

# **REOLOGIA crosta- mantello**

La **Litosfera** comprende:

- la Crosta
- e la porzione di mantello più superficiale.

Al contatto **Crosta-Mantello** litosferico si verifica un **aumento di velocità** delle onde sismiche

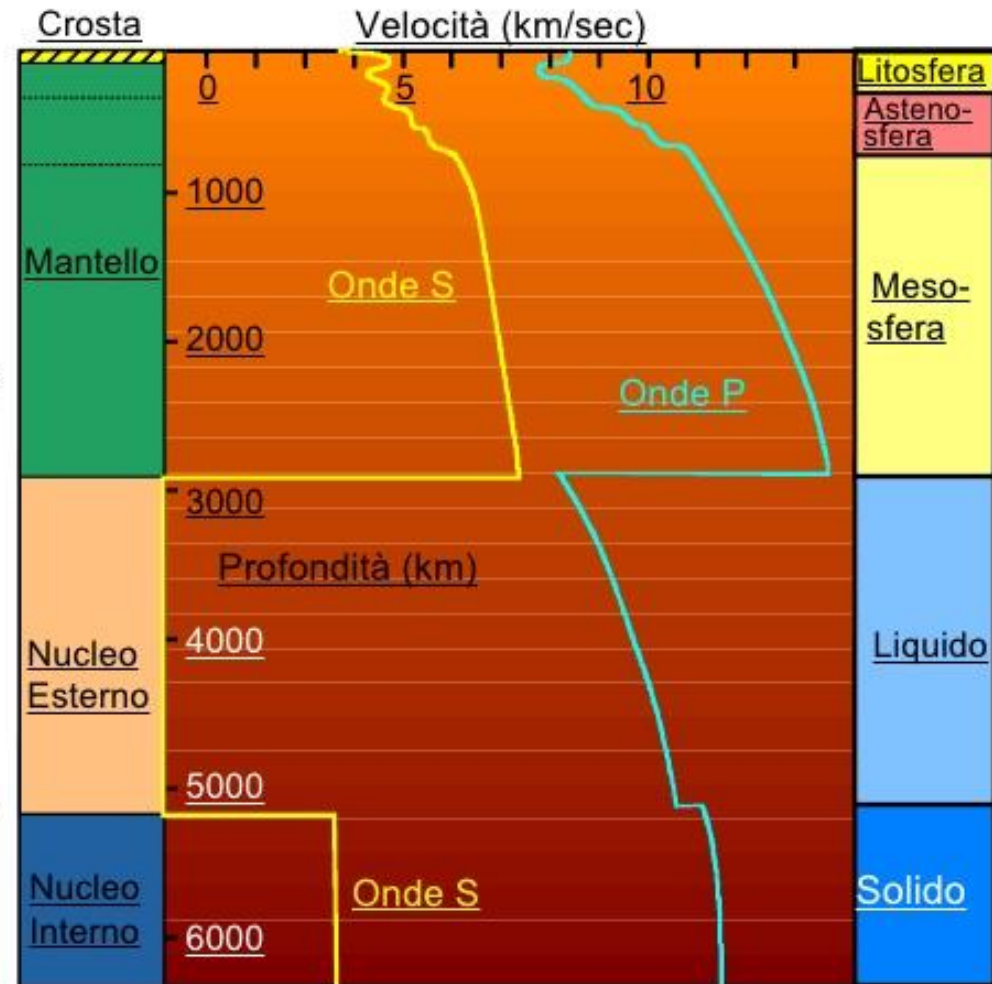
Al contatto **Litosfera-Astenosfera** si verifica una **diminuzione di velocità** delle onde sismiche (astenosfera parzialmente fusa)

Nella figura

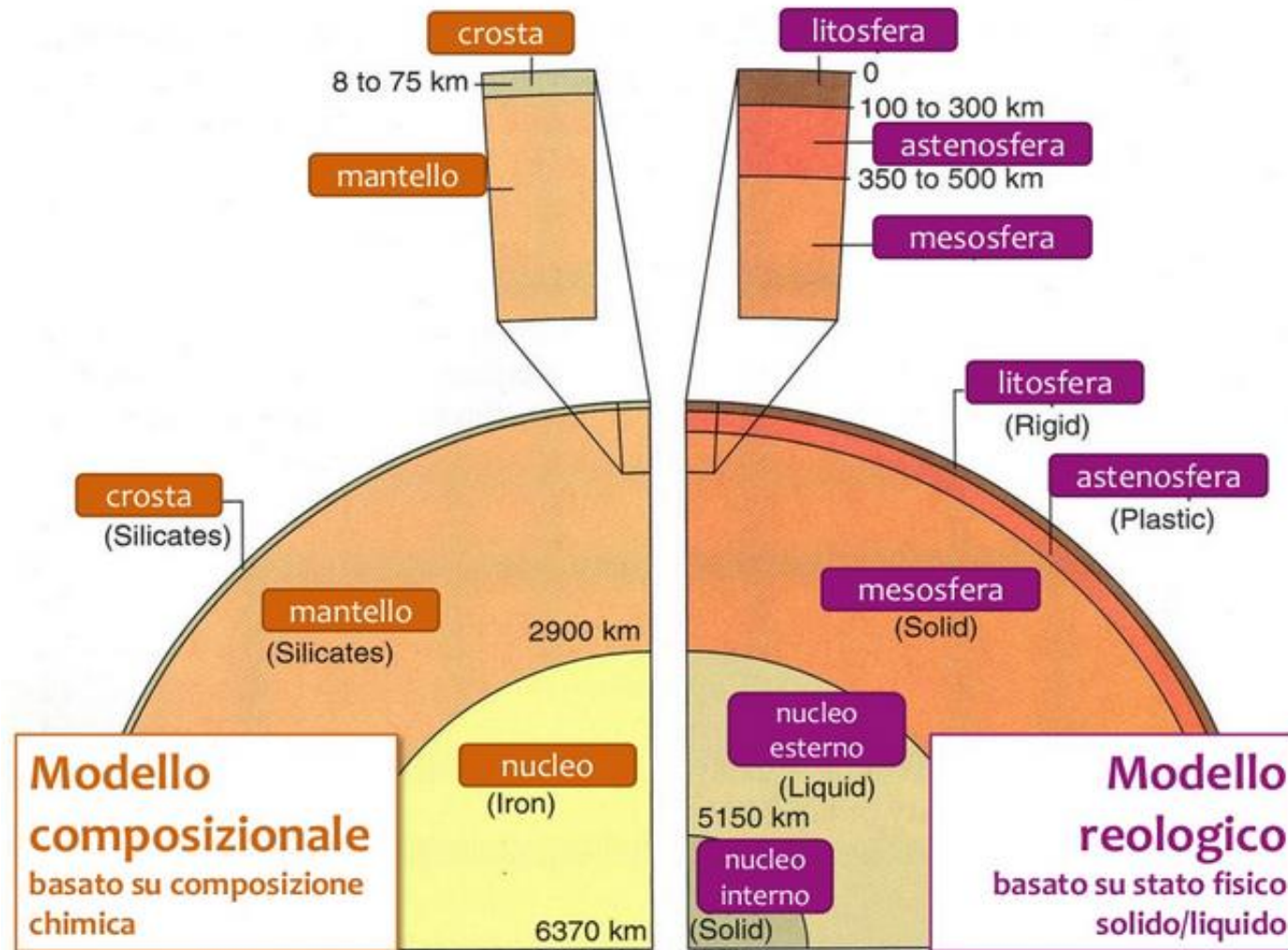
**Al centro:** variazione delle velocità delle onde P ed S con la profondità.

**a sinistra:** suddivisioni composizionali della Terra;

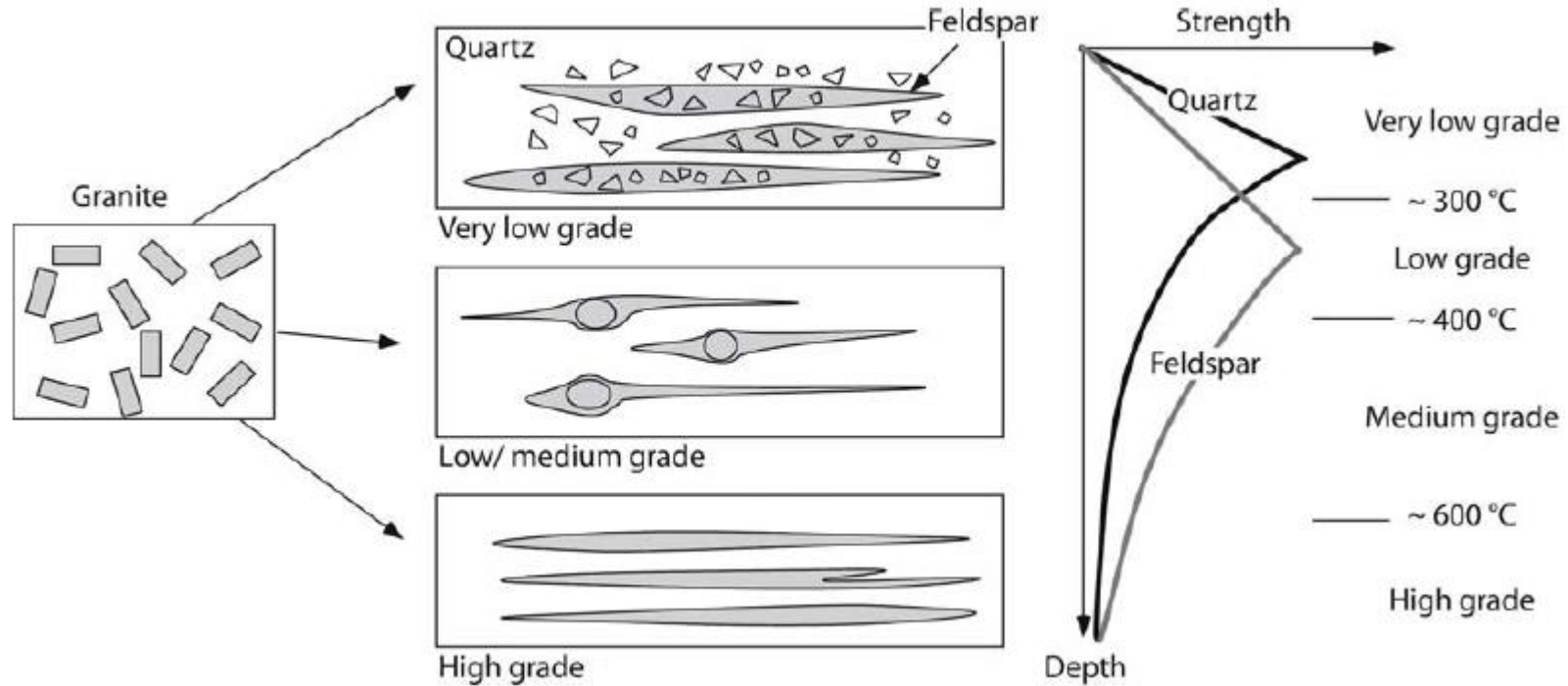
**a destra:** suddivisioni reologiche



La reologia (dal greco scorrere) è la disciplina che studia le proprietà di scorrimento dei materiali.

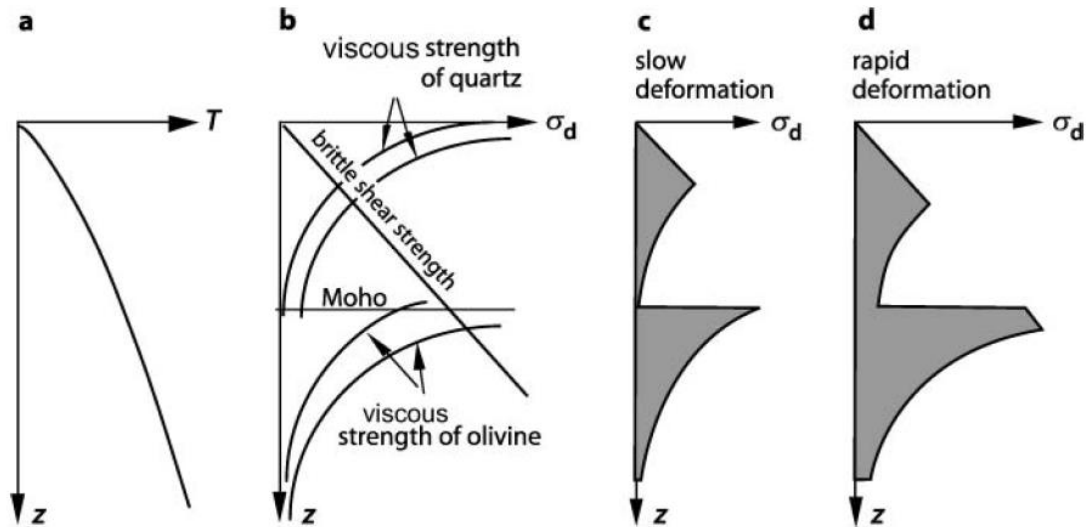


La reologia varia in maniera differente al variare di P e T per ogni minerale!!!!



La **reologia** è la scienza che studia le caratteristiche di flusso dei materiali. In generale il termine è usato per descrivere il comportamento deformativo dei materiali (rocce) indipendentemente se la deformazione è da flusso o è fragile. La reologia descrive la relazione tra le forze e i moti, e tra stress e strain.

I differenti comportamenti reologici della crosta continentale e quella oceanica o della litosfera e del mantello sono messe in relazione alle forti eterogeneità che contraddistinguono questi elementi.



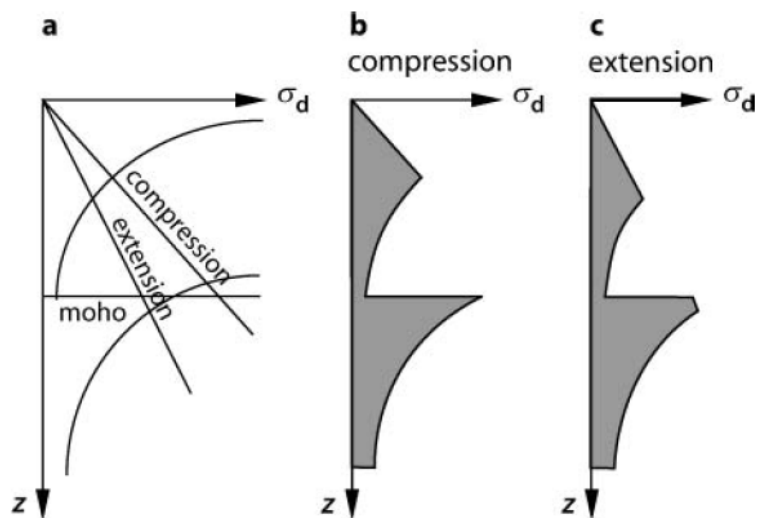
Negli anni 70 Brace e Goetze proposero un modello reologico molto semplice della litosfera terrestre. I profili della resistenza delle rocce con la profondità sono formati da due curve: le linee sono per la frattura fragile e le curve per la deformazione duttile.

I profili mostrano la resistenza al crescere della profondità. Per il comportamento duttile la resistenza decresce in maniera esponenziale perché la temperatura cresce con la profondità quasi linearmente mentre la viscosità per un dato minerale decresce esponenzialmente con la temperatura. A più alte velocità deformative si avranno resistenze più grandi.

I profili ci dicono che per la crosta superiore (livelli superficiali) le rocce si deformano in modo fragile mentre nella crosta inferiore prevale la deformazione duttile. La profondità in cui la resistenza fragile e viscosità sono uguali è detta transizione fragile-duttile. Nota che questa profondità varia in funzione dello strain-rate.

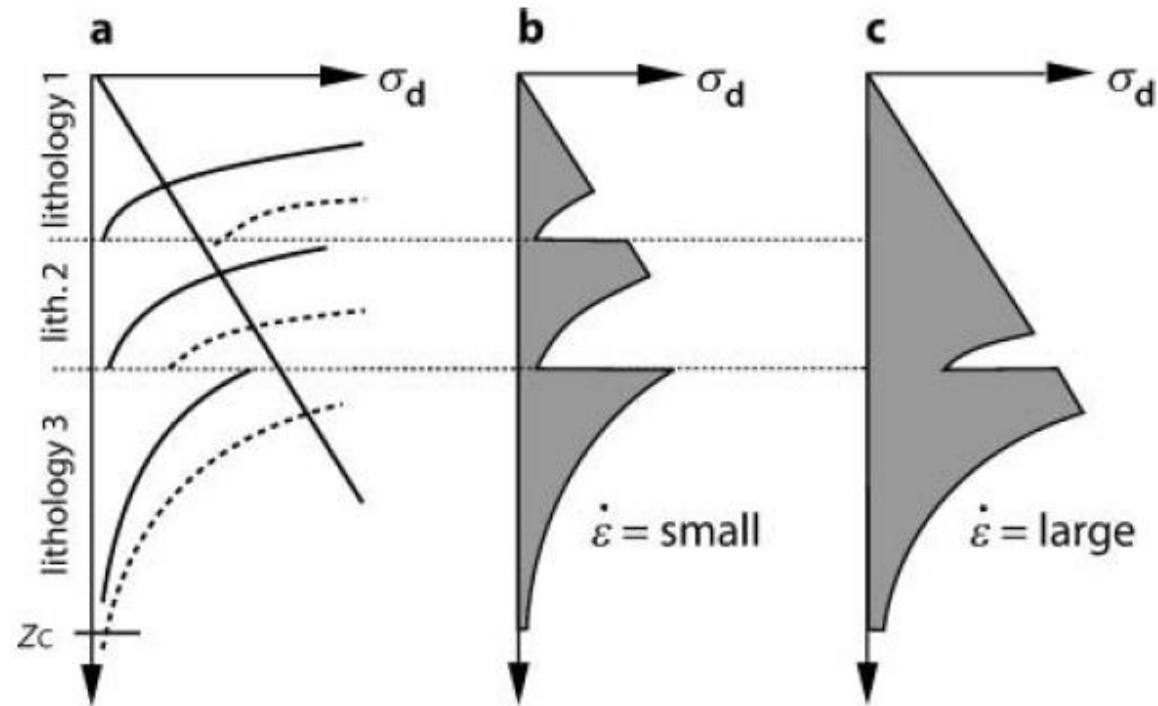
Le rocce della crosta sono dominate dal quarzo mentre quelle del mantello da olivina. Come si vede dal profilo ci sono due massimi di resistenza, uno posto nella crosta intermedia ed uno nel mantello superiore (modello jelly - sandwich).

Questo modello ha numerose elementi che corrispondono a osservazioni naturali. Confrontando i due profili a differenti strain-rate si può notare come a basse velocità deformative l'intera litosfera sotto la transizione fragile-duttile si deforma in modo duttile, mentre ad alte velocità il mantello superiore si deforma in modo fragile.



La transizione tra comportamento fragile e duttile nel mantello può avvenire anche per diminuzione della resistenza fragile come ad esempio durante la transizione tra compressione ed estensione.

**Variazioni nello strain-rate** di un orogene possono provocare variazioni della stratificazione reologica della litosfera come mostrato in figura.



A basse velocità ci sono tre massimi della resistenza mentre ad alte velocità solo due. Questi punti di debolezza possono essere i nuclei per la formazione di thrust regionali.

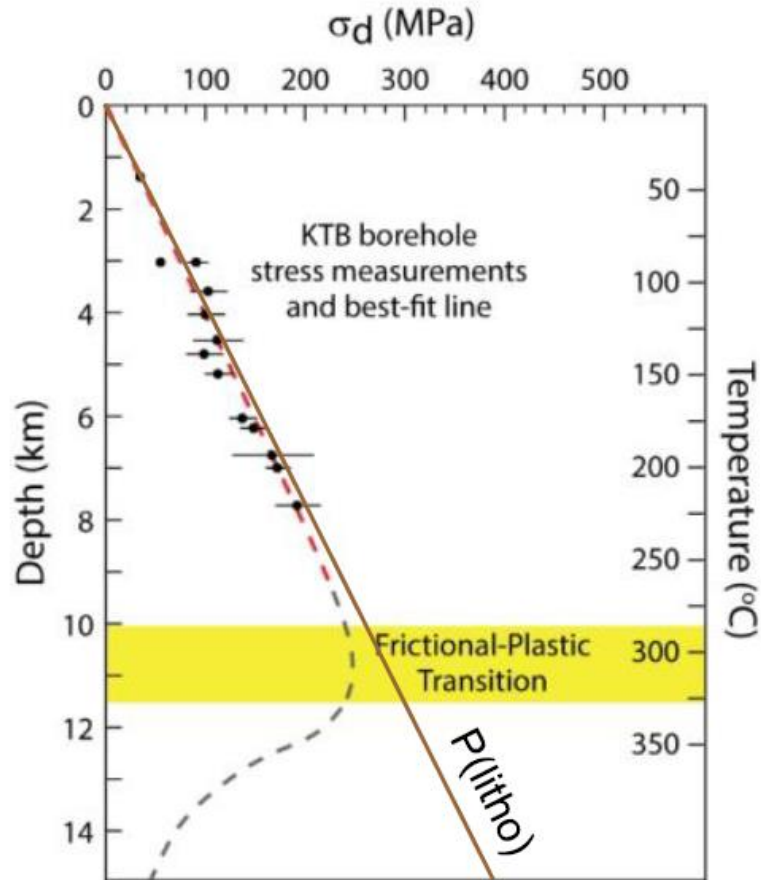
Quindi è possibile che lo spessore delle falde in una litosfera stratificata sia funzione dello strain rate.

Anche **variazione del gradiente geotermico** (che influenza la viscosità) può modificare il profilo della resistenza con la profondità, così come lo **strain-hardening** e il **metamorfismo**.

Durante il metamorfismo (progrado) e la deformazione possono variare sia la mineralogia sia la granulometria. Perciò è plausibile che una roccia abbia una resistenza più alta al taglio rispetto a prima. Per esempio un micascisto a granato è più resistente della sua roccia di partenza ovvero un'argilla.

Questo è un aspetto cruciale nell'estensione post-orogena, in generale si pensa che gli stress necessari per l'estensione di un orogene siano minori di quelli richiesti per il suo raccorciamento. Questo è basato sul fatto che la deformazione fragile richieda stress più piccoli in tensione che in compressione.

Tuttavia questo è contrastato dal fatto che la crosta può aumentare la sua resistenza attraverso il metamorfismo e quindi possibile che ci vogliono stress maggiori per estendere un orogene che per costruirlo!



KTB, Germany  
(9100m)

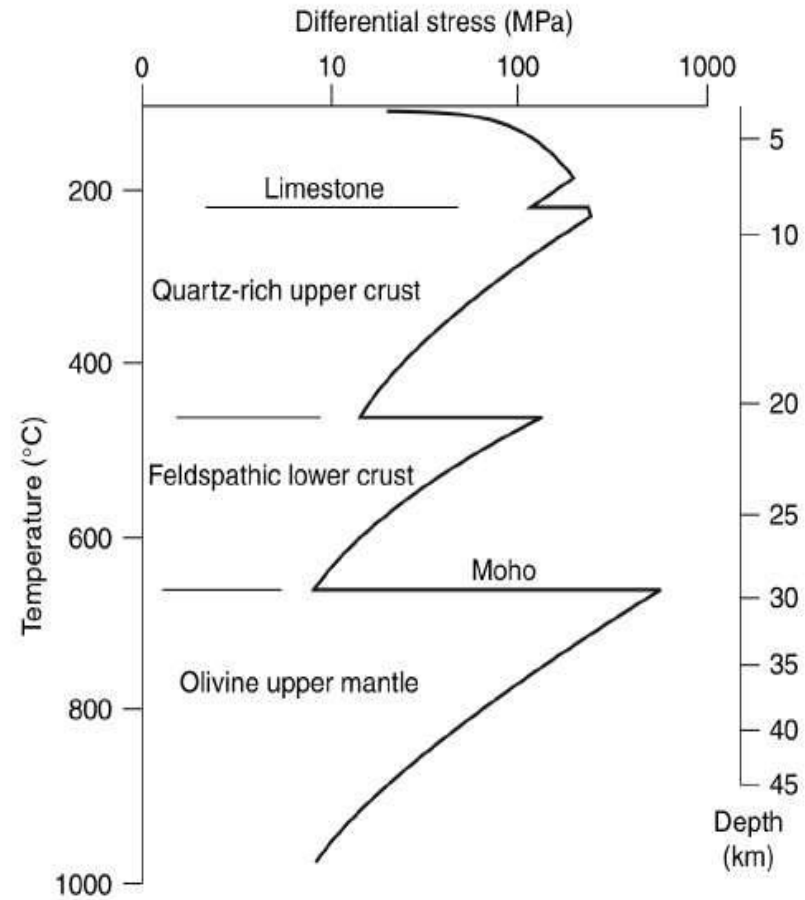


$$P(litho) = \rho \cdot g \cdot h$$

$\rho$  (density) is  $2700 \text{ kg/m}^3$ ,  $g$  (gravity) is  $9.8 \text{ m/s}^2$ , and  $h$  (depth) is  $1000 \text{ m}$ ,  $P(litho) \approx 27 \text{ MPa}$  (or 800 bars)

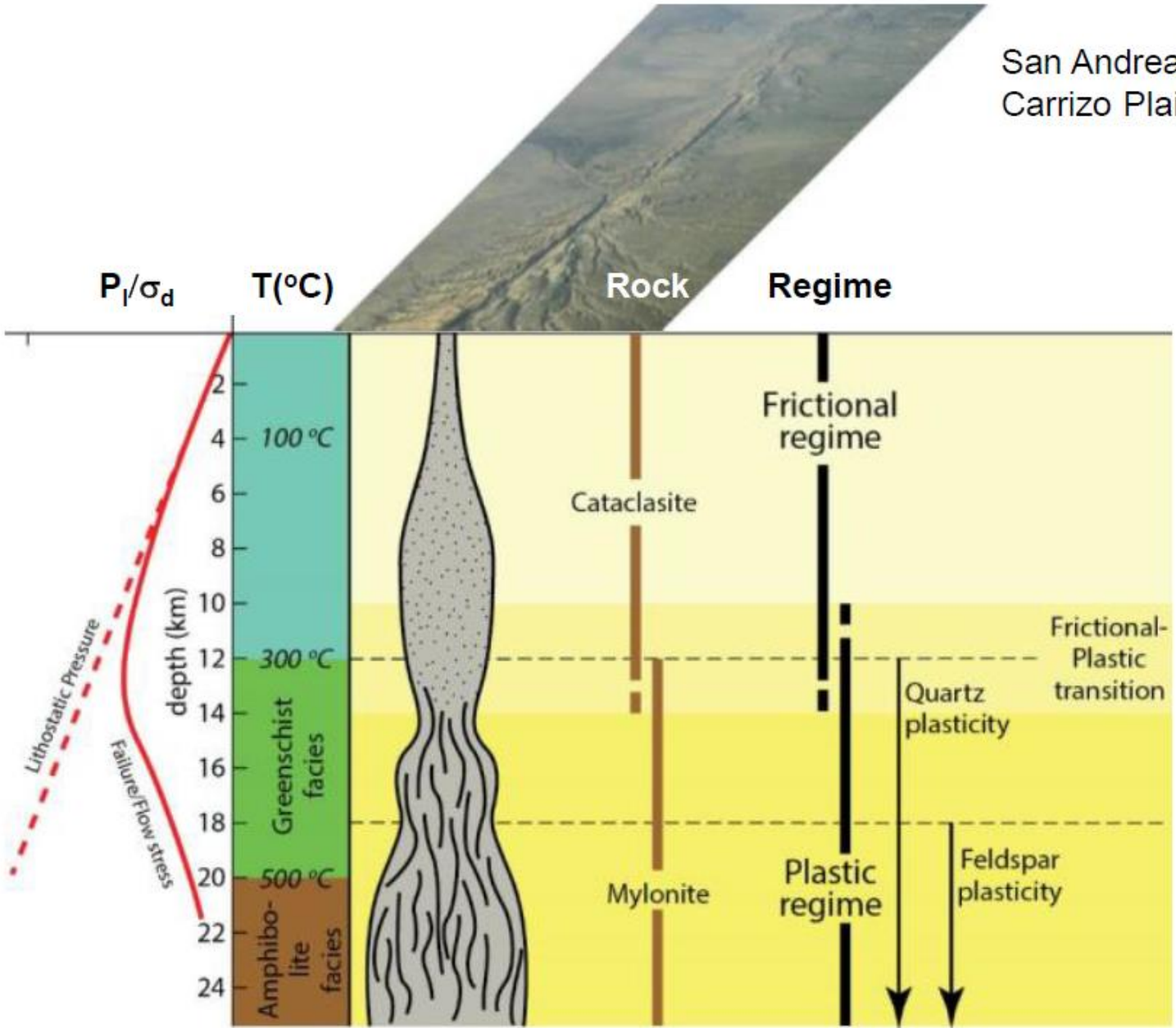
For every kilometer in Earth's crust, isotropic **lithostatic pressure** increases by approximately 27MPa (or 100Mpa=1kbar per  $\sim 3.3 \text{ km}$ ).

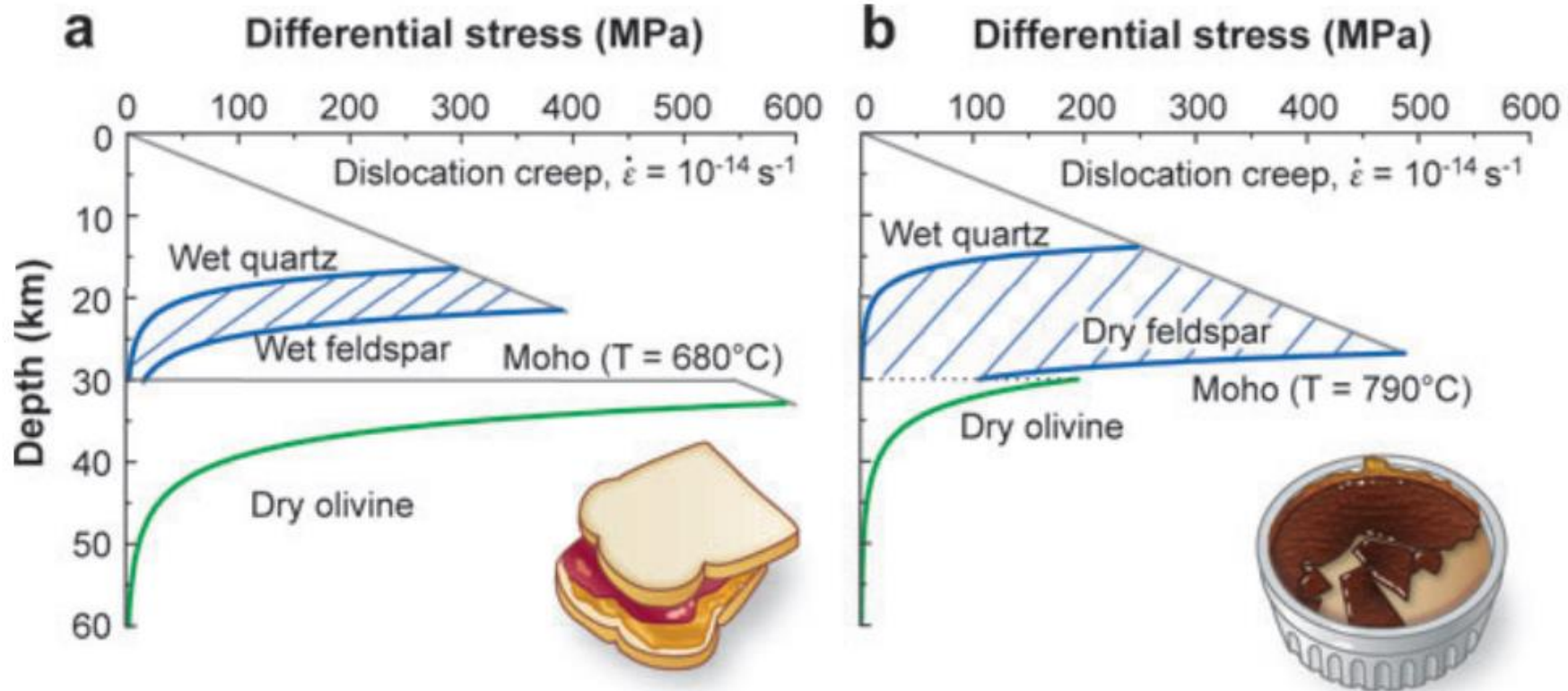
Instead, non-isotropic **differential stress** ( $\sigma_d = \sigma_1 - \sigma_3$ ) is smaller, increasing to a few hundred MPa until dropping at Frictional-Plastic Transition (see later).



**FIGURE 5.20** Rheologic stratification of the lithosphere based on the mechanical properties of characteristic minerals. Computed lithospheric strength [i.e., the differential stress] changes not only as a function of composition, but also as a function of depth [i.e., temperature].

San Andreas Fault,  
Carrizo Plain



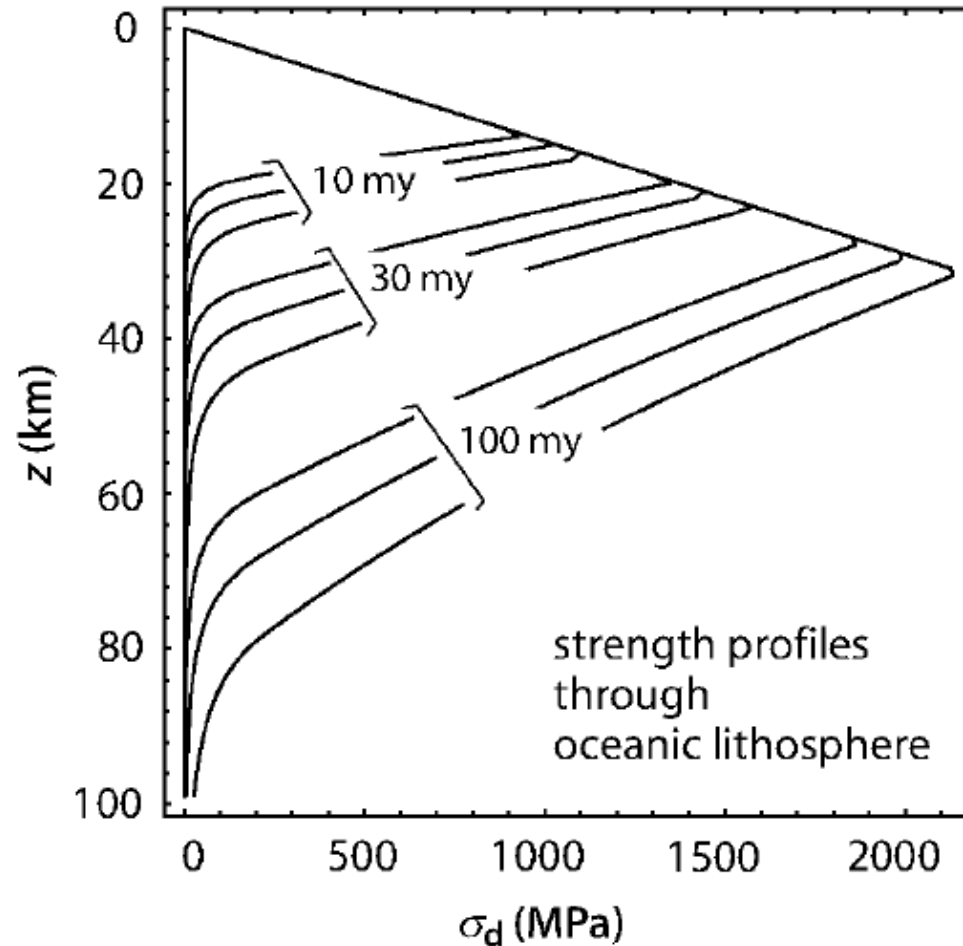


**Jelly Sandwich VS Creme Brulée**

## Reologia della litosfera oceanica

Le assunzioni fatte per il calcolo della resistenza della litosfera continentale sono ancora valide, tuttavia ci sono delle importanti differenze. Il gradiente geotermico dipende dal tempo e non ci sono sorgenti radiogeniche. Non c'è praticamente quarzo nella litosfera oceanica e quindi la reologia è largamente dominata dall'olivina.

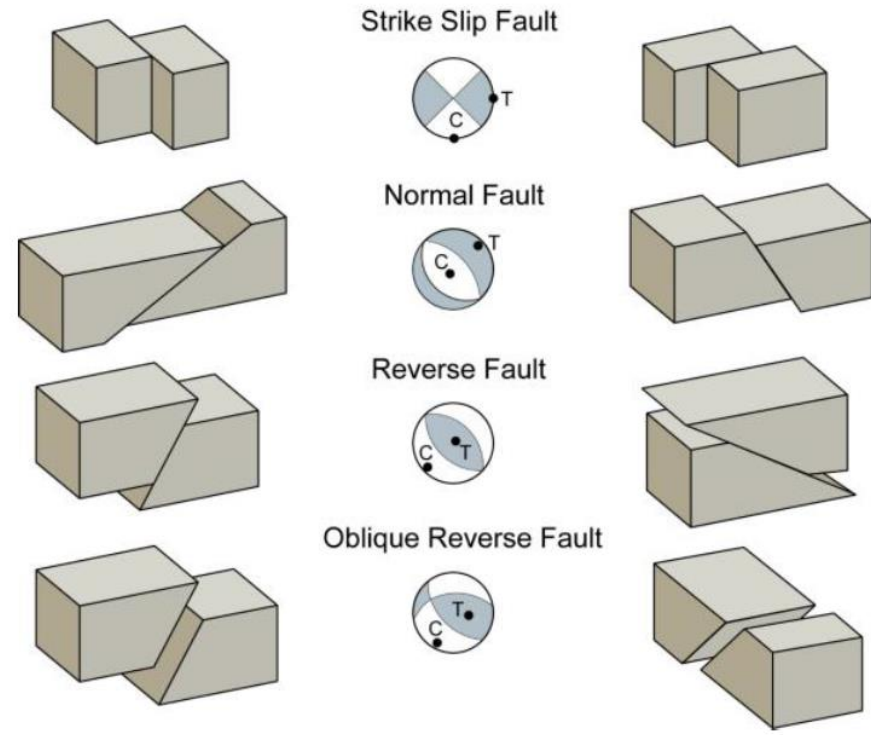
**Figure 5.20.** Strength profile through the oceanic lithosphere at ages of 10, 30 and 100 my. For each of these ages, stresses were calculated for three strain rates of  $\dot{\epsilon} = 10^{-16}$ ,  $10^{-14}$  and  $10^{-12} \text{ s}^{-1}$ . For each age, the curve for the highest strain rate has the largest strength. The temperature profiles needed to calculate the stresses were calculated using eq. 3.80; for the rheological data the values of Table 5.3 and 5.4 were used



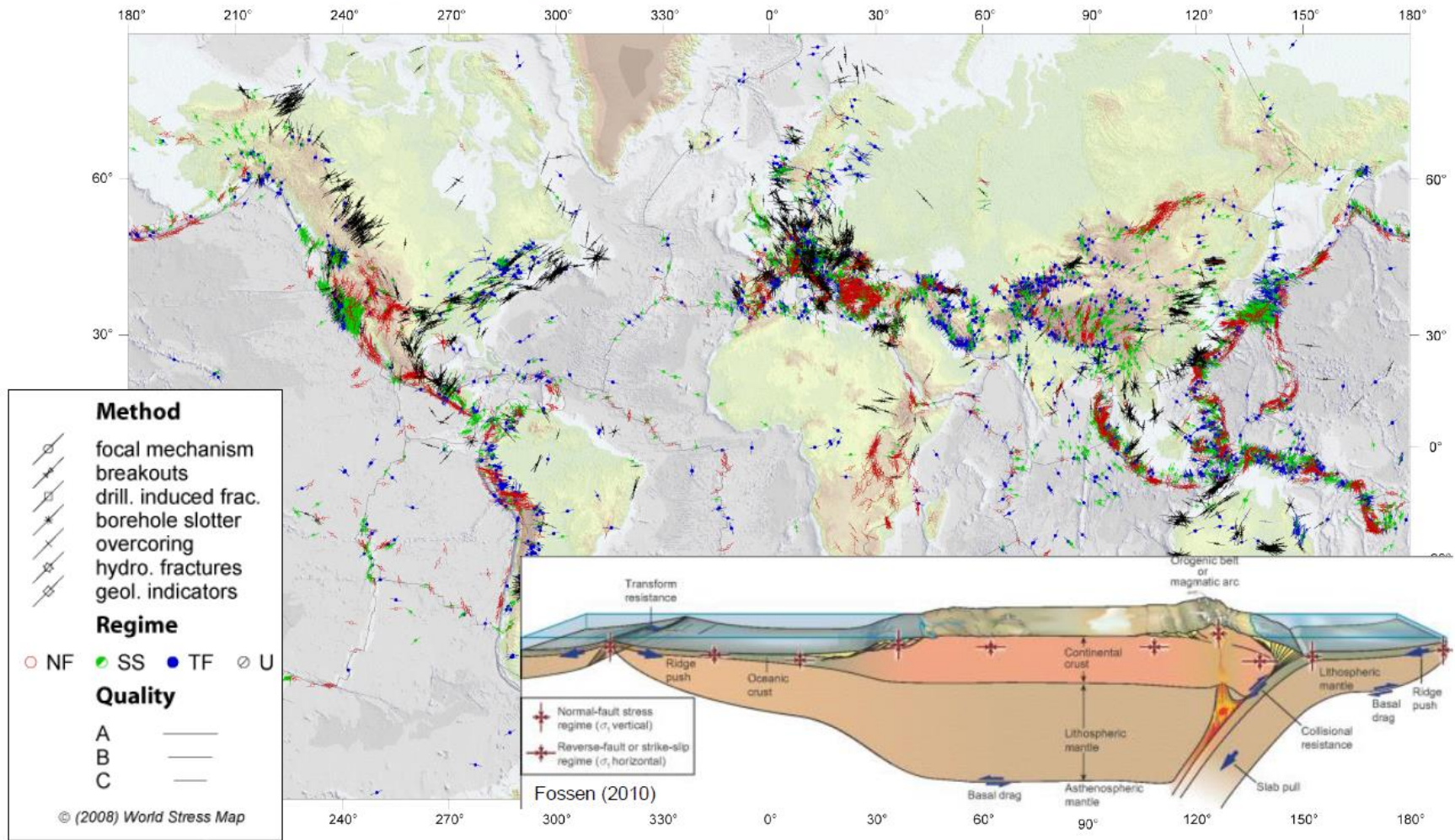
**Fault-plane solutions** - When earthquake occurs, global seismometer records of first motion divide area into two sectors of compression (white) and two sectors of tension (gray), separated by two perpendicular planes.

One of these planes is fault plane on which earthquake occurred, and from distribution of compressive and tensile sectors, sense of slip on fault is determined.

C and T define regions for  $\sigma_1$  and  $\sigma_3$ , but *not* exact orientation (not a fracturing solution)!

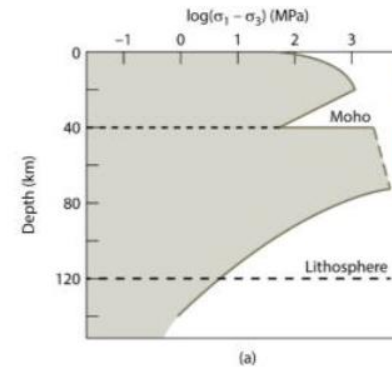
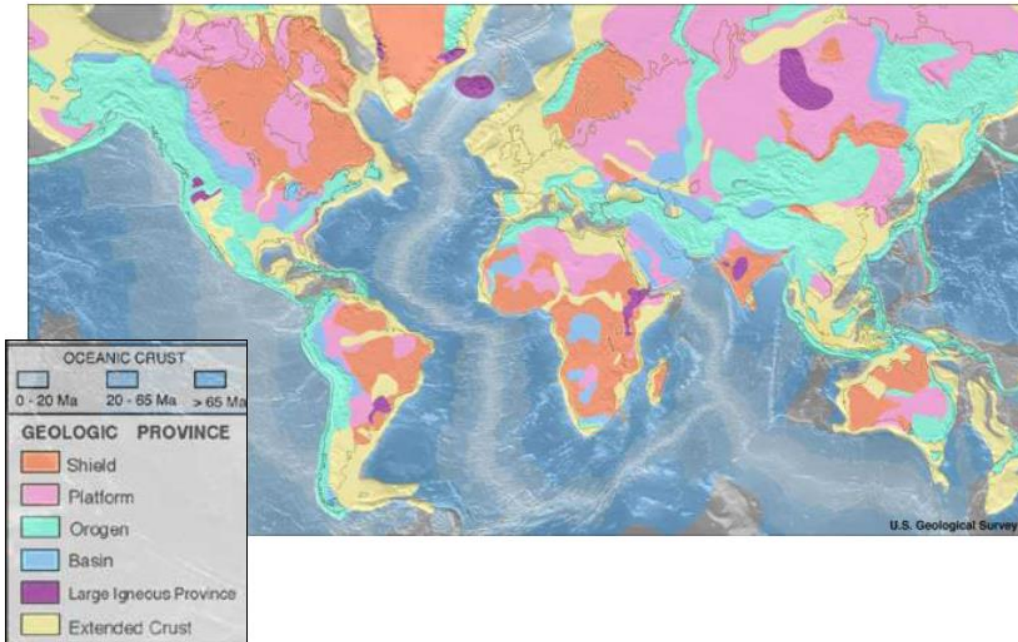


# World Stress Map (2008)

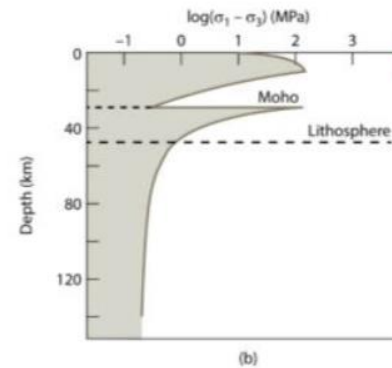


## “Peanut butter sandwich” model

$(\sigma_1 - \sigma_3)$  is differential stress



Cold lithosphere  
(cratons;  
Precambrian  
rocks).



Hot lithosphere  
(orogens, ocean  
floor; Cenozoic  
rocks).