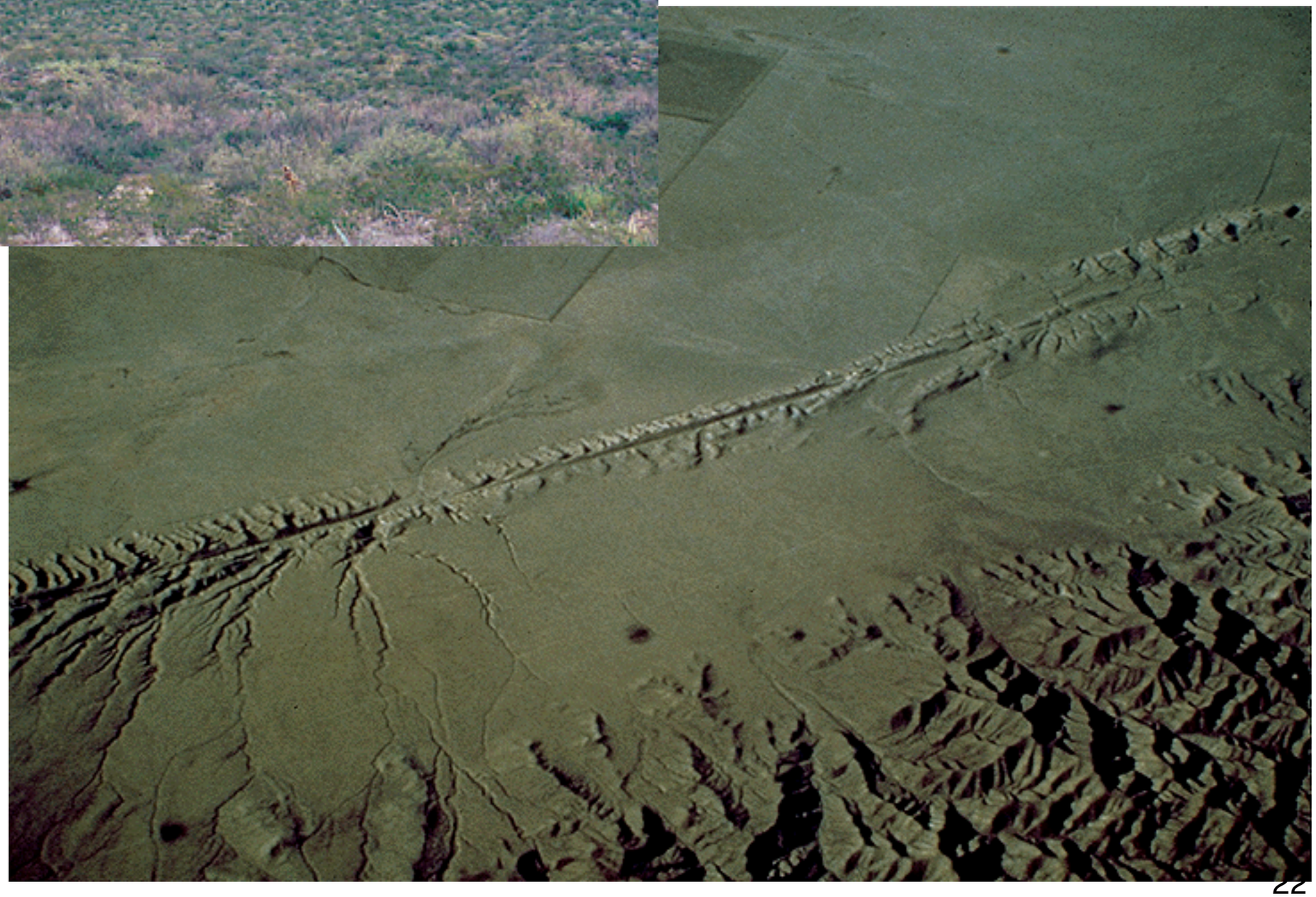
Cataclasiti - Miloniti

	Rocce cataclastiche		Miloniti
	Brecce di frizione (fault gouge)	**Cataclasiti**	
Natura del meccanismo deformativo	Scivolamento relativo tra i grani (“frictional”)		Viscoso nei minerali della matrice che governano la reologia
Meccanismo deformativo	Flusso cataclastico	Flusso cataclastico, solo localmente “dislocation glide” e dissoluzione e riprecipitazione	Nella fase mineralogica che si deforma più facilmente: “dislocation creep”, diffusione, scivolamento viscoso. Nella fase mineralogica che si deforma meno facilmente gli stessi meccanismi ed inoltre cataclasi
Implicazioni tettonofisiche	Sismicità	Asismicità	“Strain hardening” è bilanciato da “recovery”, possibilità di “strain softening”. La resistenza alla deformazione è controllata dalla temperatura, dalla velocità di deformazione e dai cambiamenti microstrutturali sin-deformazione
	La pressione controlla la resistenza alla deformazione		
Struttura	Priva di coesione; talvolta con cementazione post-tettonica	Con coesione	Con coesione
	Non foliate	Talvolta foliate	Sempre foliate
	Riduzione delle dimensioni dei grani		Riduzione o aumento delle dimensioni dei grani in funzione della temperatura omologa
Duttilità e localizzazione della deformazione	Tutte sono duttili ad una qualche scala di osservazione Tutte sono il risultato di una localizzazione dello strain che porta alla formazione della zona di faglia		

Processi di *work softening*

- In natura si osserva che cataclasiti e miloniti sono solitamente localizzate in zone taglio che hanno spessori molto minori (da qualche centimetro a qualche chilometro) rispetto alla loro estensione longitudinale (da qualche metro a parecchie decine di chilometri).
- Si può pensare che durante la deformazione intervengano processi di *work softening* (o strain softening) che portano alla localizzazione della deformazione.


Tectonic map of the Alps
S.M. Schmid, B. Fügenschuh, E. Kissling and R. Schuster
Graphics : S. Lauer
München
Basel
Zürich
Besançon
Bern
Genève
Grenoble
Milano
Torino
Verona
Padova
Venezia
Trieste
Graz
Maribor
Zagreb
Genova
Nice
Various units:
1 Plio-Pleistocene (Po-plain, Pannonian basin)
2 Tertiary cover in general (Molasse, Rhine Graben, intramontane basins)
3 Oligo-Miocene post-tectonic cover (unconformable on Ligurian Alps and Apennine)
4 Gosau beds (Late Cretaceous to Paleogene post-tectonic cover of Austroalpine nappes)
Periadriatic Intrusions
Dinarides:
Tiza unit
Internal Dinarides (including ophiolite zones)
External Dinarides
Apennine:
Ligurian nappes
Tuscan nappes
Southern Alps:
Lower crust of the Southern Alps (Ivrea)
Upper crustal basement of the Southern Alps
Post-Variscan volcanic and sedimentary cover of the Southern Alps
Adriatic micro-plate
100 km



Work softening: Variazione del meccanismo deformativo

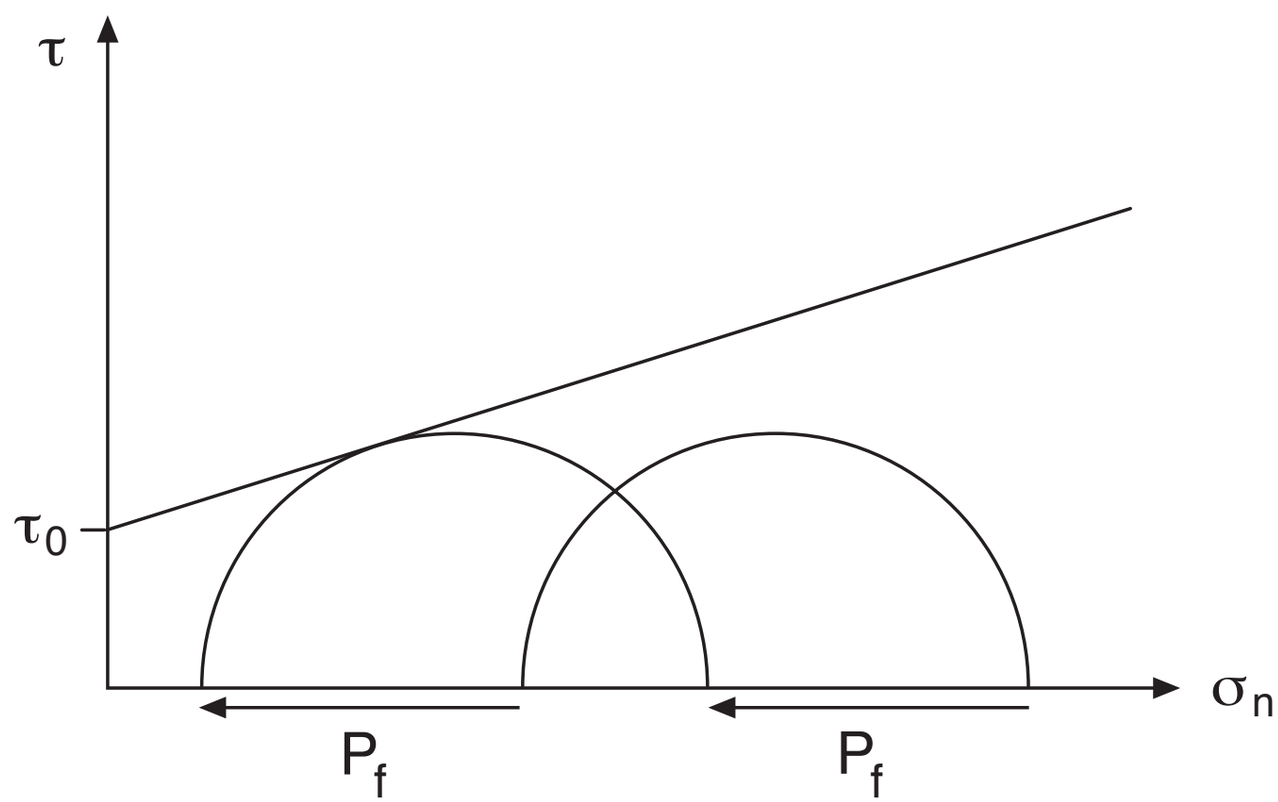
- I meccanismi di ricristallizzazione dinamica (es. ricristallizzazione per rotazione) possono portare ad una diminuzione delle dimensioni dei grani
- quindi ad un cambiamento del meccanismo deformativo (es. scivolamento viscoso)
- avviene se le dimensioni dei granuli ricristallizzati sono sufficientemente piccole (<10 µm) e se esistono altre fasi mineralogiche che impediscono la successiva crescita.
- Spesso avviene in miloniti carbonatiche.

Work softening: Localizzazione geometrica

- In zone di taglio i processi di ricristallizzazione portano all'orientazione dei piani reticolari su cui si ha movimento di dislocazioni parallelamente ai limiti della zona di taglio
- Questo porta a localizzazione della deformazione, è comune in quarzo miloniti e olivin-miloniti.
- Localizzazione della deformazione si può avere in rocce con una fase più facilmente deformabile che si riorganizza a formare livelli continui
- oppure in rocce in cui una anisotropia preesistente ruota fino ad orientarsi parallelamente alla zona di taglio.

Work softening: Presenza di fluidi

- Fluidi interstiziali possono portare ad una riduzione della resistenza di una roccia e alla sua fratturazione e deformazione a valori di stress più bassi del normale
- Comune in serpentiniti, gessi o in rocce magmatiche che si deformano allo stato sub-solidus, cioè ancora in presenza di fuso



Work softening: Reaction softening

- Durante la deformazione fluidi possono indurre reazioni sintettoniche i cui prodotti sono minerali a grana piccola che innescano meccanismi deformativi di tipo viscoso.
- Si possono avere reazioni che trasformano minerali più competenti in minerali più facilmente deformabili (es. quarzo, clorite, sericite, ecc.).

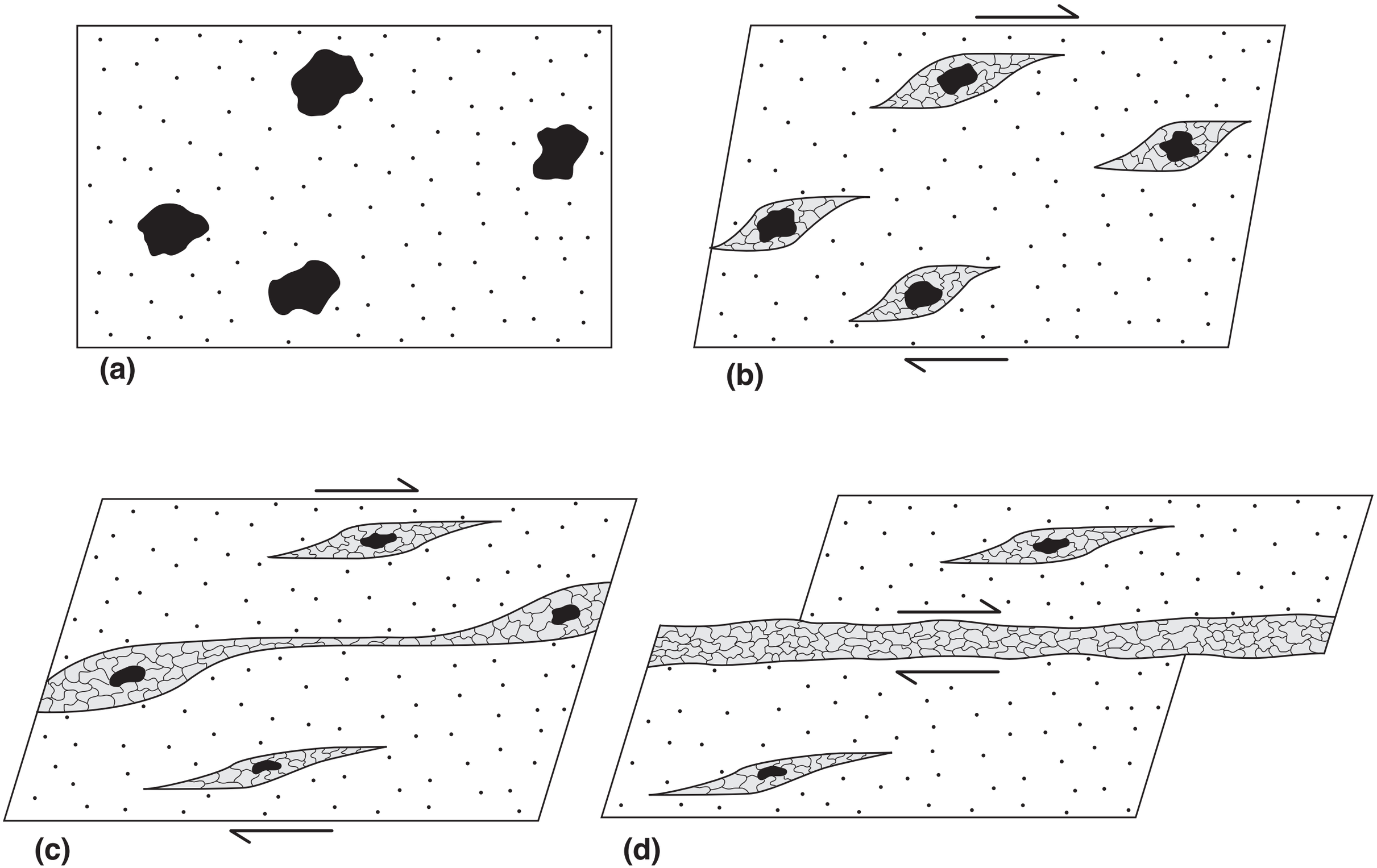
Work softening: Chemical softening

- Reazioni sinmetamorfiche che portano alla locale concentrazione di elementi in tracce o di acqua contenuta nel reticolo cristallino (hydrolitic weakening).

Work softening: Shear heating

- In condizioni di stress medio (<100 MPa) il calore che si sviluppa può essere dissipato per conduzione dalle rocce circostanti la zona di taglio.
- Ad alto stress e velocità di deformazione è possibile invece che si raggiungano temperature tali da provocare fusione e formazione di pseudotachiliti.
- Localizzazione della deformazione in pseudotachiliti può avvenire, ma per intervalli di tempo molto limitati in quanto il fuso migra nella roccia incassante solitamente molto fratturata.

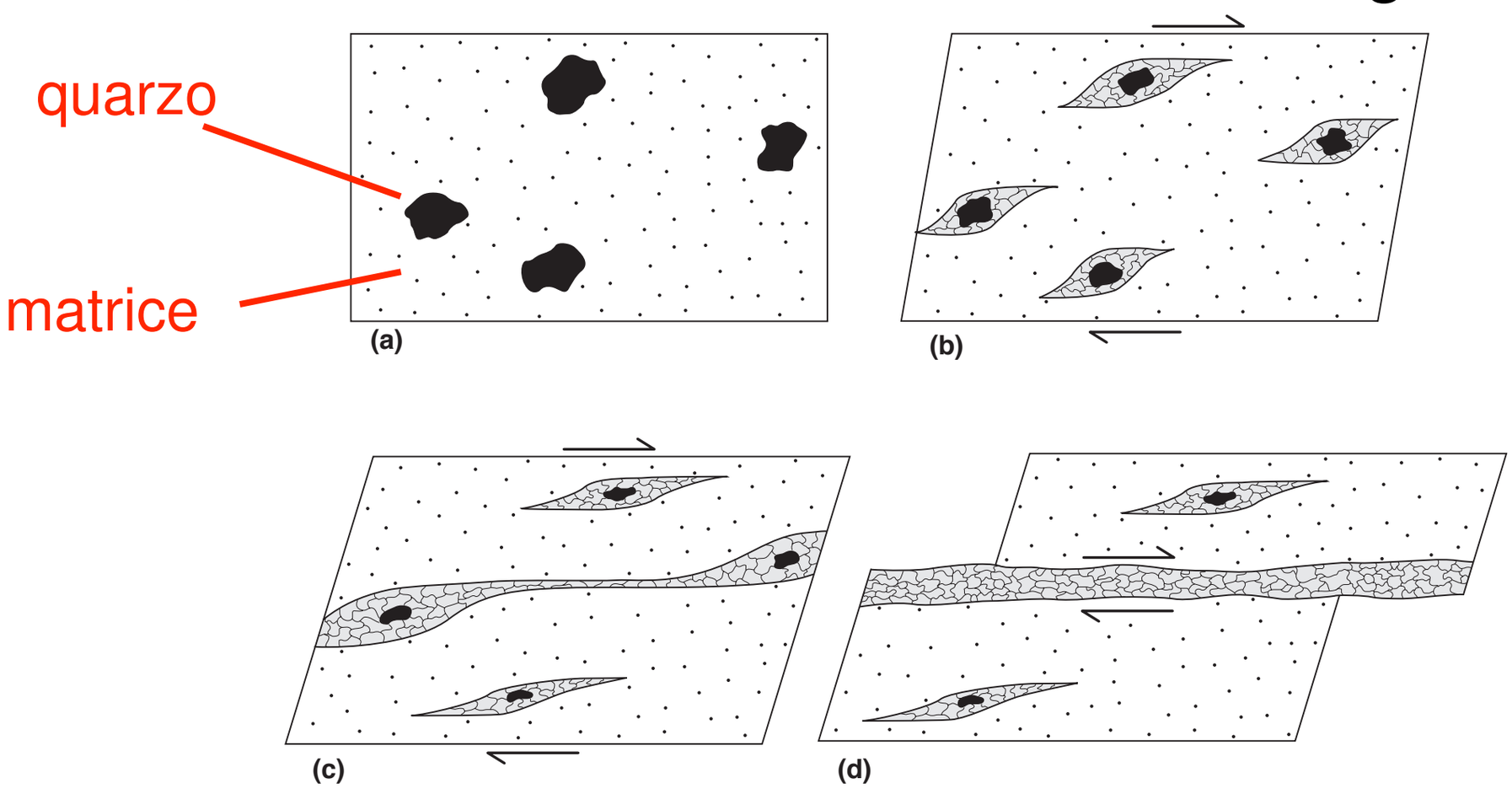
Localizzazione della deformazione



Localizzazione della deformazione

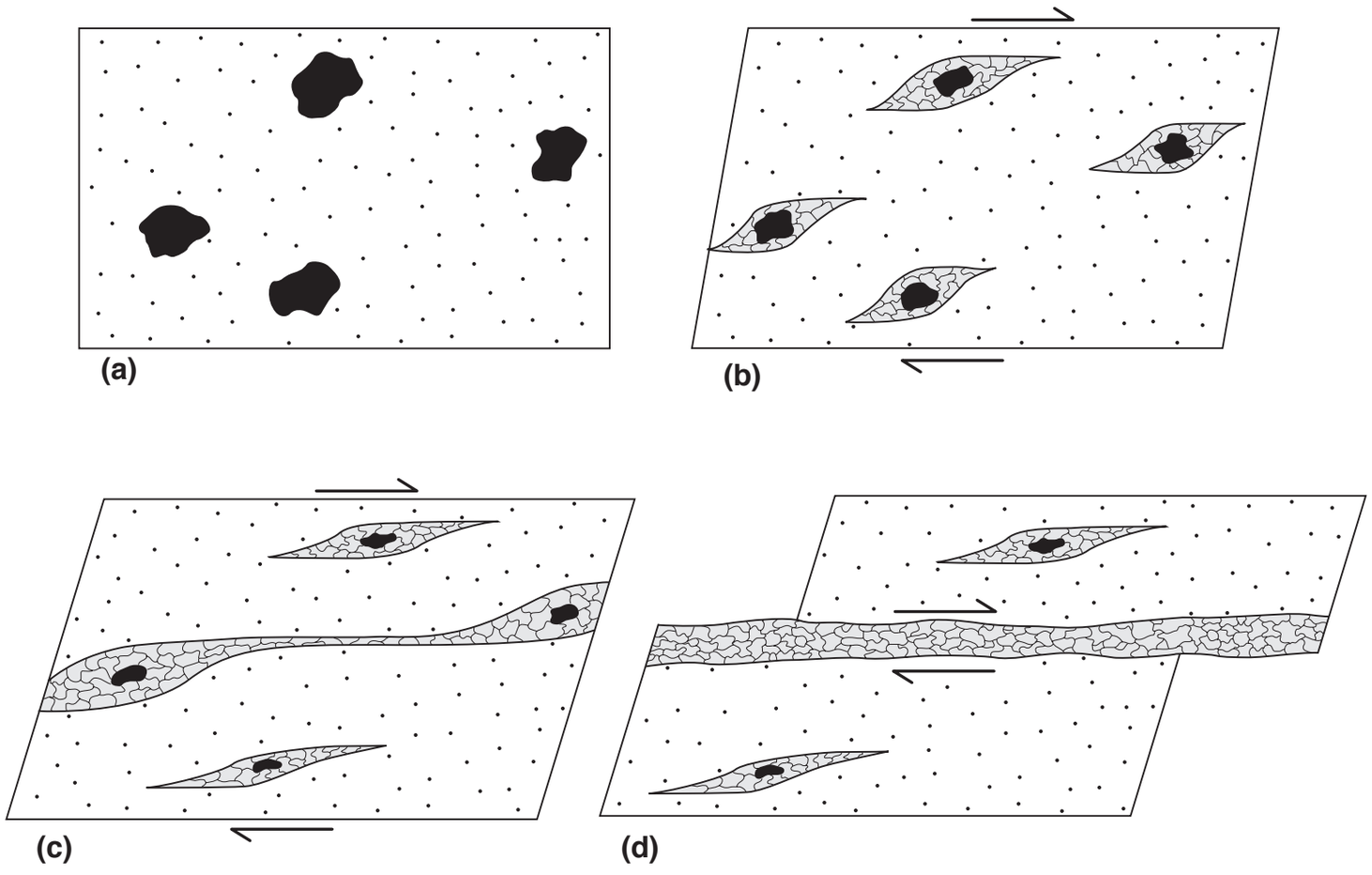
- Es. clasti di quarzo in matrice filladica-feldspatica
- Temp. tipica per def. plastica:

1. ricristallizzano i clasti
2. le code si uniscono
3. è più favorevole deformare la roccia lungo un livello, che deformarla tutta in modo omogeneo



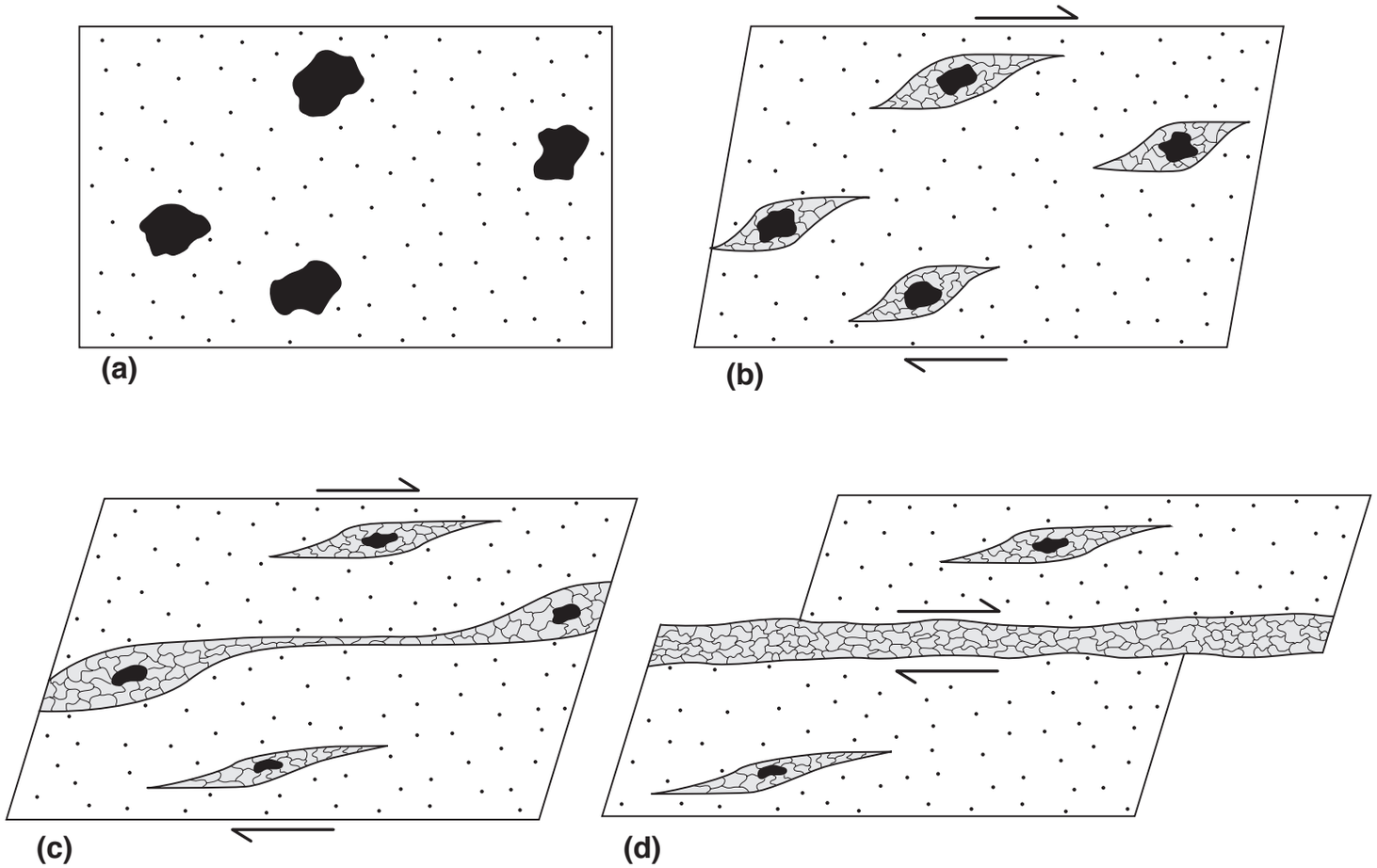
Localizzazione della deformazione

- in natura rocce con minerali differenti
- minerali differenti = differenti meccanismi deformativi e velocità di deformazione
- la reologia della roccia totale sarà governata dalla fase che si deforma più facilmente



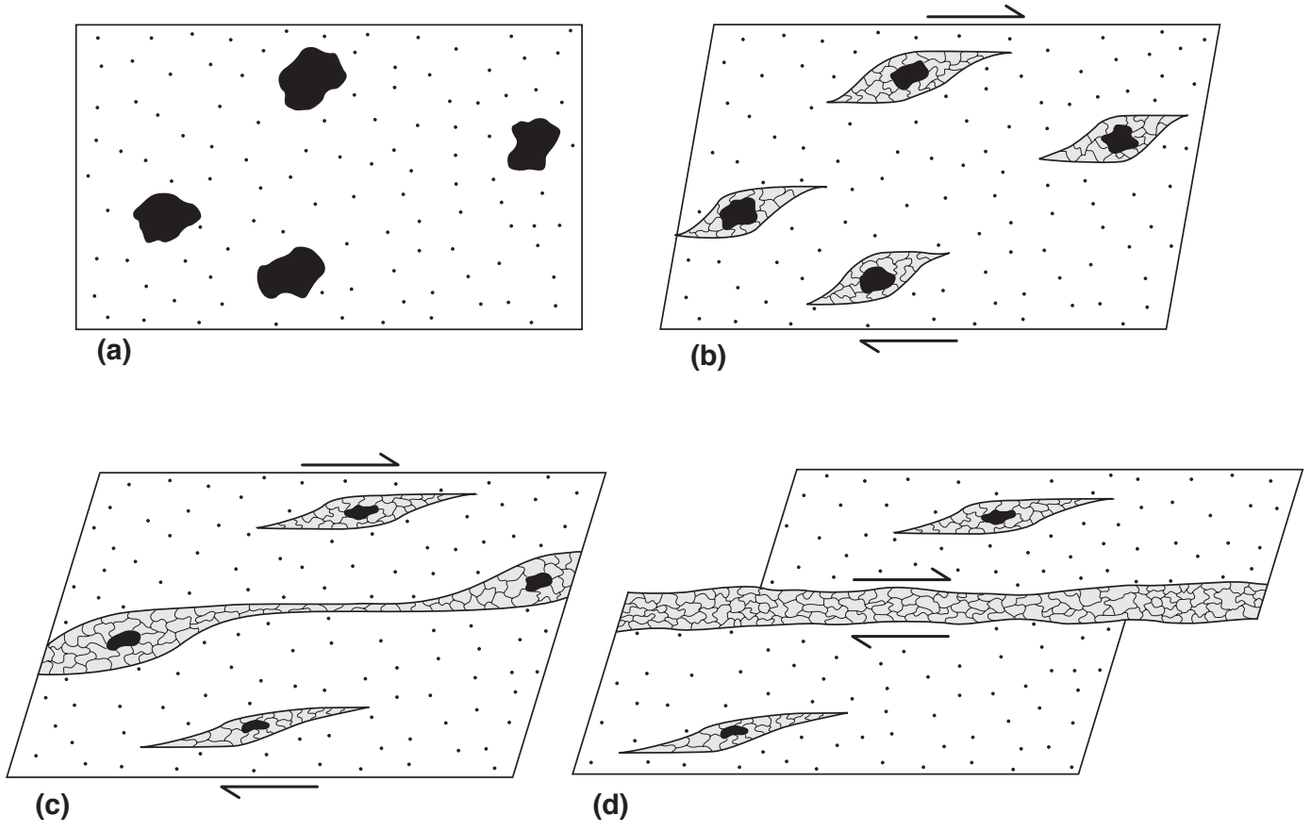
Localizzazione della deformazione

- se la con ricristallizzazione sintettonica la fase che si deforma più facilmente può formare un livello continuo che attraversa tutta la roccia,
- tutto lo strain sarà accomodato da movimento lungo quel livello, con conseguente localizzazione della deformazione;



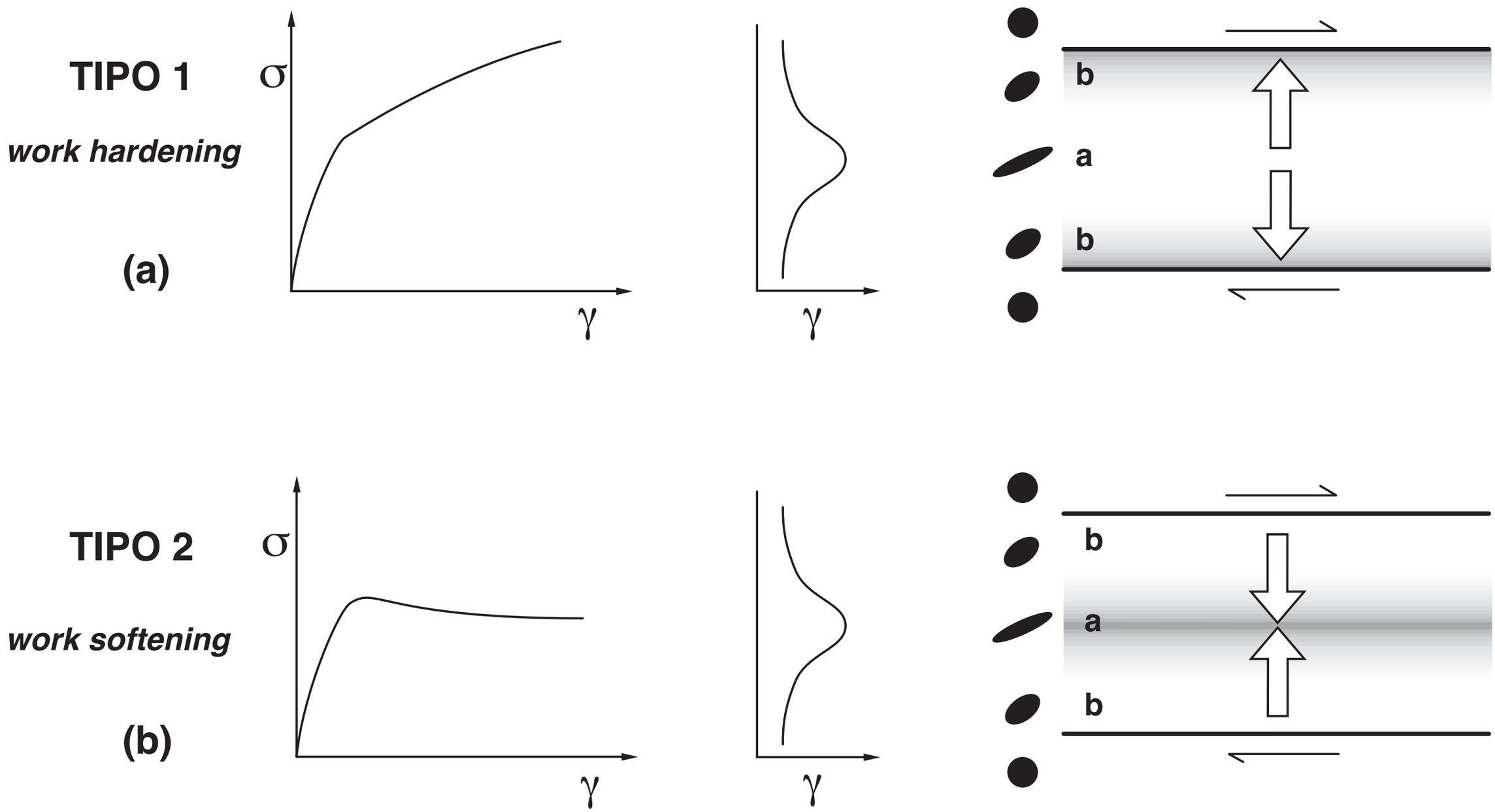
Localizzazione della deformazione

- nel caso di deformazione localizzata la reologia della roccia sarà <u>governata dal minerale che si deforma più facilmente</u> e forma un livello continuo;
- più precisamente dal <u>meccanismo deformativo agente nel livello;</u>
- in altre parti della roccia e in altri fasi mineralogiche si possono avere altri meccanismi deformativi (es. cataclasi).



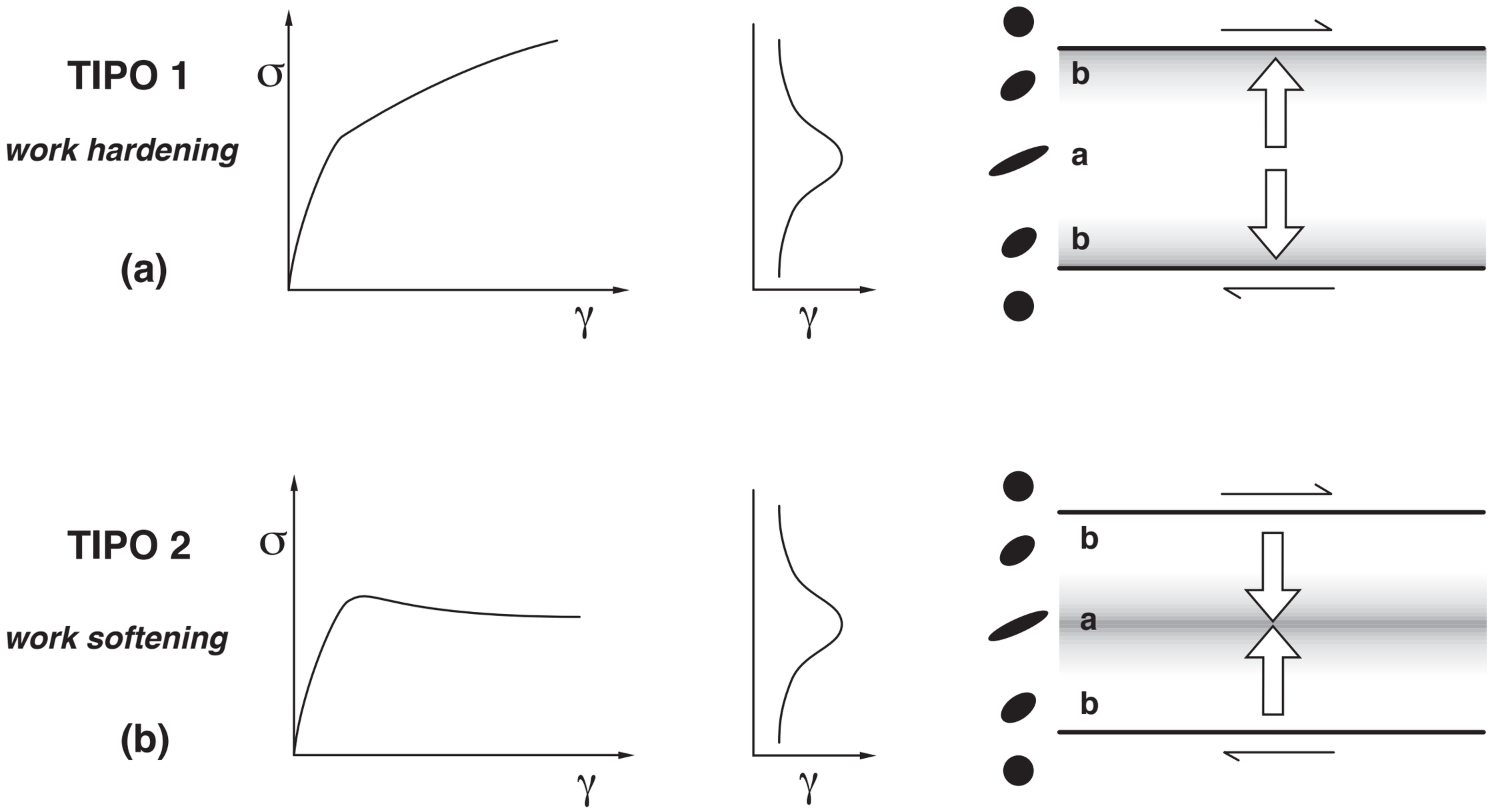
Evoluzione zone di taglio

- work hardening = aumento spessore
- work softening = diminuzione spessore



Evoluzione zone di taglio

- Le zone di taglio di Tipo 2 permettono di studiare la storia deformativa e l'evoluzione microstrutturale di una roccia in una zona di taglio.



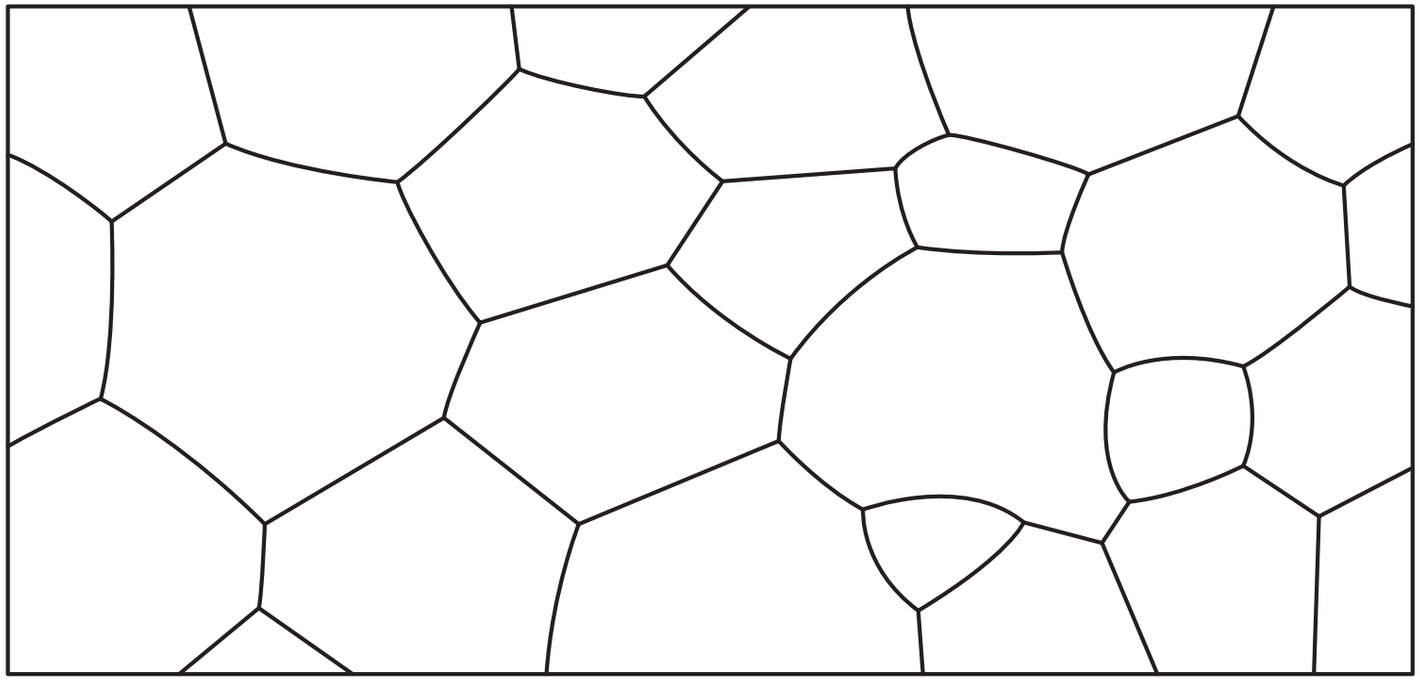
Ricristallizzazione statica

- (ricristallizzazione post-tettonica, annealing)
- alla fine di un processo deformativo una roccia può rimanere in profondità a lungo, in condizioni di alta temperatura e stress idrostatico (nessuno sforzo orientato applicato).
- Un aggregato policristallino può quindi ulteriormente abbassare il suo contenuto energetico diminuendo in numero di contatti tra i granuli, aumentando cioè le dimensioni medie dei grani (grain boundary migration)

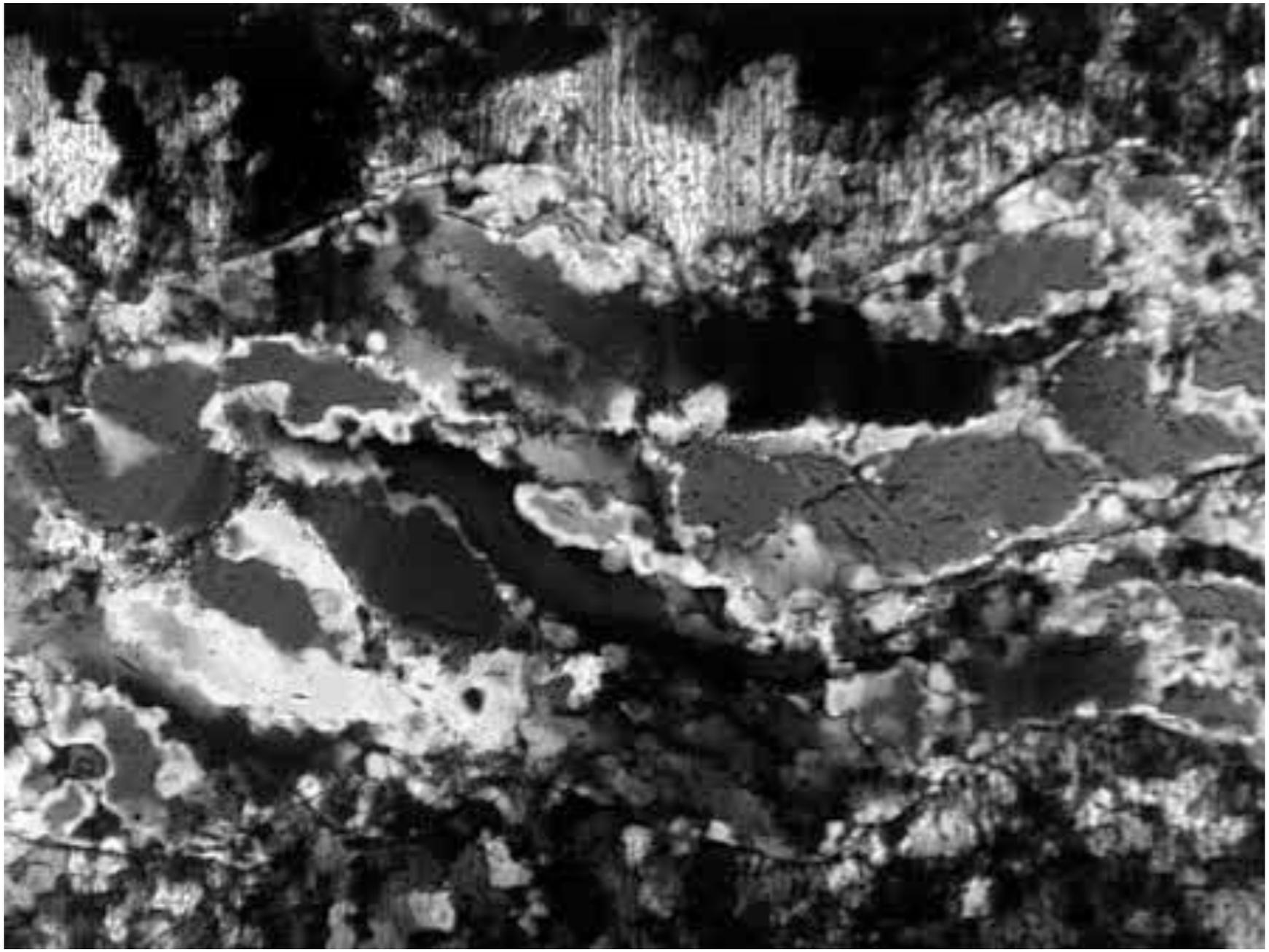
Ricristallizzazione statica

- aumento delle dimensioni di alcuni grani, mentre altri cristalli diminuiscono di volume e vengono progressivamente eliminati.
- contatti tra i granuli rettilinei,
- giunzioni triple a 120° (volume maggiore con la minima superficie)
- obliterazione strutture precedenti

(granoblastica)

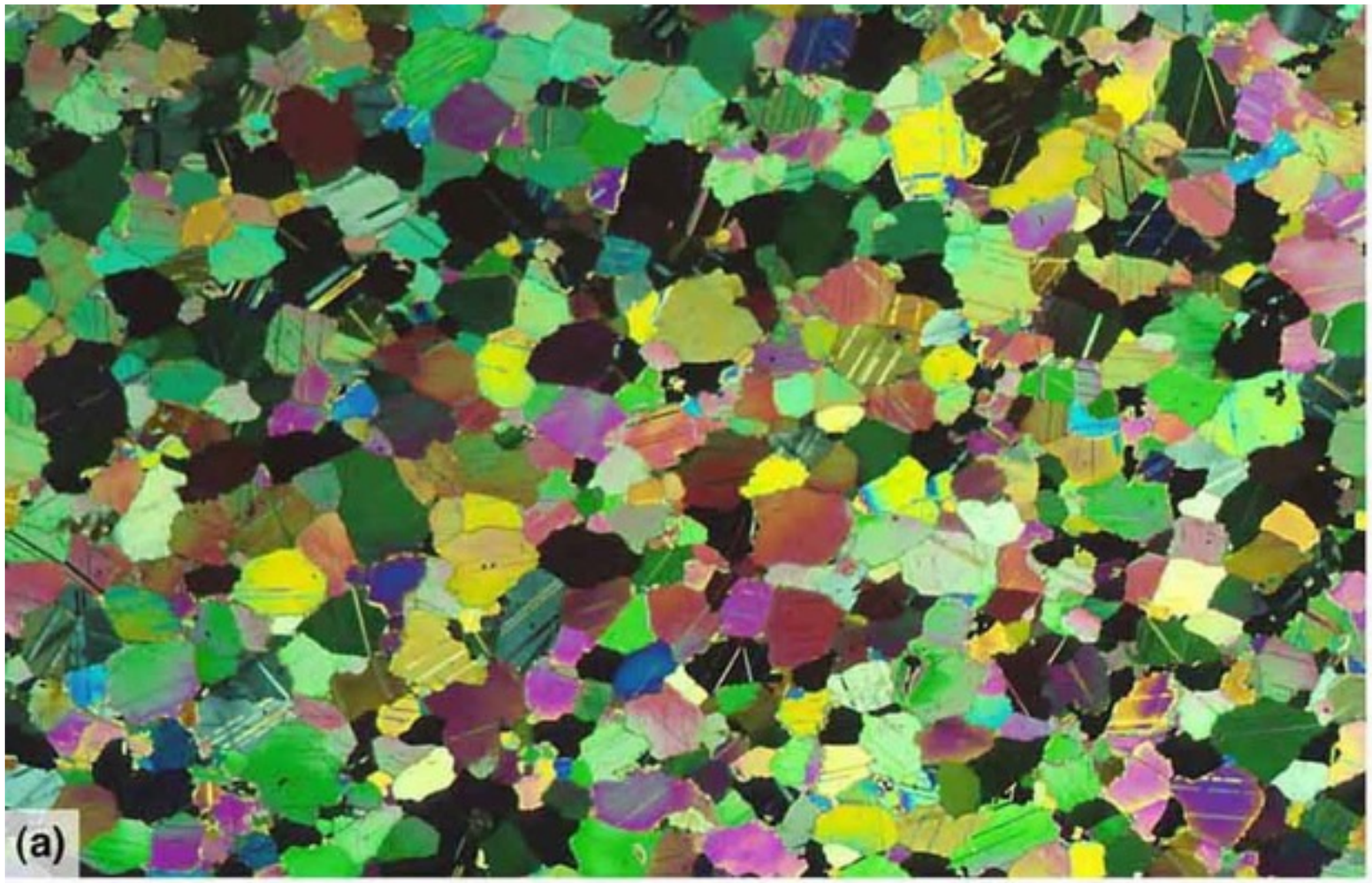


Ricristallizzazione statica



Ricristallizzazione statica

marmo di Carrara

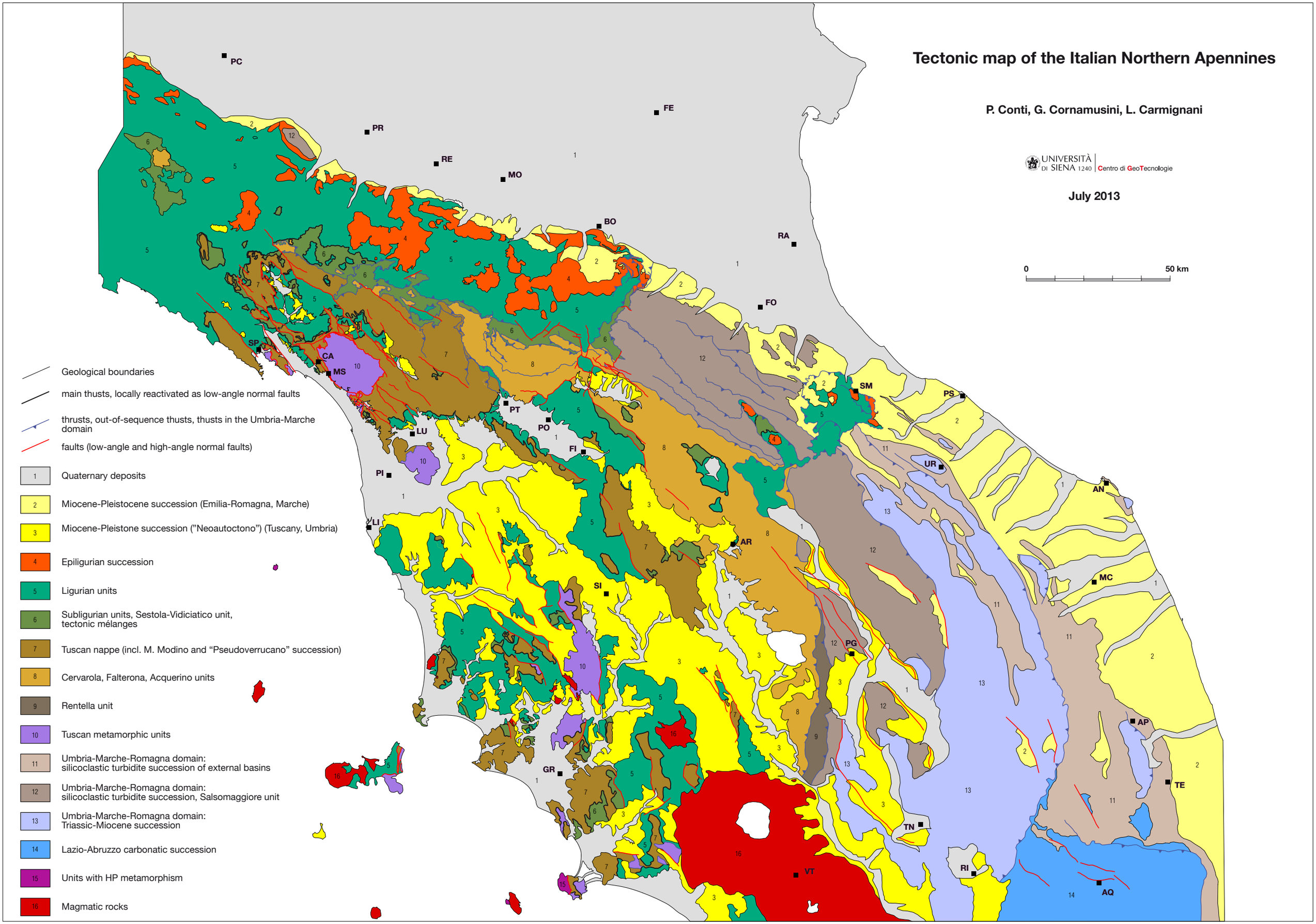


Tectonic map of the Italian Northern Apennines

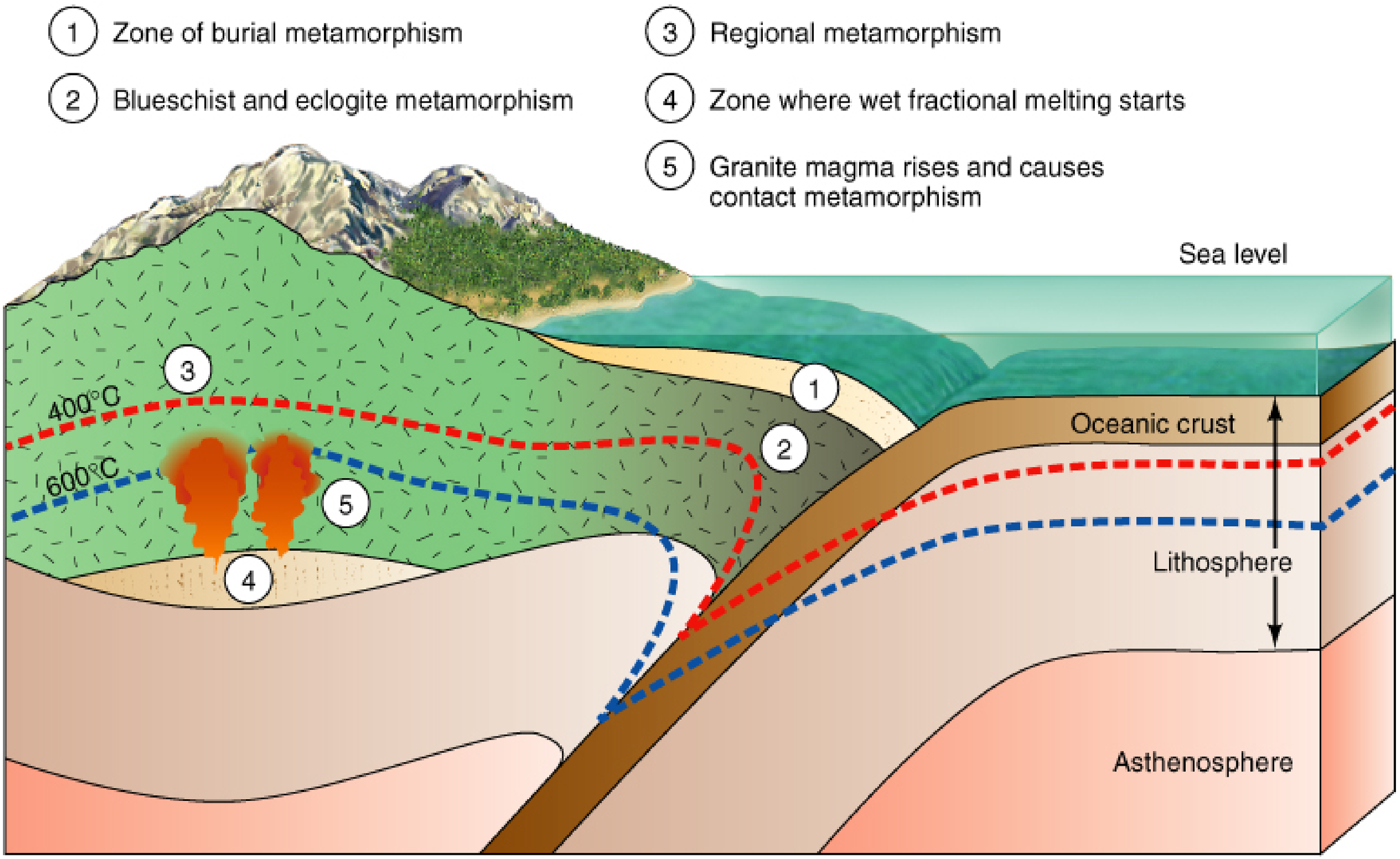
P. Conti, G. Cornamusini, L. Carmignani

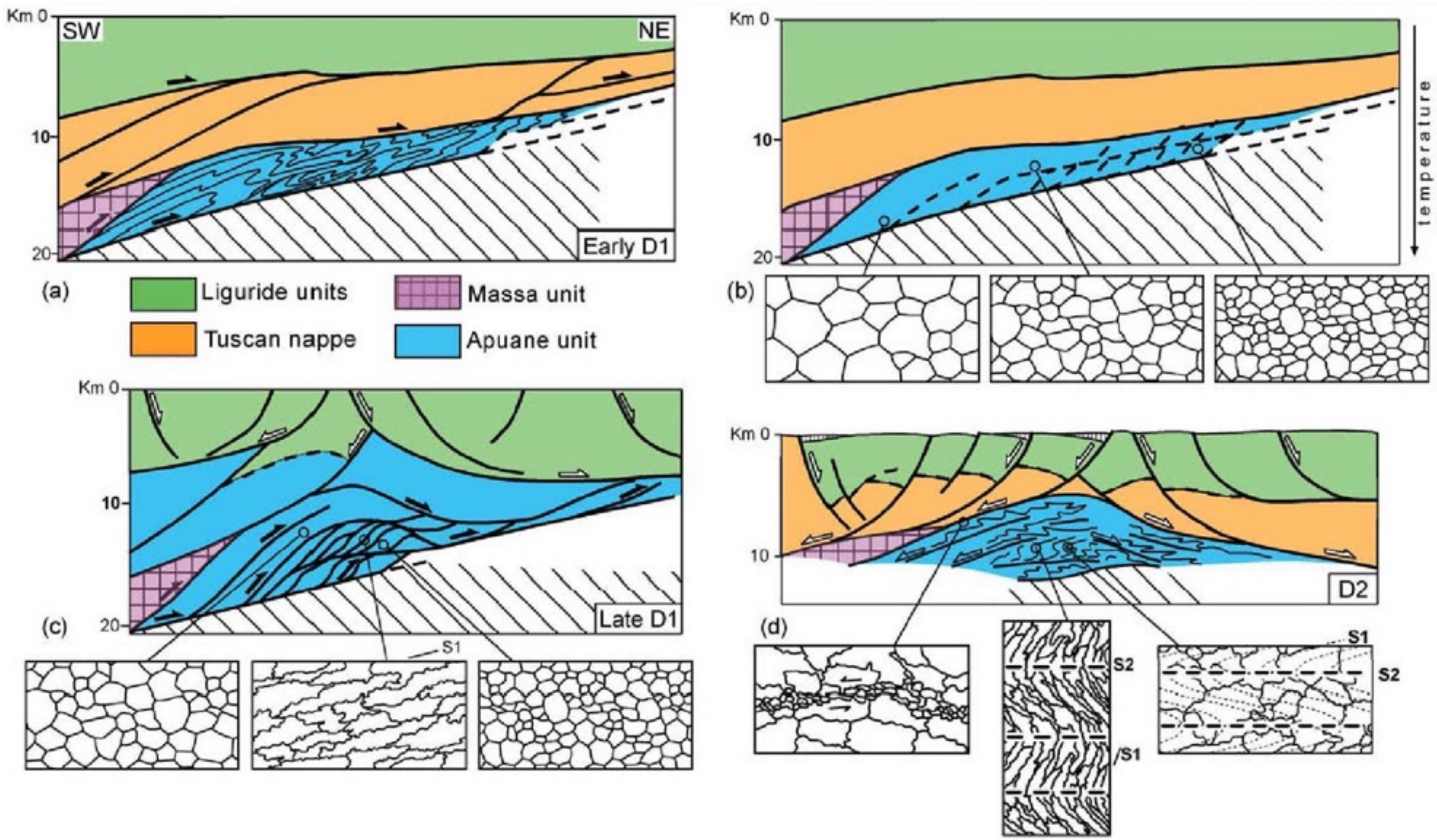
UNIVERSITÀ DI SIENA 1240 | Centro di GeoTecnologie

July 2013



Ambienti geodinamici e metamorfismo



Copyright 2000 John Wiley & Sons, Inc. All rights reserved.

Ricristallizzazione statica e dinamica