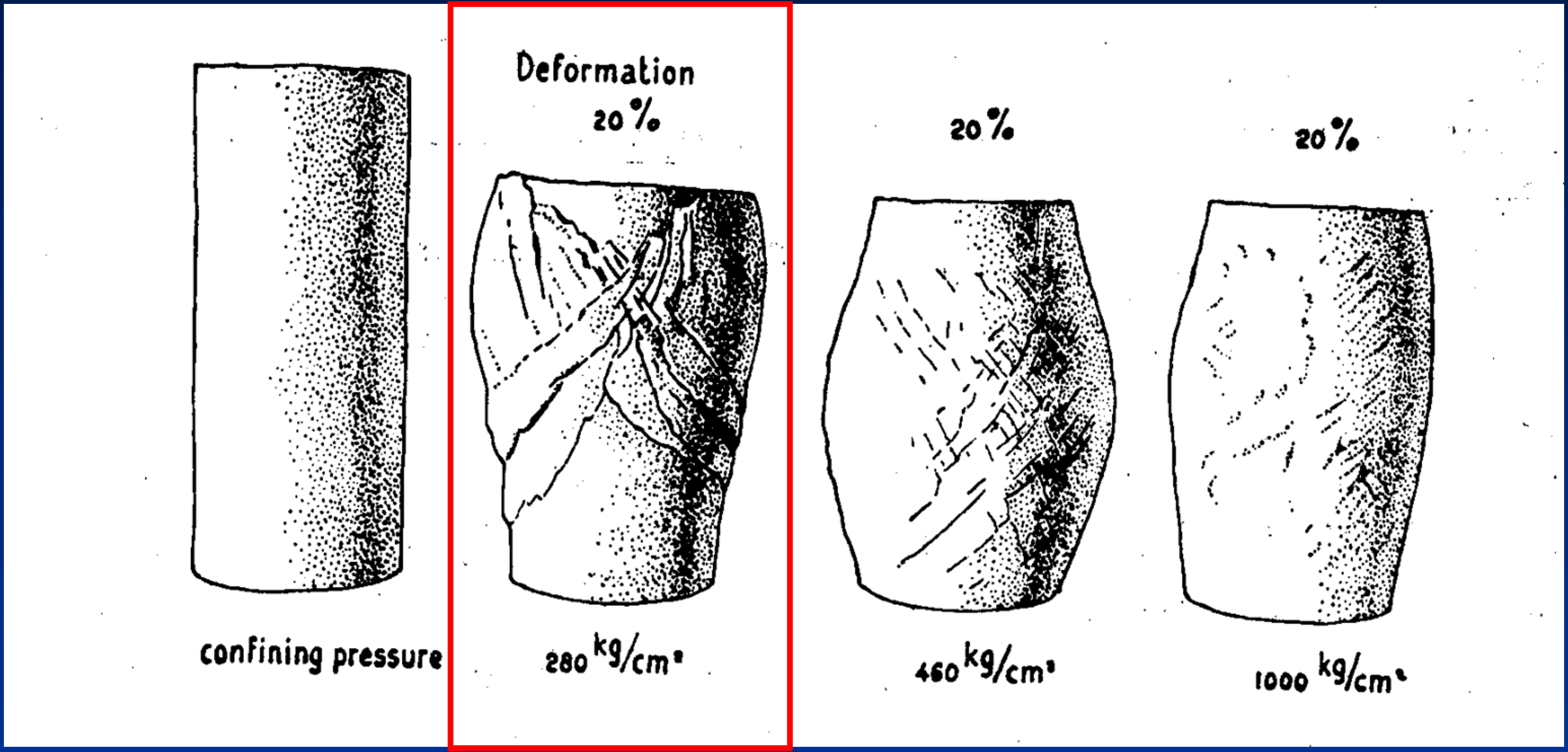
Immagini e fotografie tratte da:

- Boccaletti M & Tortorici L., 1987. Appunti di Geologia Strutturale. Patron Editore.
- Maltman A. (Ed.), 1994. The Geological Deformation of Sediments (various contributes). Chapman & Hall.
- Means W.D., 1976. Stress and Strain: Basic Concepts of Continuum Mechanics for Geologists. Springer-Verlag
- Mercier J., Vergely P., 1996. Tettonica. Pitagora Editore.
- Mercier J., Vergely P., 1995. Tectonique, 2ème edition, Dunod.
- Nicolas A., 1984. Principles de tectonique. Masson.
- Pini G.A., materiale inedito.
- Price N.J., Cosgrove J.W., 1990. Analysis of Geological Structures. Cambridge University Press.
- Ramsay J.G., 1967. Folding and Fracturing of Rocks. McGraw-Hill Book Company.
- Ramsay J. G., Huber M. I., 1984. The Techniques of Modern Structural Geology. Volume 1: Strain analysis. Academic Press Inc.
- Ramsay J. G., Huber M. I., 1987. The Techniques of Modern Structural Geology. Volume 2: Folds and Fractures. Academic Press Inc.
- Selli L., 2006. Appunti dalle lezioni di Geologia Strutturale.
- Suppe J., 1985. Principles of Structural Geology. Prentice-Hall Inc.
- van der Pluijm B., Marshak S., 2004. Earth Structure: An Introduction to Structural Geology and Tectonics, Second Edition. WW Norton & Company.

Deformazione fragile



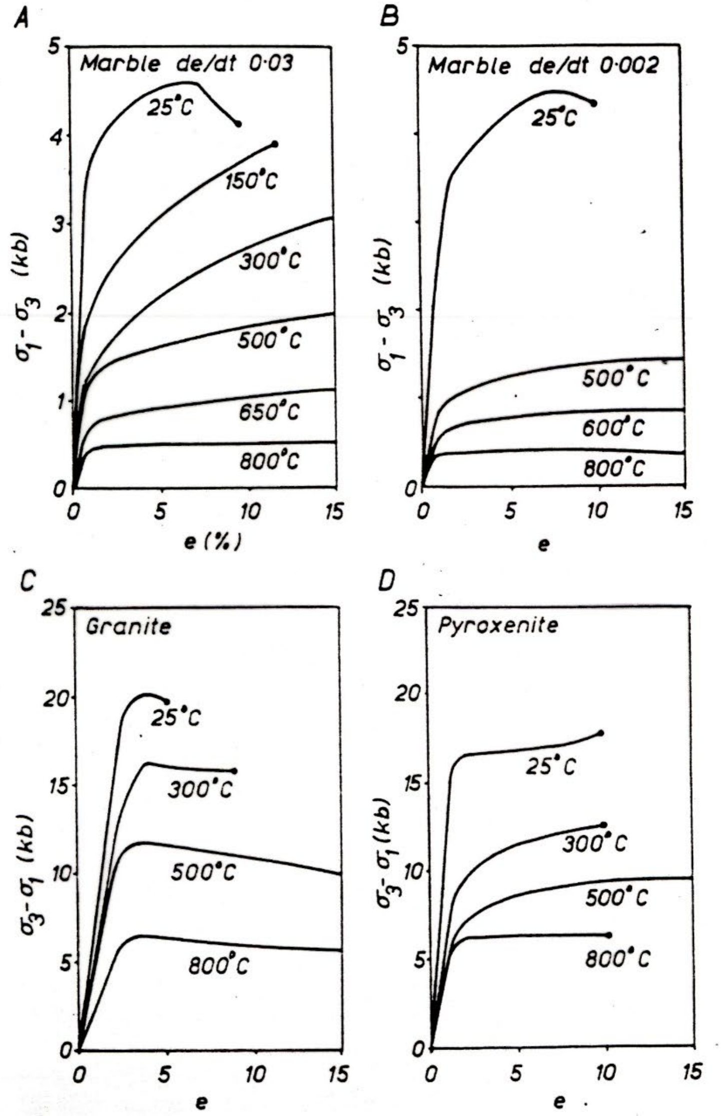
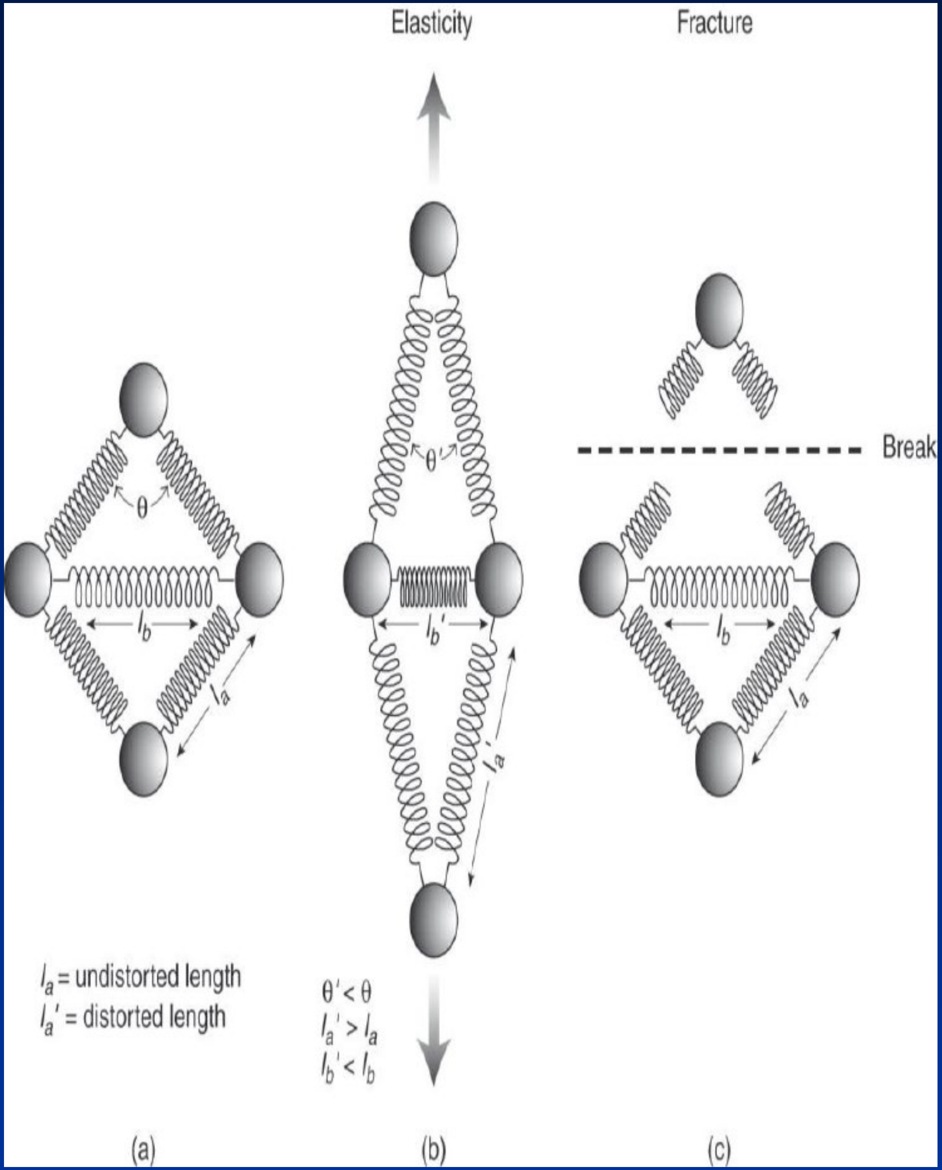


FIG 45

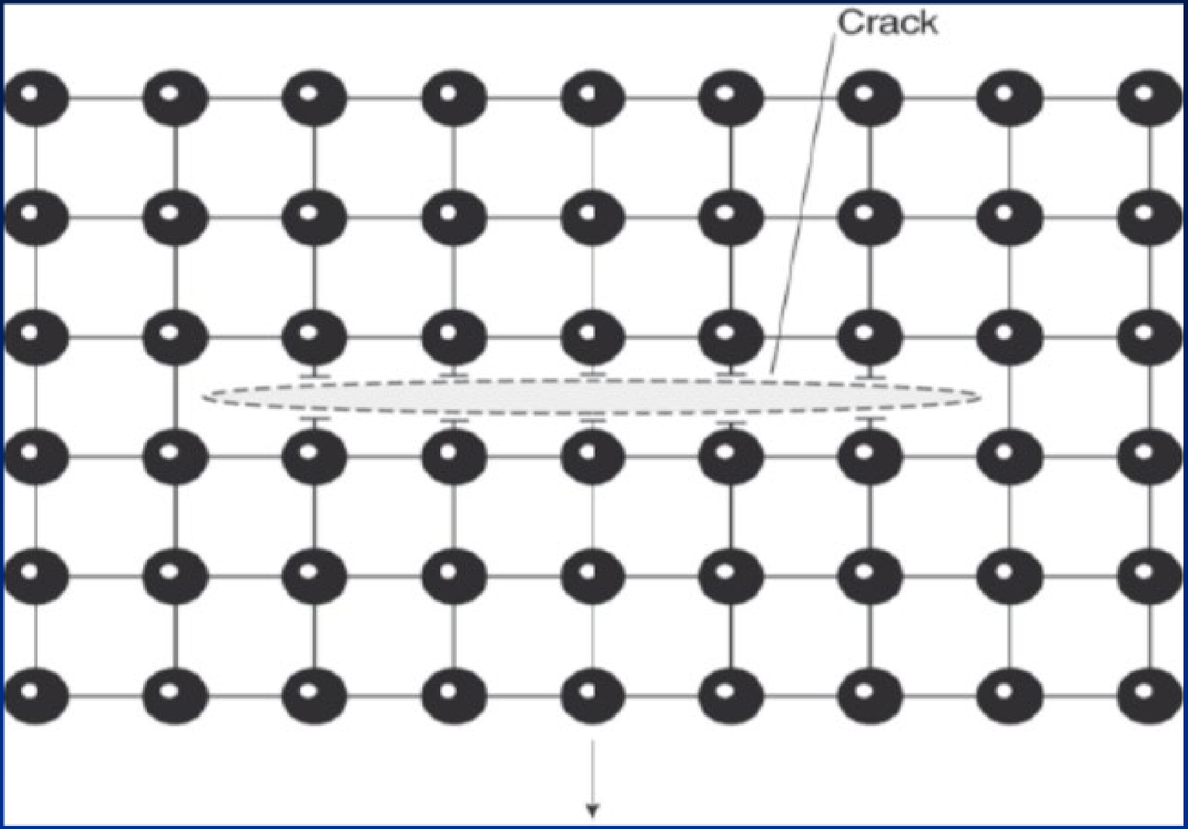
Stress-strain curves from triaxial tests made on various rock materials. A and B, Yule marble in extension; C, granite in compression; D, pyroxenite in compression: all with 5 kilobars confining pressure. (After Griggs, Turner, and Heard, 1960.)

Da Ramsay, 1967



Da van der Pluijm & Marshak, 2004

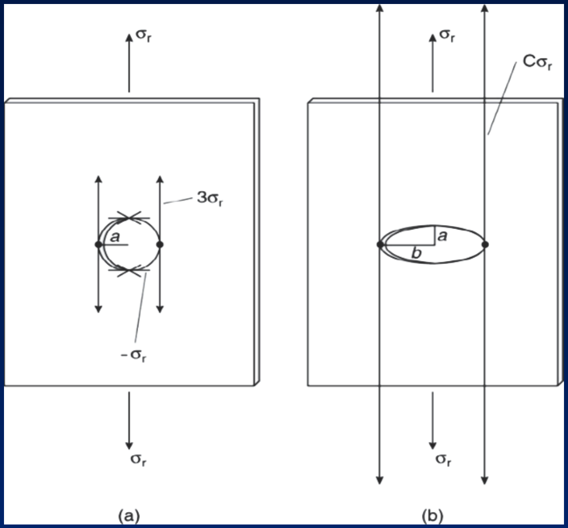
Resistenza "atomica" teorica= 100 volte maggiore dell'effettiva resistenza alla deformazione sperimentale!



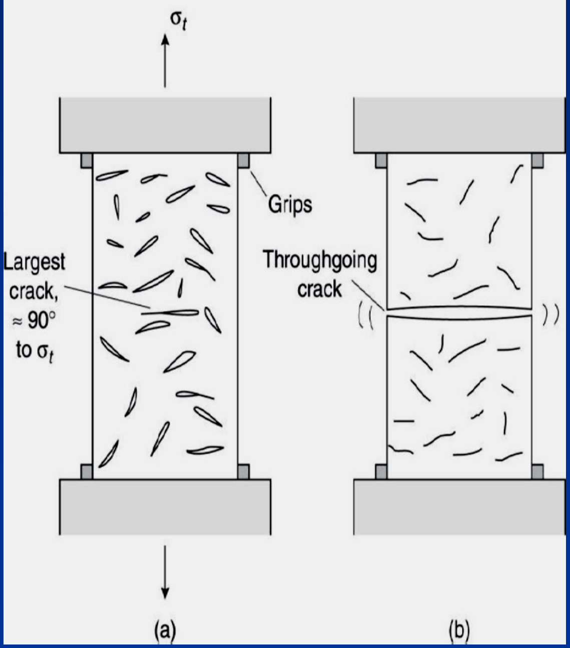
Da van der Pluijm & Marshak, 2004

La ragione è nella presenza di microfratture (micro crack)

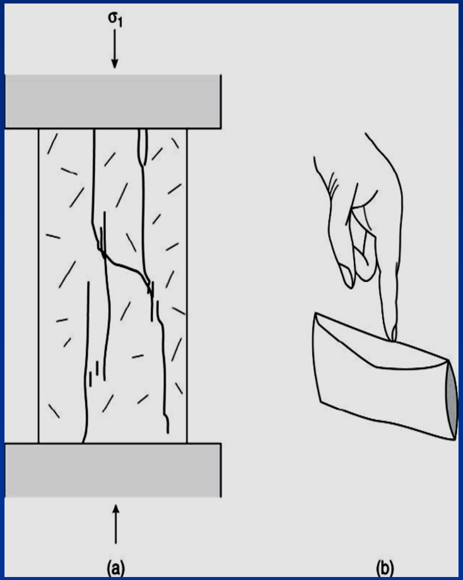
Microfratture
(micro crack)



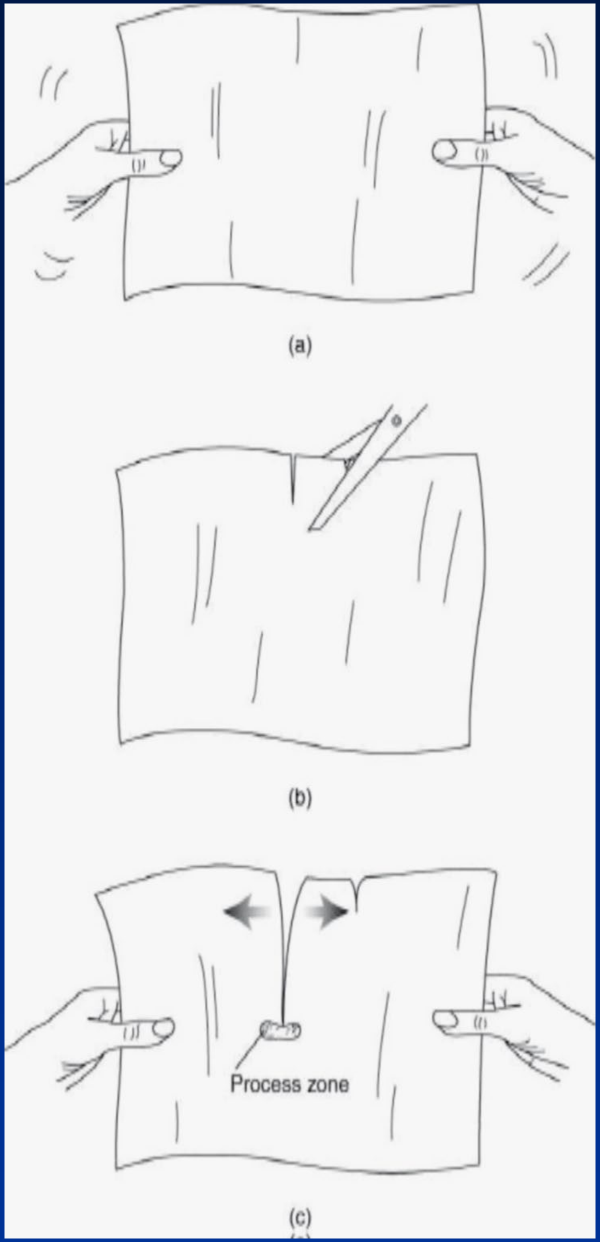
Da van der Pluijm & Marshak, 2004



Sforzo in estensione



Sforzo in compressione

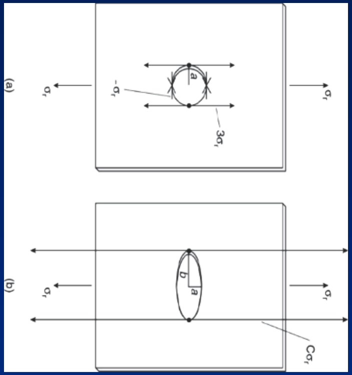


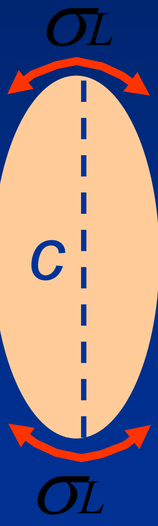
Da van der Pluijm & Marshak, 2004

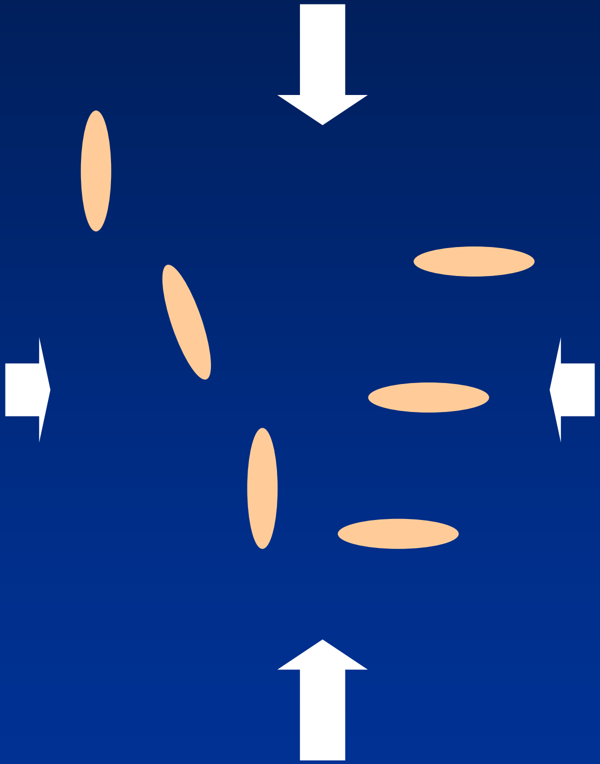
Perchè la rottura in trazione avviene più facilmente che in compressione?

Perche la rottura avviene (in tutte le condizioni) in ogni caso a valori che sono ben al di sotto della resistenza teroica dei materiali?

Criterio di rottura di Griffith (1924)







$$\sigma_L = \sigma\sqrt{\frac{c}{rm}}$$

Stato di sforzo legato alla propagazione delle microfratture

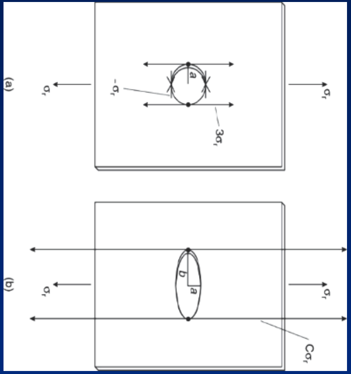
rm = raggio di curvatura dell'apice della microfrattura

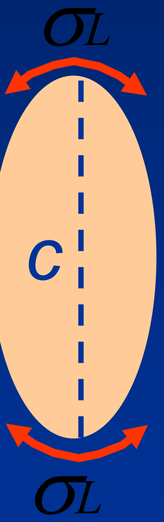
c = lunghezza max della frattura

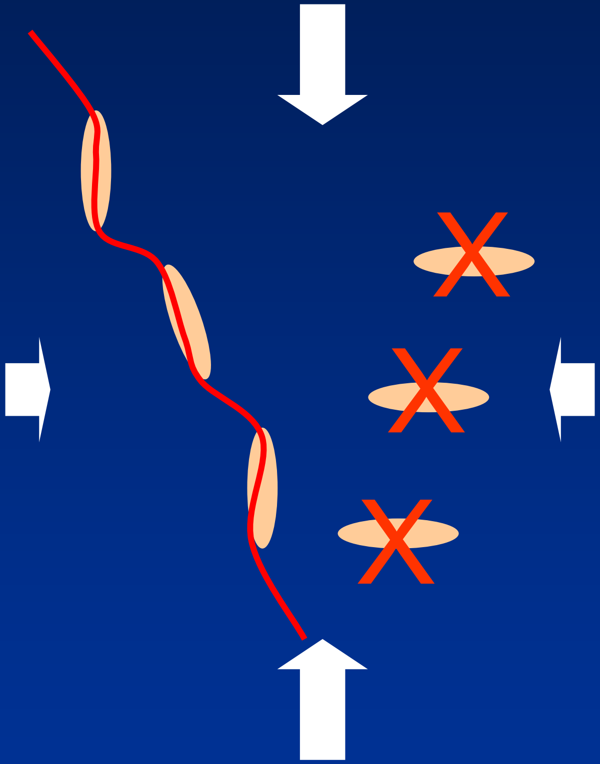
Perchè la rottura in trazione avviene più facilmente che in compressione?

Perche la rottura avviene (in tutte le condizioni) in ogni caso a valori che sono ben al di sotto della resistenza teroica dei materiali?

Criterio di rottura di Griffith (1924)





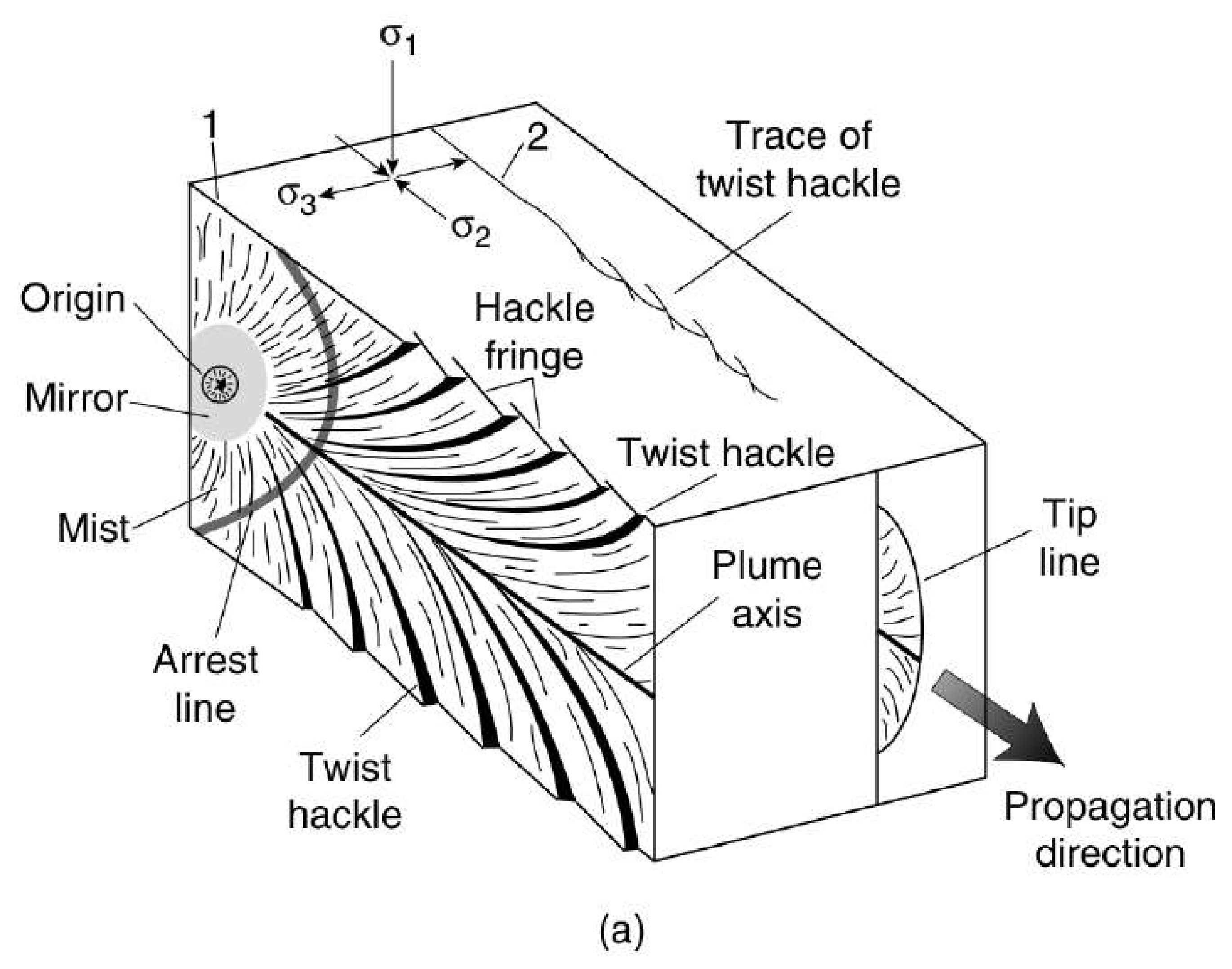


$$\sigma_L = \sigma\sqrt{\frac{c}{rm}}$$

Stato di sforzo legato alla propagazione delle microfratture

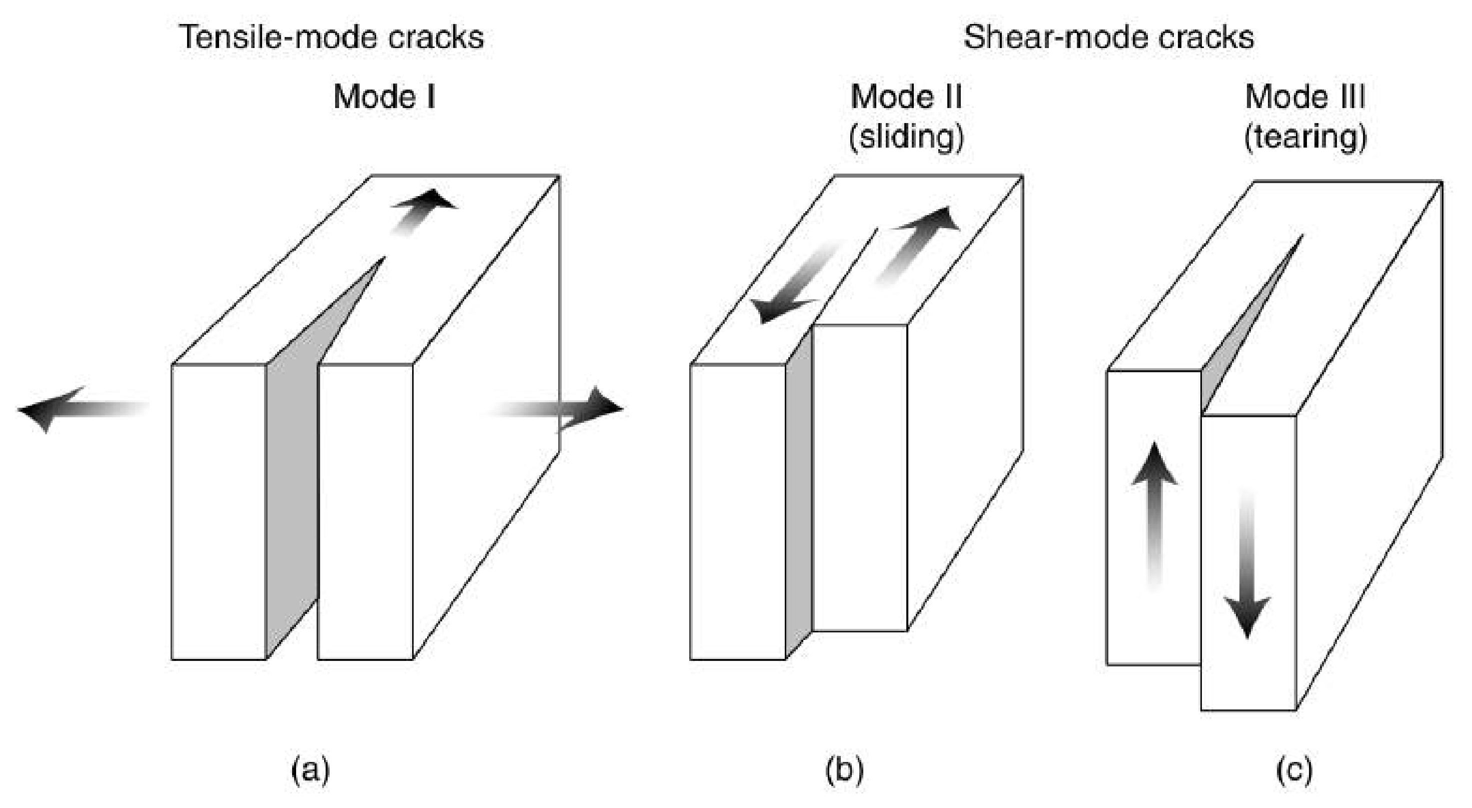
rm = raggio di curvatura dell'apice della microfrattura

c = lunghezza max della frattura



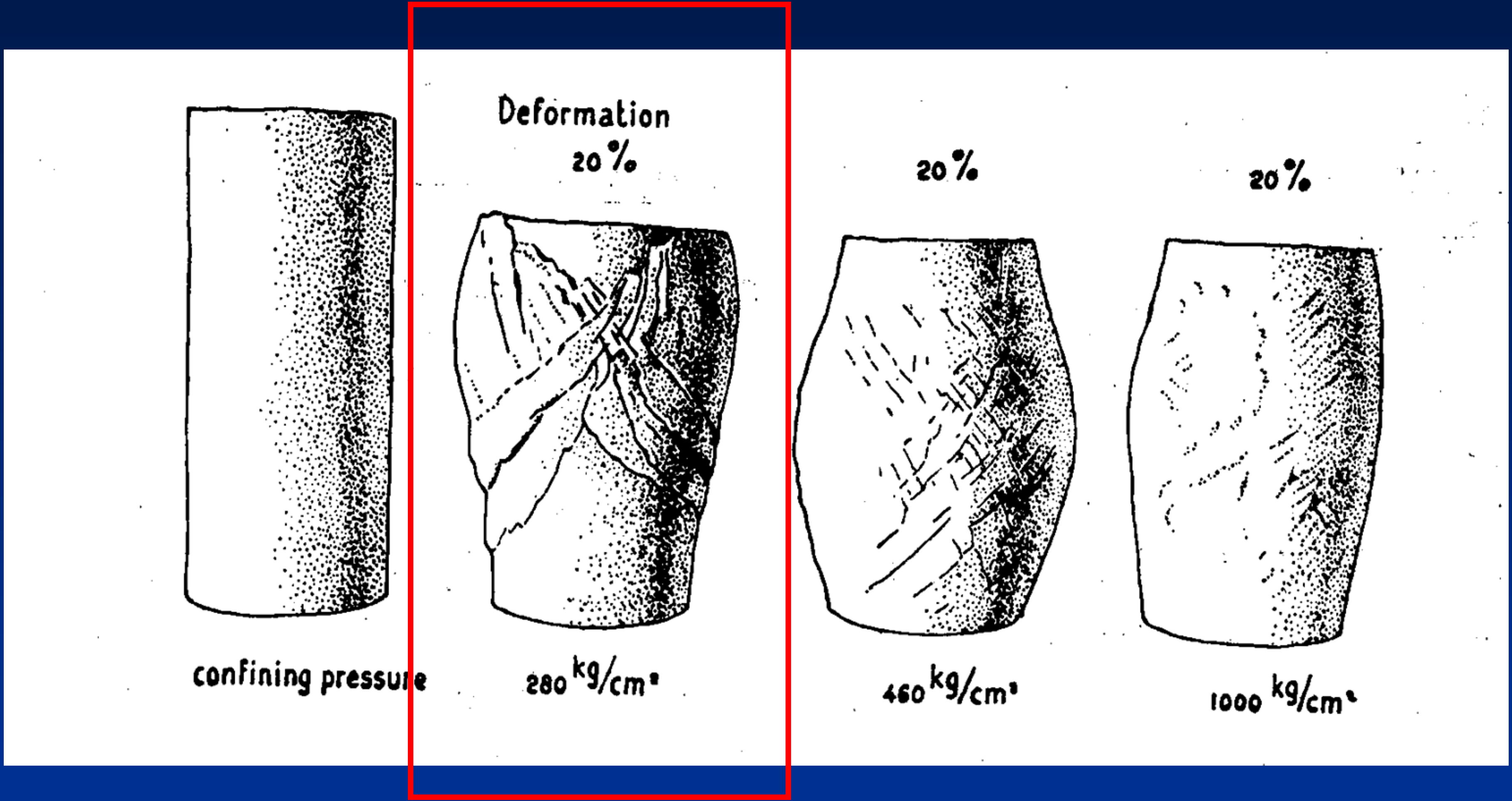
Da van der Pluijm & Marshak, 2004

Origine delle strutture fragili:
piani di discontinuità effettiva della roccia



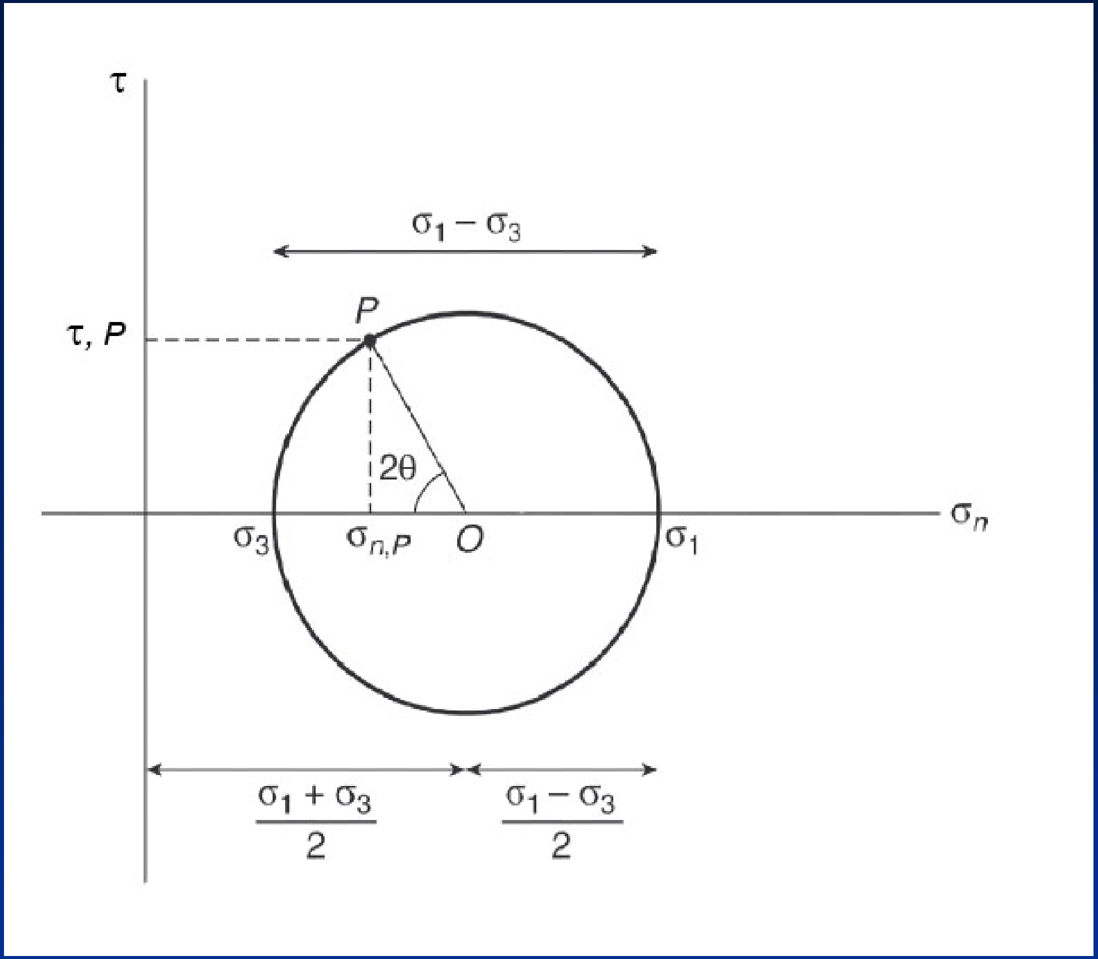
Da van der Pluijm & Marshak, 2004

Deformazione fragile



Piani di frattura: angoli caratteristici, quali?

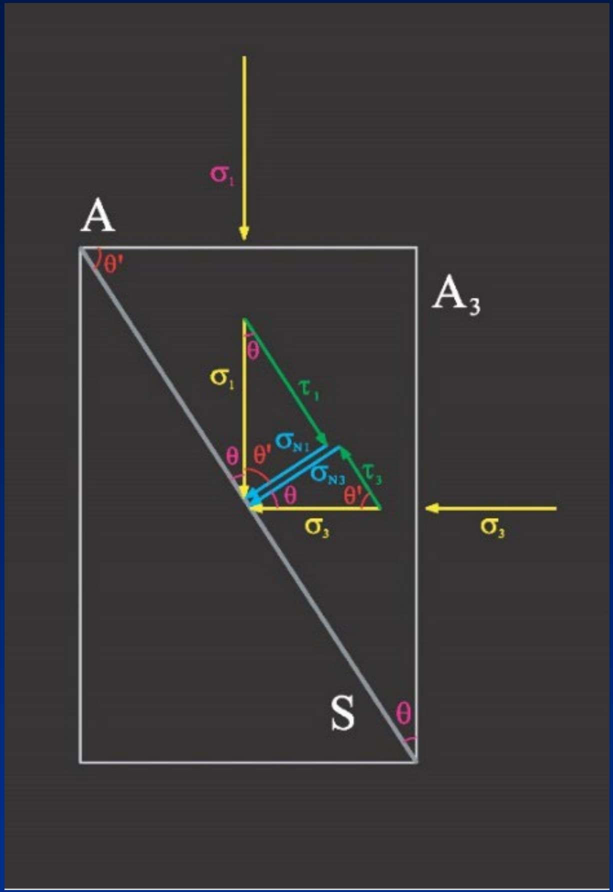
Cerchio di Mohr
(NON a rottura!!!)

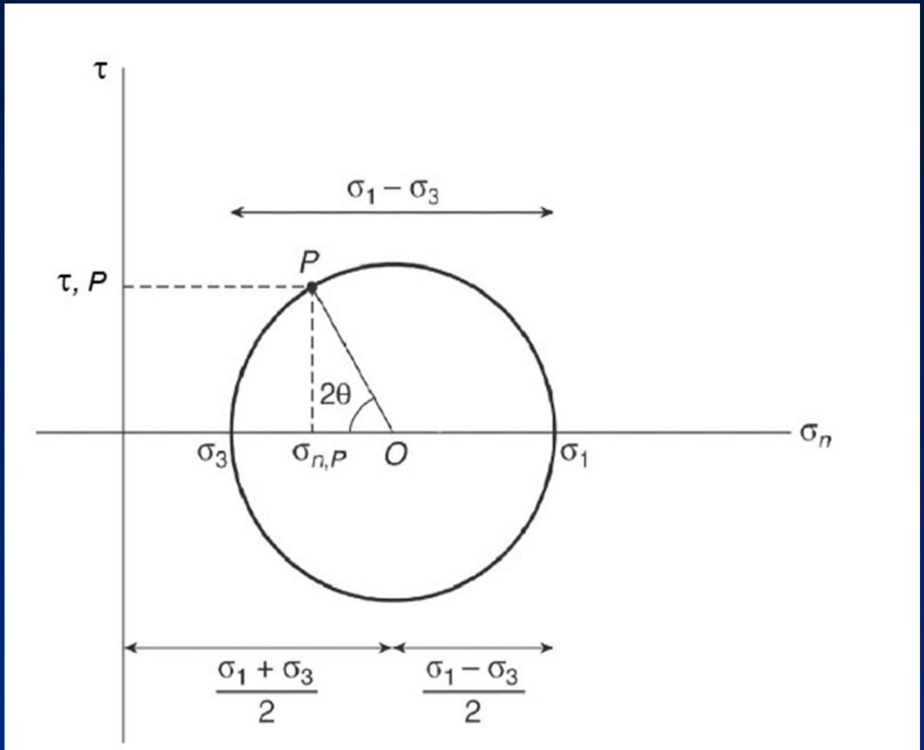


Da van der Pluijm & Marshak, 2004

$$\tau_R = C_0$$

Quale delle superfici all'interno del corpo sviluppa una frattura?
Primo approccio: legge di Coulomb





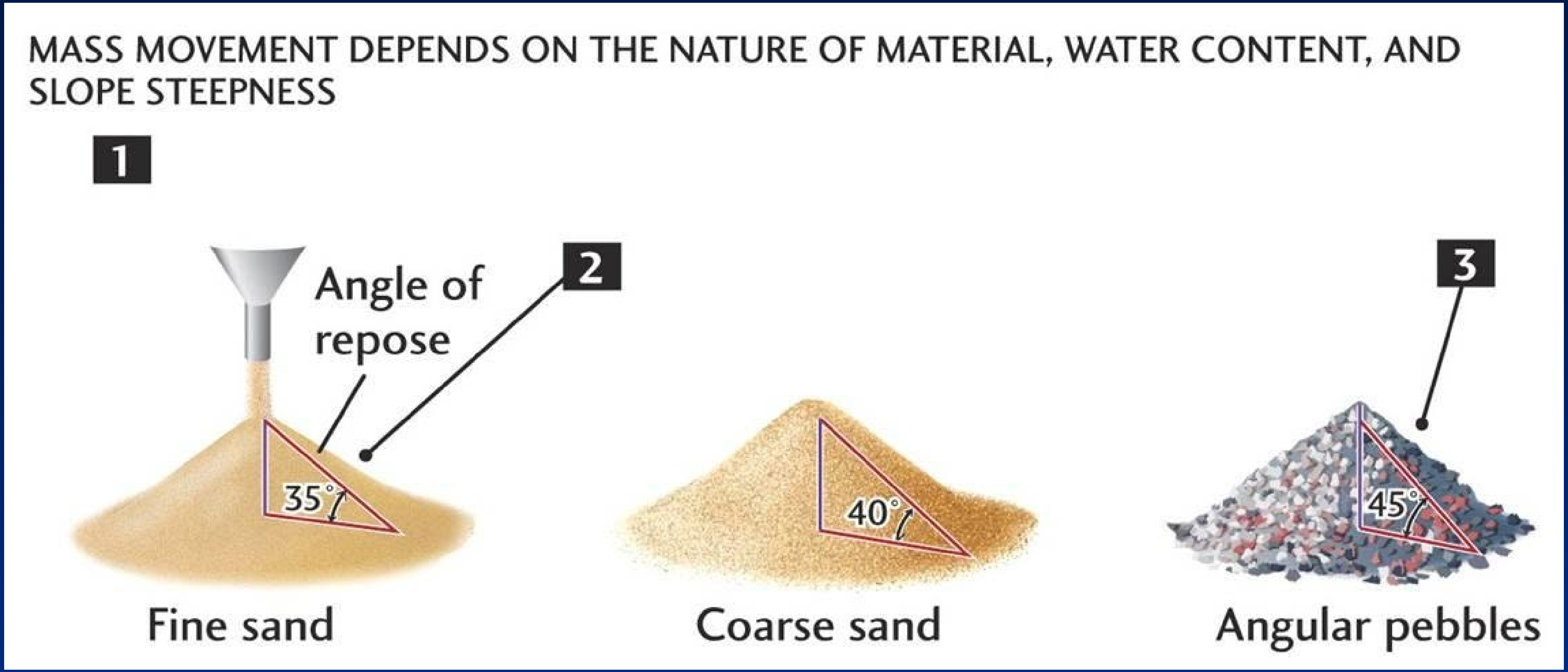
Da van der Pluijm & Marshak, 2004

$$\tau_R = C_0$$

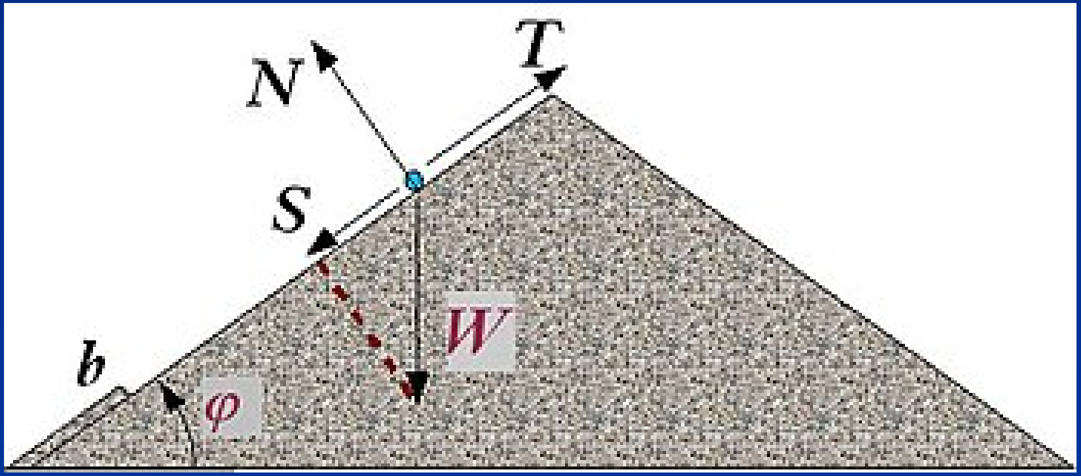
Seguendo la legge di Coulomb, la rottura dovrebbe avvenire con la condizione di τ massimo,
con che angolo rispetto al σ_1 ?

$$\tau_R = C_0 + tg\phi \cdot \sigma_N$$

Legge di Coulomb-Navier: l'influenza dello sforzo normale sul piano di rottura potenziale, unitamente all'angolo di attrito interno (ϕ) condiziona la propagazione iniziale della frattura e **cambia gli angoli**, da 45° a circa 30°.

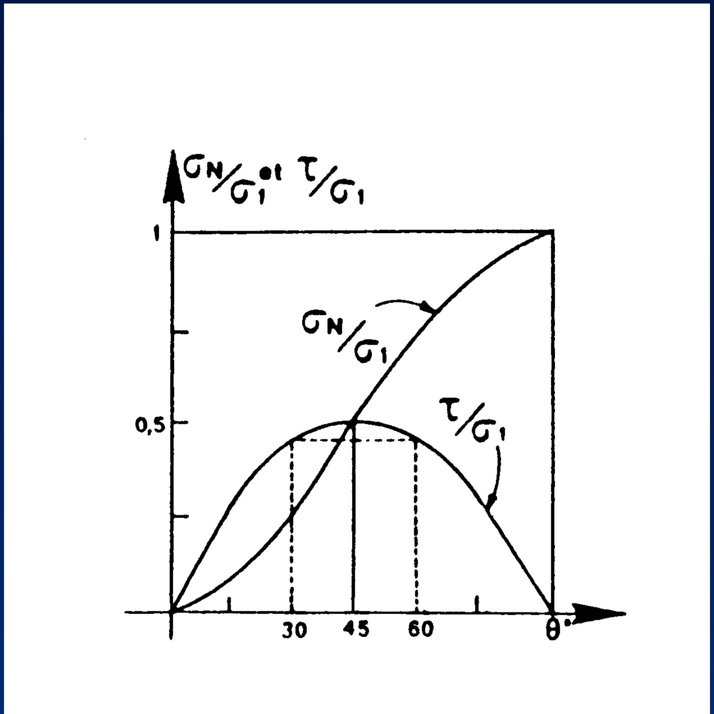


Angolo di attrito interno, ovvero angolo di scarpa(ta) o di riposo

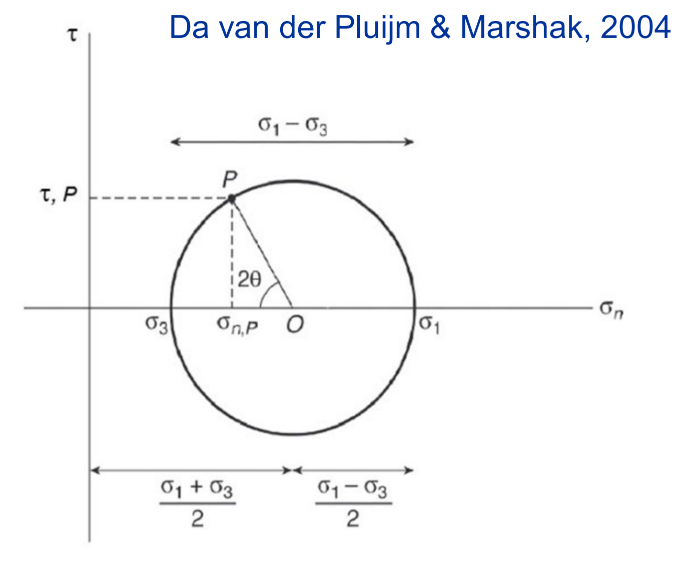


Coni di detrito, costa nord, Isola di Isfjorden, Svalbard, Norway.
Photograph taken by Mark A. Wilson (Department of Geology, The College of Wooster), Wikipedia Public Domain.

Da Mercier & Vergely, 1995



$$\tau_R = C_0 + tg\phi \cdot \sigma_N$$


Da van der Pluijm & Marshak, 2004

Legge di Coulomb-Navier: l'influenza dello sforzo normale sul piano di rottura potenziale, unitamente all'angolo di attrito interno (ϕ) condiziona la propagazione iniziale della frattura e **cambia gli angoli**, da 45° a circa 30°.

CERCHIO DI MOHR

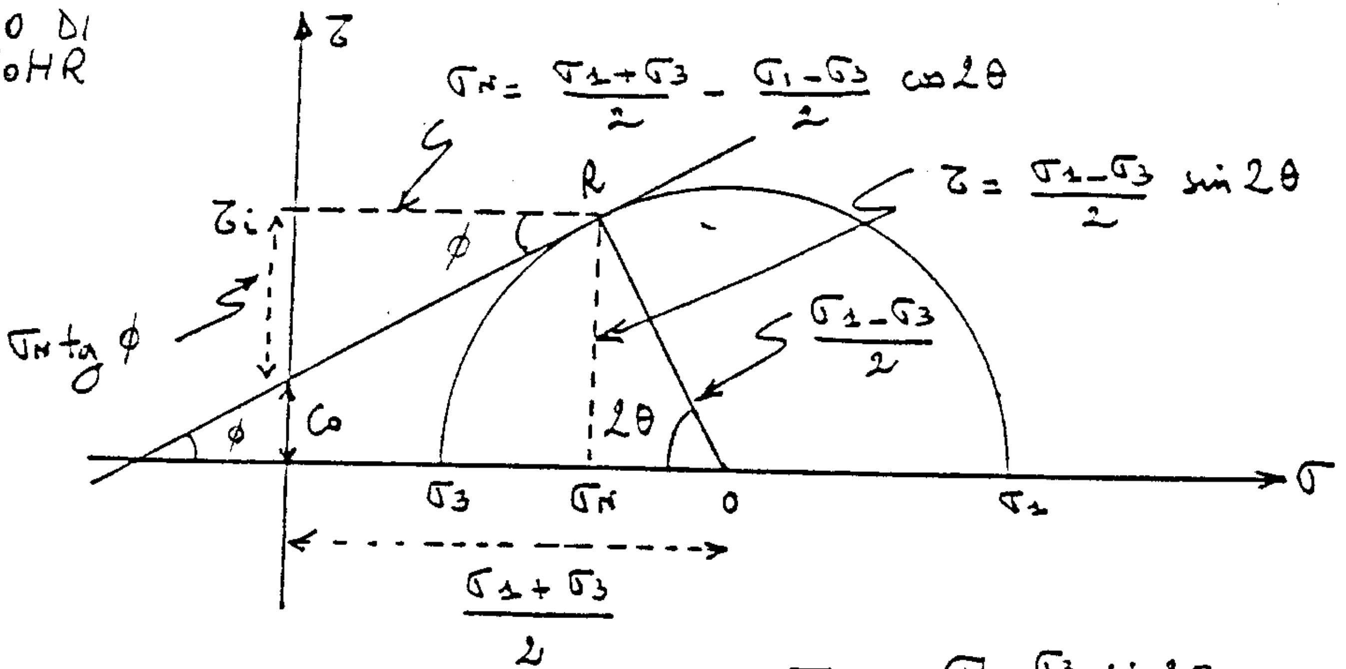


FIG. 2.9

DA MERCIER, CORSO SEMINARIALE A BOLOGNA, 1990

$$2\theta = 90° - \phi \longrightarrow \begin{aligned} \tau &= \frac{\sigma_1-\sigma_3}{2} \sin 2\theta \\ \sigma_N &= \frac{\sigma_1+\sigma_3}{2} - \frac{\sigma_1-\sigma_3}{2} \cos 2\theta \end{aligned}$$

$\sigma_1 - \sigma_3$ = diametro del cerchio

$$\boxed{\tau_R = C_0 + tg\phi\sigma_N}$$

Cerchio di Mohr
(A ROTTURA!!!)

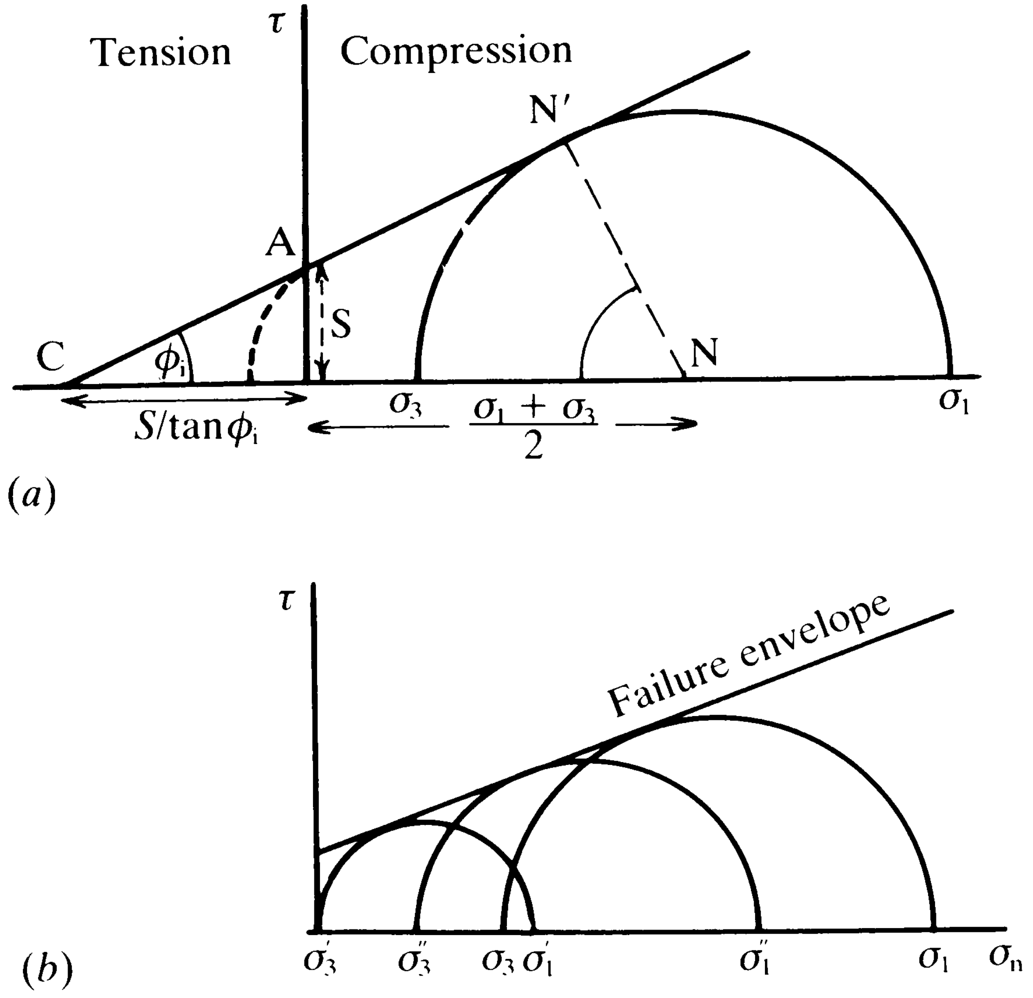


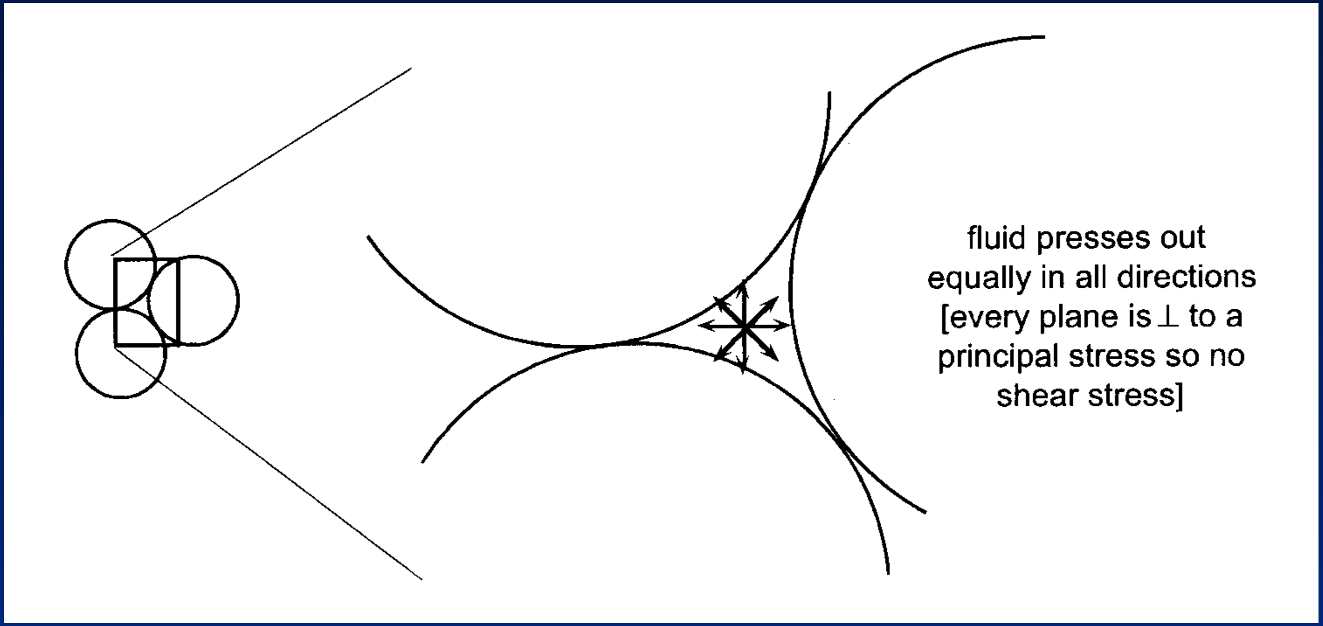
Fig. 1.51. Navier–Coulomb failure envelope (*a*) Failure envelope CAN′ is the graphical expression of the Navier–Coulomb failure criteria (Eq. (1.59)) in which it is assumed to be valid in both tension and compression. (*b*) Experimentally determined failure envelope in the compressive region.

Cerchio a rottura, da singola prova (fig a) e inviluppo da più prove (fig. b)

Se l'inviluppo è una retta, l'angolo 2q è costante nelle diverse condizioni dello stato di sforzo a rottura

Se l'inviluppo è una curva, l'angolo 2θ cambia

Da Price & Cosgrove, 1990



Pressione interstiziale dei fluidi (Pf)

Agisce in tutte le direzioni come il carico idrostatico. Non c’è sforzo di taglio perché ogni piano è ortogonale allo sforzo principale.

L’aumento di fluidi (per compattazione, metamorfismo, fusione) fa aumentare la Pf, abbassa la resistenza del materiale e favorisce la fratturazione (definendo un comportamento più fragile).

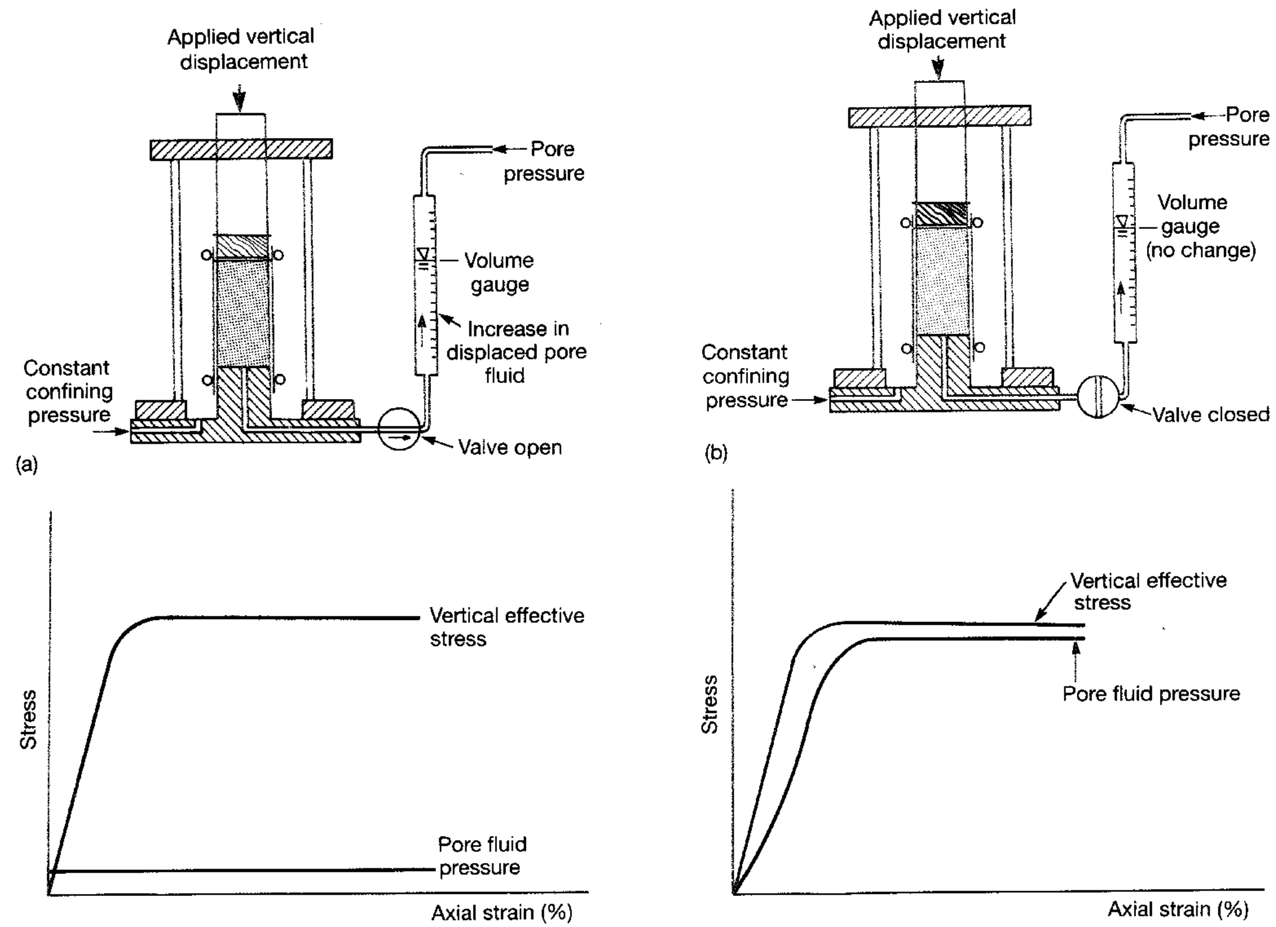


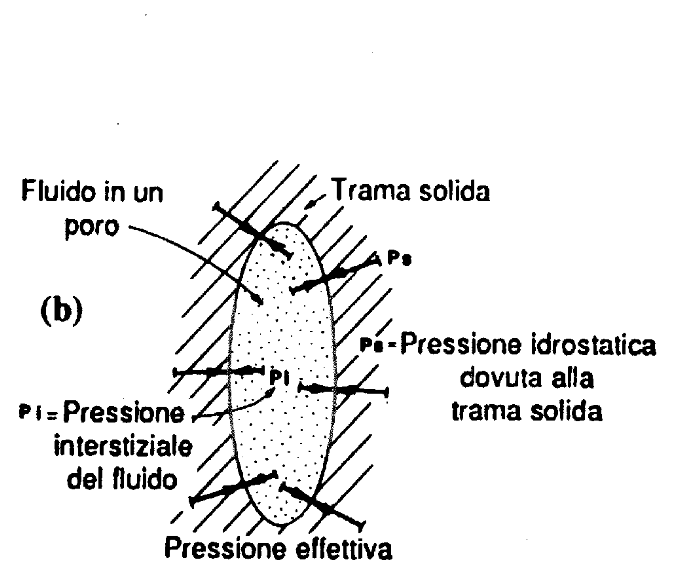
Figure 2.26 (a) Schematic representation of a drained triaxial experiment. (b) Schematic representation of an undrained triaxial experiment.

Figure 2.26 *Contd.*

Da Maltman, 1994

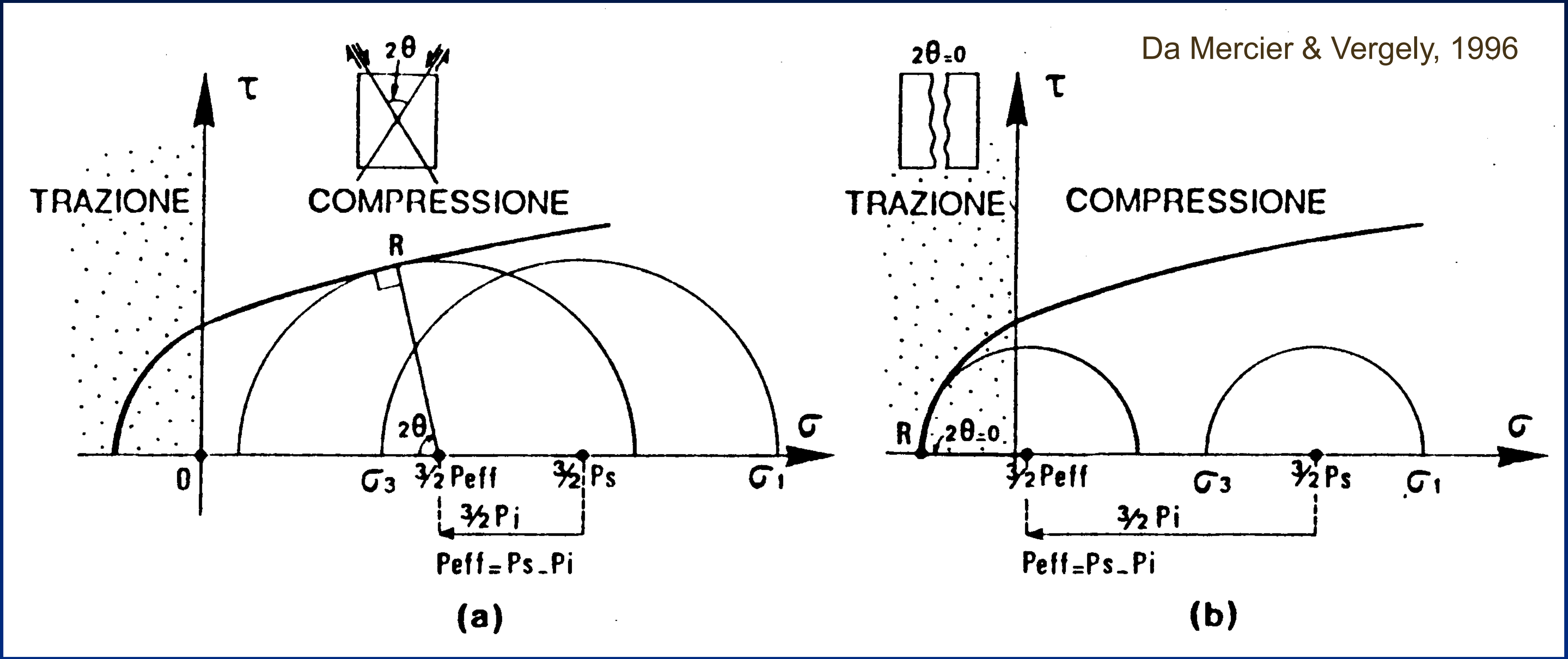
Criterio di rottura di Coulomb-Navier, modificato da Terzaghi: Influenza della pressione dei fluidi interstiziali (Pf)

$$\tau_R = C_0 + tg\phi(\sigma_N - Pf)$$



Da Mercier & Vergely, 1996

Sforzo (o pressione) efficace: σ_N-Pf



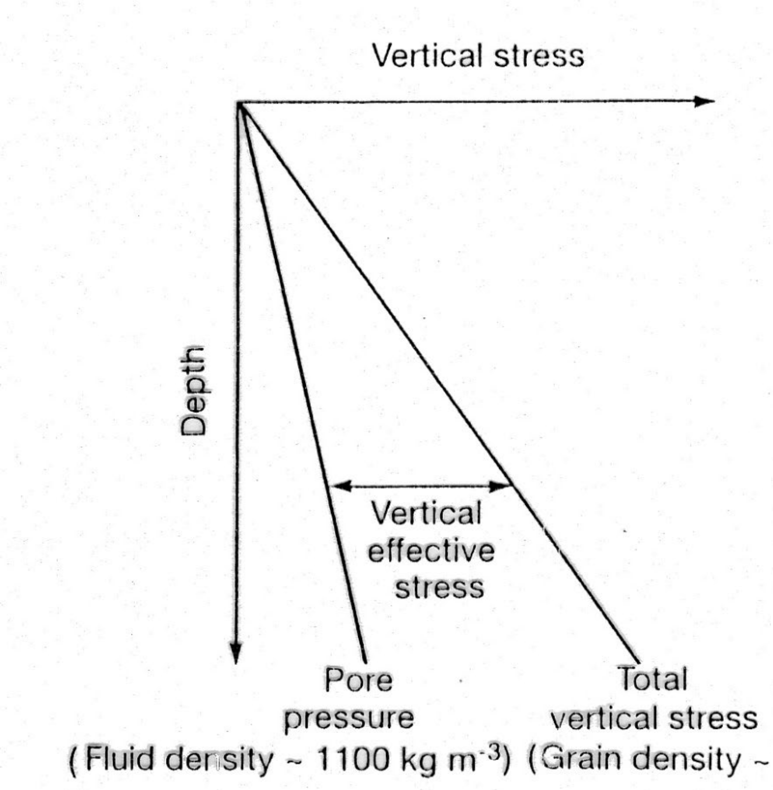
Sforzo efficace ancora elevato (σ_3 efficace ancora nel campo positivo)

Sforzo efficace basso ($\sigma 3$ negativo).

Angolo $2\theta = 0$

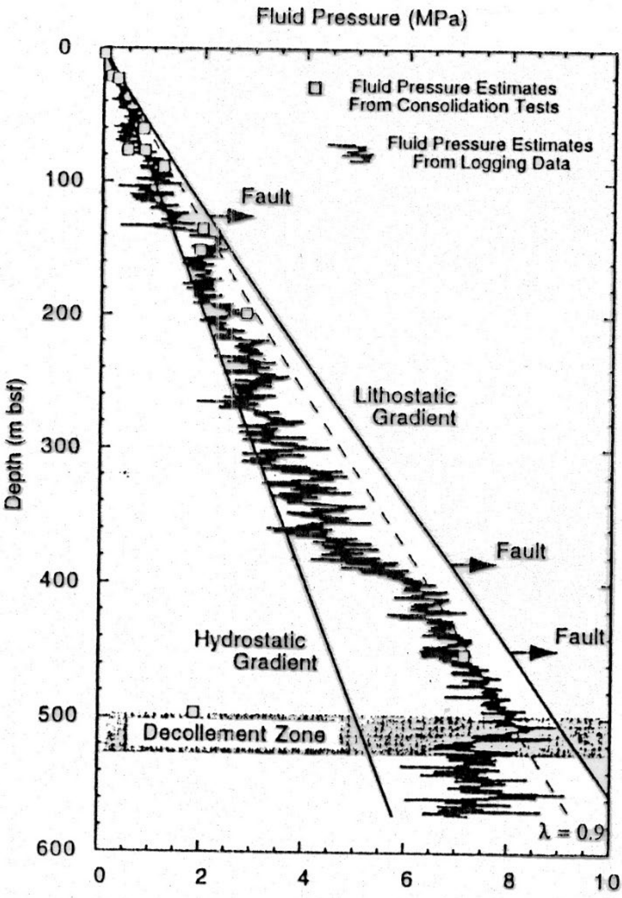
"idrofratturazione"

Curve teoriche (di fianco) e reali (sotto) di aumento della pressione dei fluidi intestiziali con la profondità



Da Maltman, 1994

Figure 4. Fluid-pressure curve from logging data. Note high values adjacent to and below faults. Two spikes indicate extremely high fluid-pressure values in decollement zone. Fluid-pressure estimates from consolidation tests are derived from analysis of individual samples cored at Site 671; note good agreement with log-derived fluid pressures.



Da C. Moore et al., 1995, Geology

Curve reali di aumento della pressione dei fluidi intestiziali con la profondità: potenziale dei fluidi e sforzo effettivo

Da Maltman, 1994

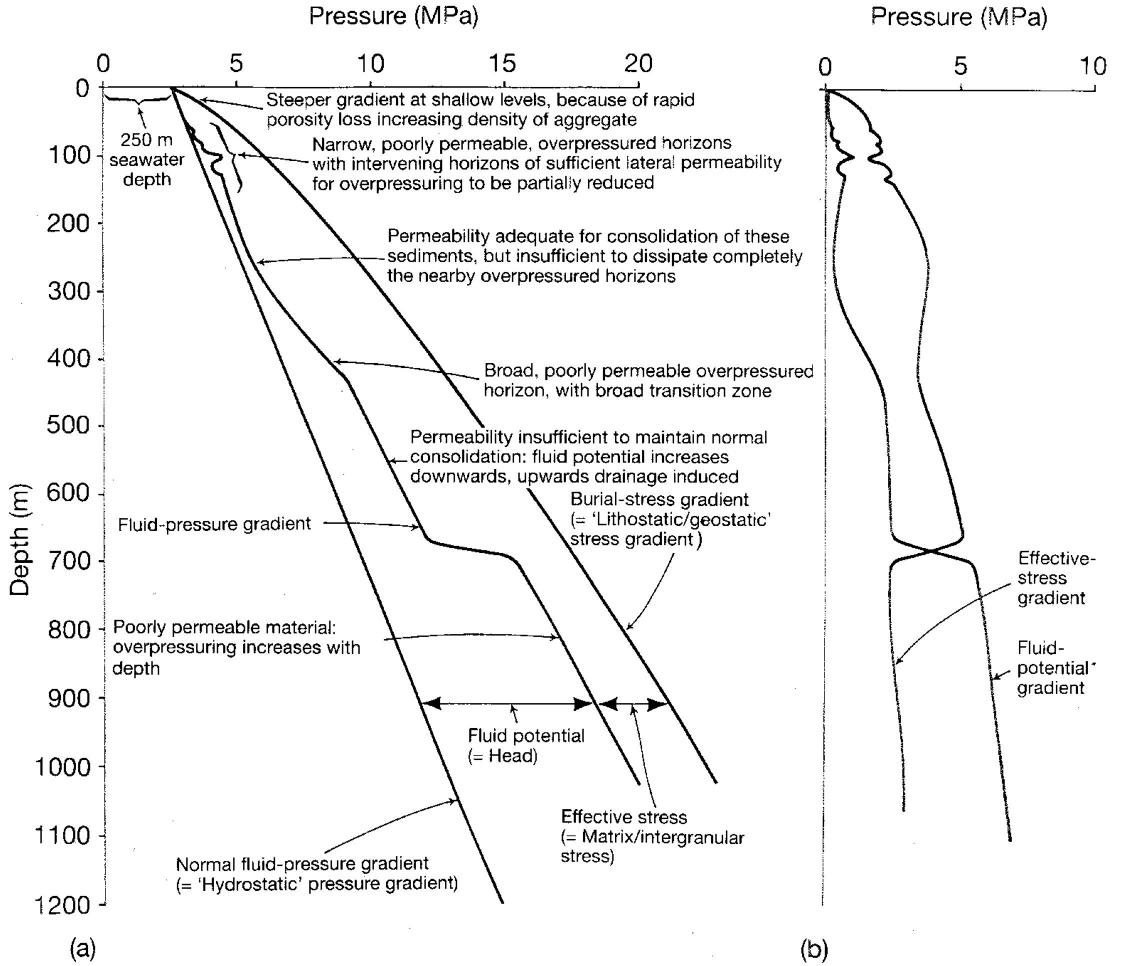


Figure 1.4 Patterns of pressure increase with depth. (a) Rates of increase of pressure and stress due to burial. The gradient for normal fluid pressure is based on an overlying seawater depth of 250 m and a constant fluid density in the entire column of 1025 kg m^{-3}. The burial-stress gradient is based on a grain density of 2650 kg m^{-3} and a porosity decrease with depth following the average values for sand–silt–clay of Einsele (1989). The hypothetical fluid-pressure gradient shown here illustrates the kinds of effects that can arise in a sequence of varied sediments. Compare with Figure 7.5. (b) Effective-stress gradient and fluid-potential gradient derived from the curves in (a). Note that the fluid potential and its gradient should properly be expressed in units of metres (the height that could be supported by a column of specified fluid, normally water or mercury) rather than pascals. The fluid potential, or total head (*H*), is here a pressure head (Φ), arising from the excess fluid pressure ($P_{H_2O_e}$). See Figures 7.1 and 7.2, and section 7.2 for further explanation. (From Maltman (1994) Reproduced with permission of Pergamon Press.)

Riattivazione dei piani di frattura (faglia) esistenti (comportamento elastico-frizionale)

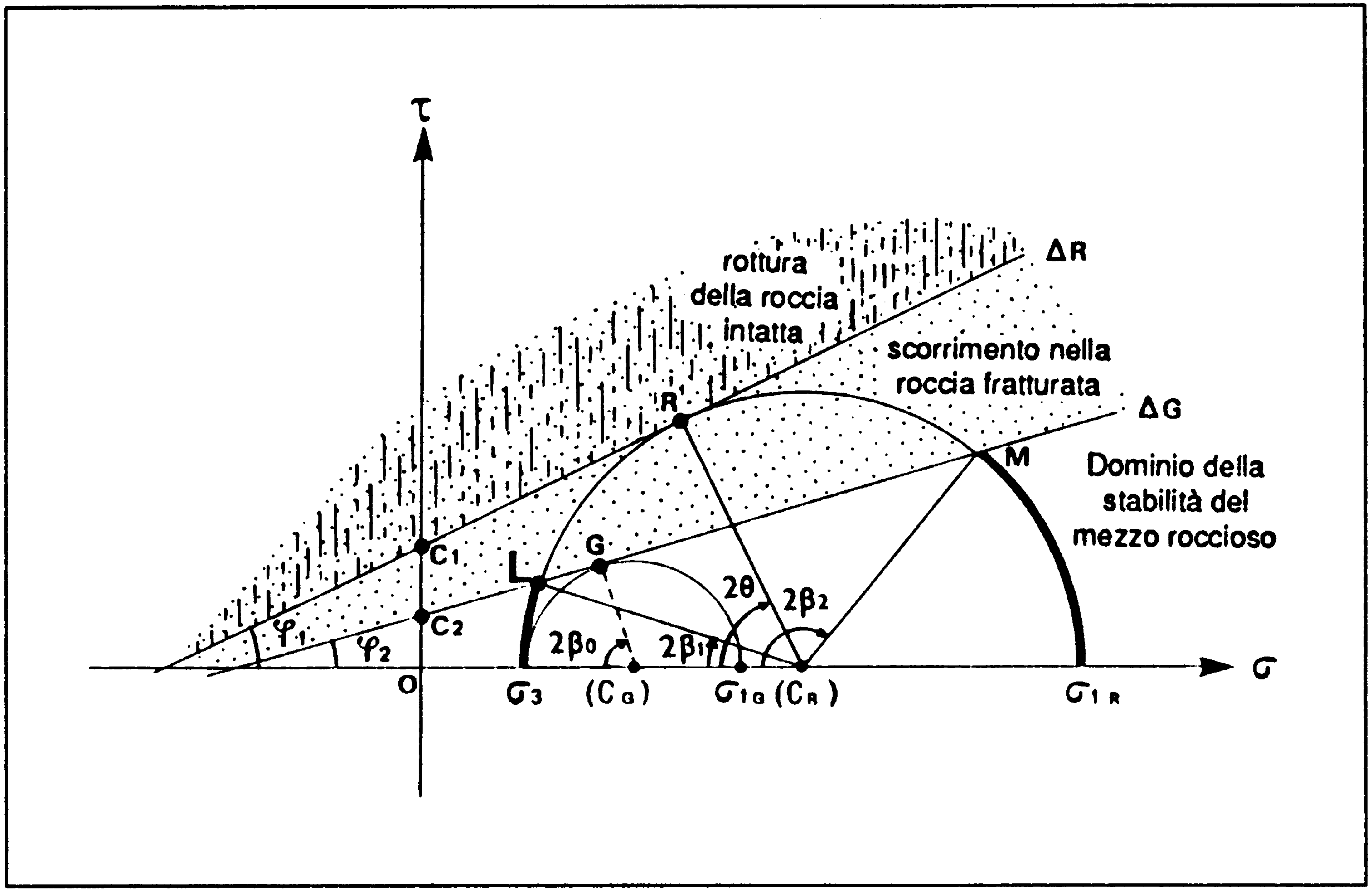
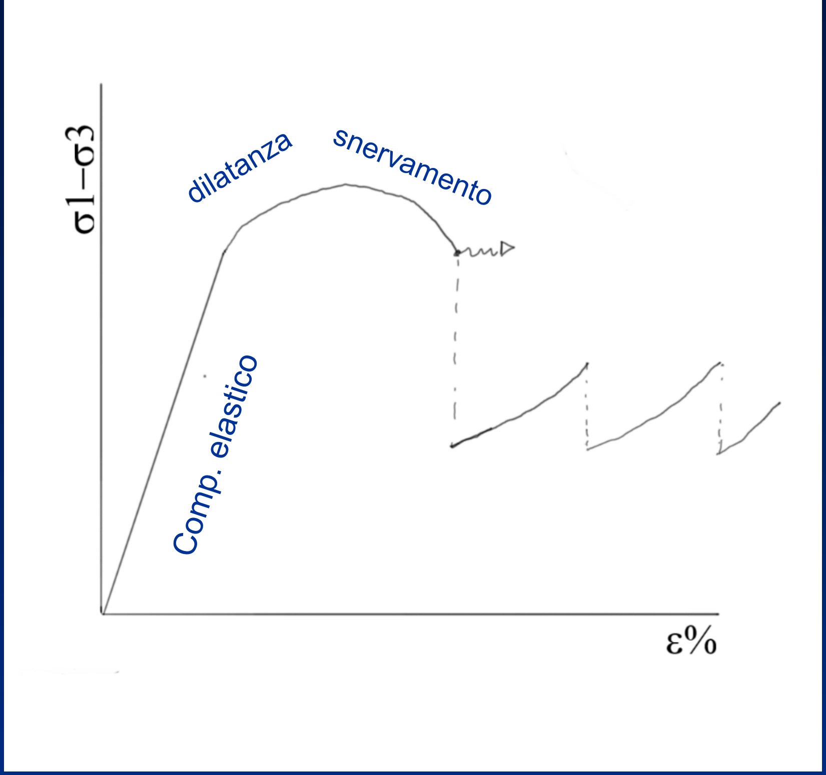
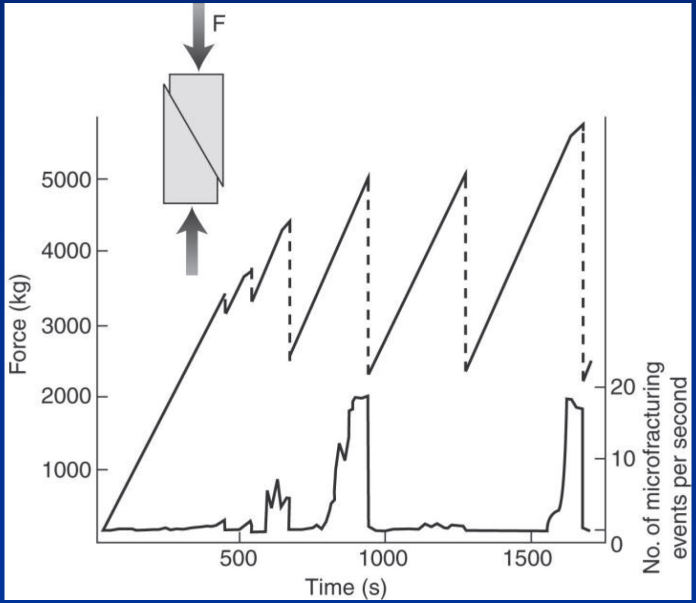


Figura 5.4. Rappresentazione mediante il cerchio e l'inviluppo di Mohr delle condizioni di scorrimento lungo un piano preesistente.

Da Mercier & Vergely, 1996

Plasticità post-fratturazione: Comportamento sismico (stick-slip)

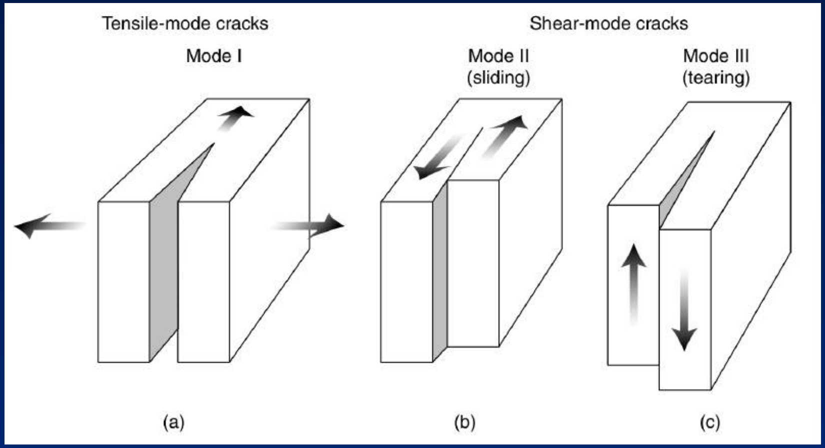




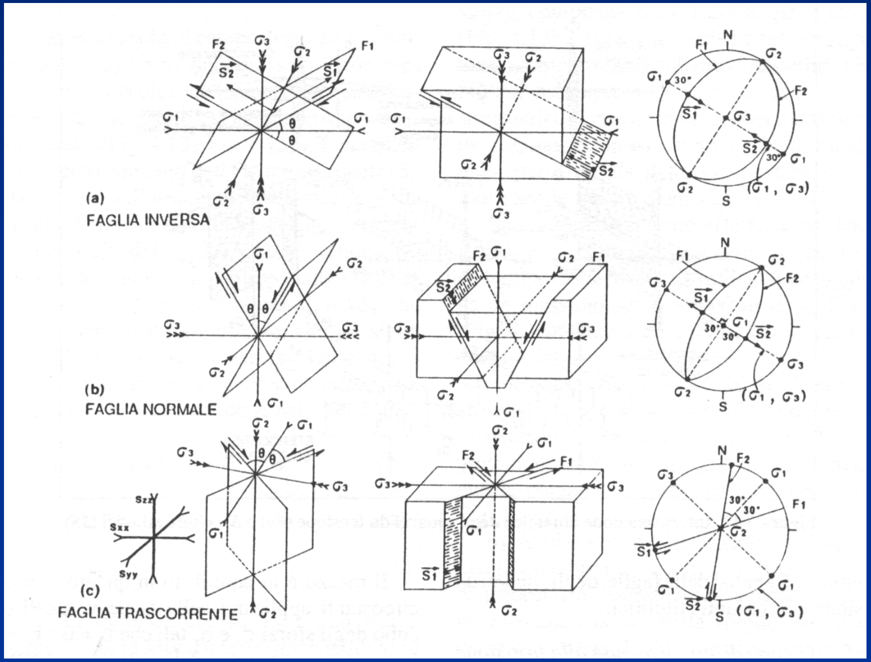
Da van der Pluijm B., Marshak S., 2004

Origine delle strutture fragili:
piani di discontinuità effettiva della roccia

E dopo?



Da van der Pluijm B., Marshak S., 2004



Da Mercier & Vergely, 1996

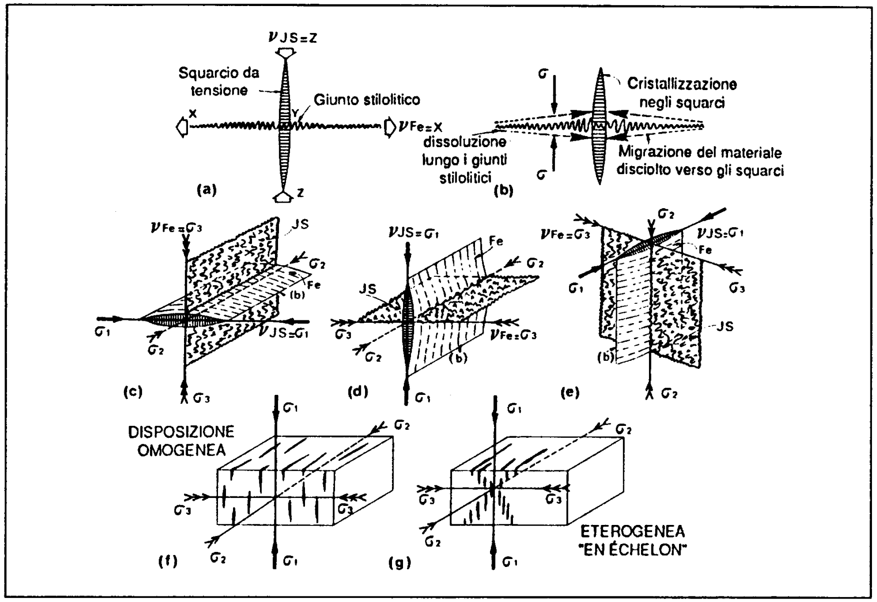


Figura 4.14. Interpretazione dinamica degli squarci da tensione (Fe) e dei giunti stilotici (JS).

Da Mercier & Vergely, 1996