

L'origine dell'Universo

As a result of contraction and rotation, a flat, rapidly rotating disk forms with the matter concentrated at the center that will become the proto-Sun.



Planetesimali

Blocchi di polvere «incollati» dalla gravità, si concentrano al centro

L'universo ha quasi 14 miliardi di anni

2022-2023

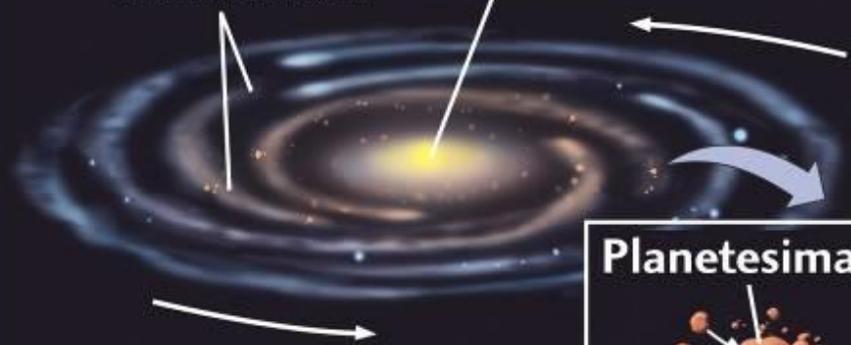
GFGeol STAN

Ipotesi delle nebulosa di Kant - Laplace

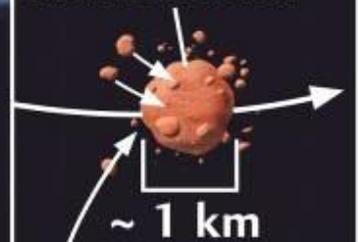
Nuvola rotante di gas (H e He) e polveri cosmiche

The enveloping disk of gas and dust forms grains that collide and clump together into small chunks or planetesimals.

Planetesimals Protostar



Planetesimal



~ 1 km

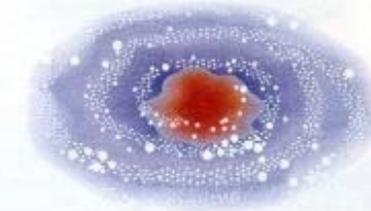
Formazione del Sistema solare

Formazione del protosole: a 1 milione di gradi inizia la fusione nucleare: la trasformazione di Idrogeno in Elio con emissione di energia

Massa solare: attrazione gravitativa



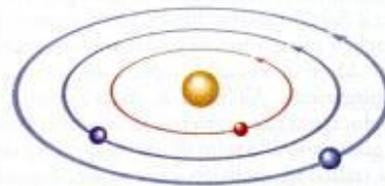
(a)



(b)

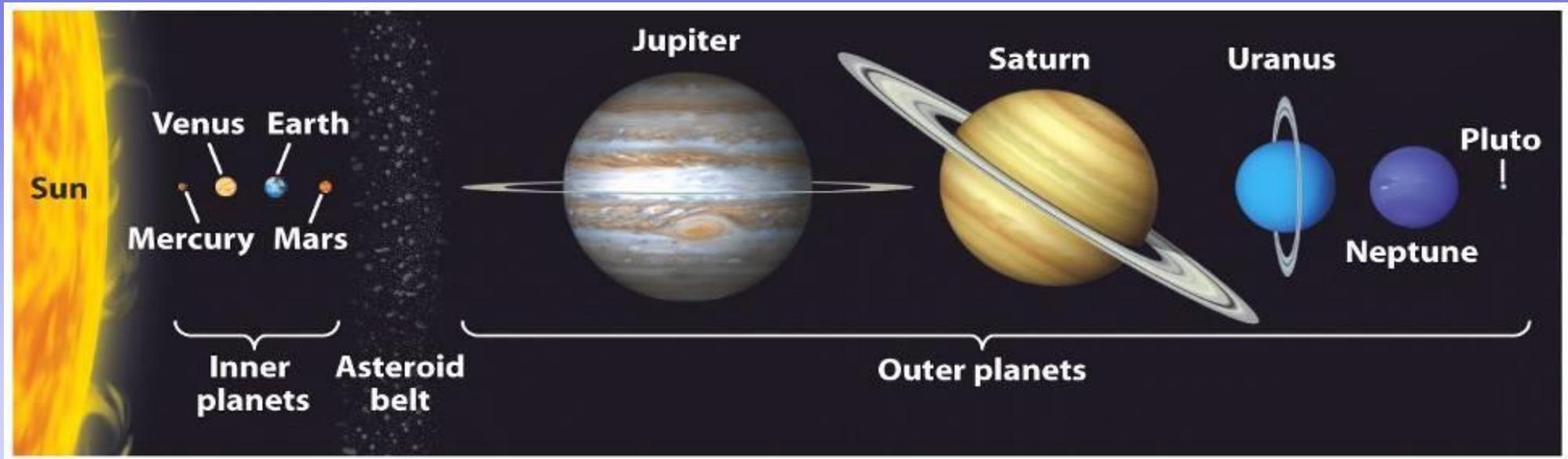


(c)



(d)

Figura 1.4. L'ipotesi nebulari. (a) Una nebulosa diffusa, all'incirca sferica, in lenta rotazione, comincia a contrarsi. (b) In conseguenza della contrazione e della rotazione, si forma una sorta di disco appiattito, in rapida rotazione, con la materia concentrata nel centro. (c) Con il proseguire della contrazione, si arriva alla formazione del proto-Sole, mentre rimangono anelli di materiali vari. (d) Il materiale degli anelli si condensa, dando origine a pianeti che ruotano attorno al Sole. (Secondo J.C. Brandt e S.P. Maran, *New Horizons in Astronomy*, W.H. Freeman, San Francisco, 1979.)



Pianeti interni (piccoli rocciosi) e pianeti esterni

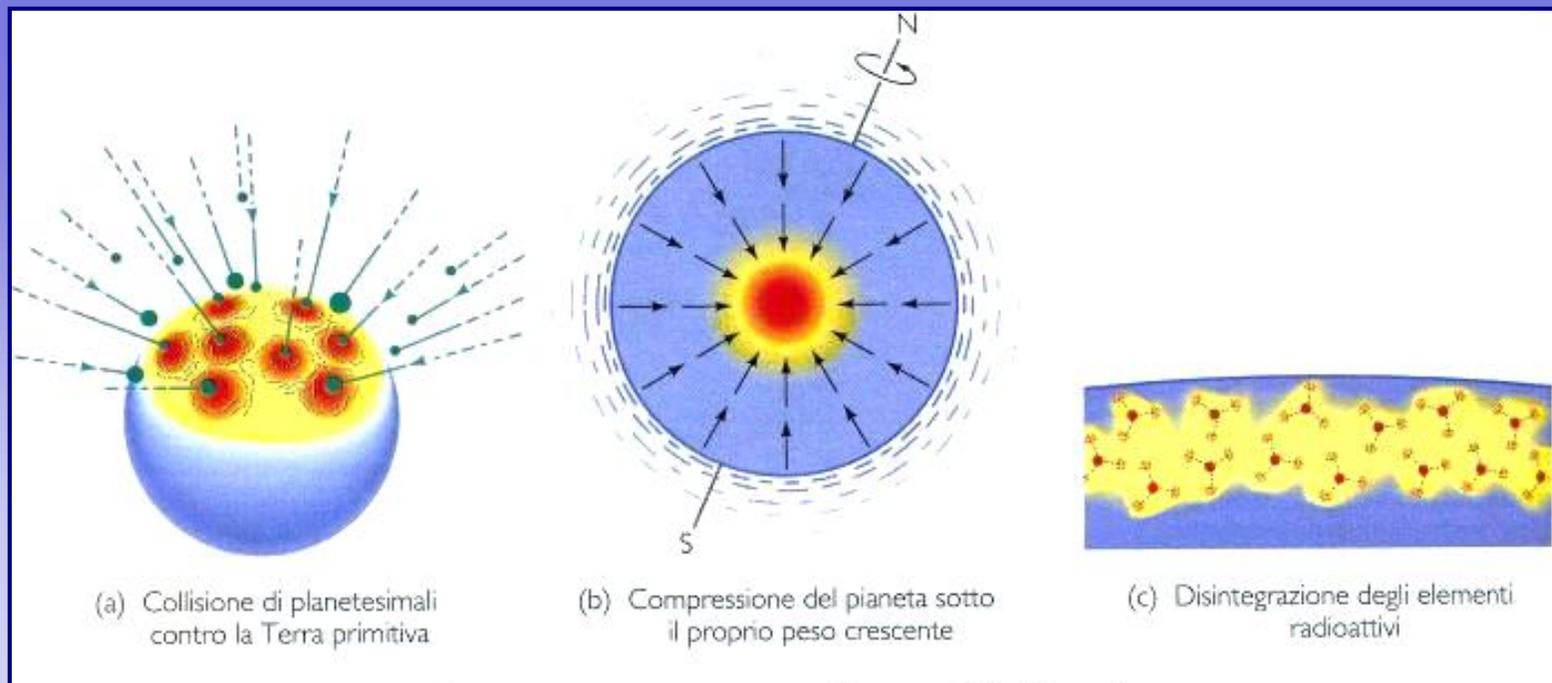
(piccolo nucleo roccioso, poi gas e ghiaccio), Plutone è una «palla di neve»: metano, gas e rocce considerato Pianeta nano (insieme ad altri 4) + satelliti, + asteroidi + comete

Solo Marte e Venere sembrano *geologicamente attivi*..

NB ormai è certo Marte è geologicamente attivo

La formazione della Terra e la trasformazione da corpo omogeneo a pianeta differenziato

- Circa 4.6 miliardi di anni fa: la Terra è un agglomerato di frammenti di materia
- la massa della Terra tendeva ad aumentare in quanto, per le leggi della gravitazione, la terra attirava planetesimali ovvero piccoli agglomerati di materia in via di condensazione
- la temperatura della Terra tendeva ad aumentare per tre motivi.....



1) l'impatto di nuova materia sulla superficie trasforma energia cinetica in energia termica (NB non c'è ancora atmosfera):

NB 4.47 miliardi di anni fa si forma la Luna per l'impatto di un corpo delle dimensioni di Marte...

2) la compressione gravitazionale

3) la presenza di elementi radioattivi, più frequenti dell'attuale, erano anche presenti isotopi con tempi di dimezzamenti brevi..

La formazione della terra

(NB densità dell'intero pianeta: 5.5; densità crosta: 2.7 g/cm³)

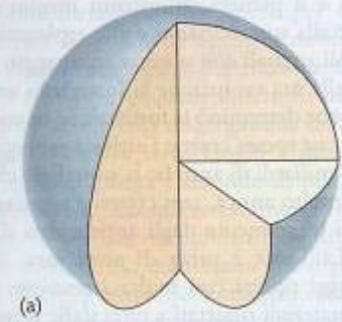
Questi tre processi, ma è l'impatto «lunare» il principale colpevole, hanno fatto crescere la temperatura della Terra fino a circa 1500 - 2000 °C

A questa temperatura il Ferro, che rappresentava l'elemento più pesante, con una massa pari a circa 1/3 del totale, ha iniziato a fondere, sprofondando verso l'interno, mentre gli elementi più leggeri tendevano a risalire. Successivamente sulla superficie della terra si formò un oceano di magma fuso, profondo oltre 100 km

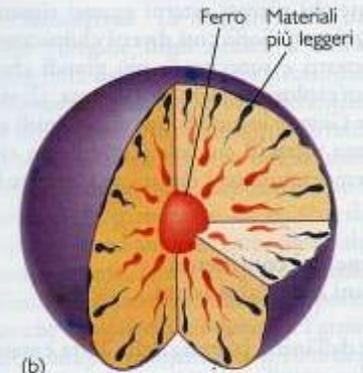


2022-2023

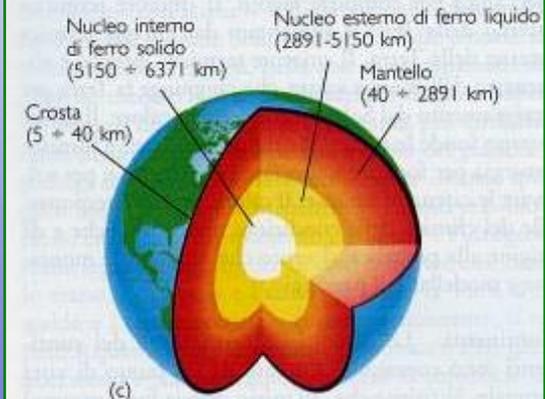
GFGeol STAN File 02



(a)



(b)



(c)

La Terra 4 miliardi di anni fa..

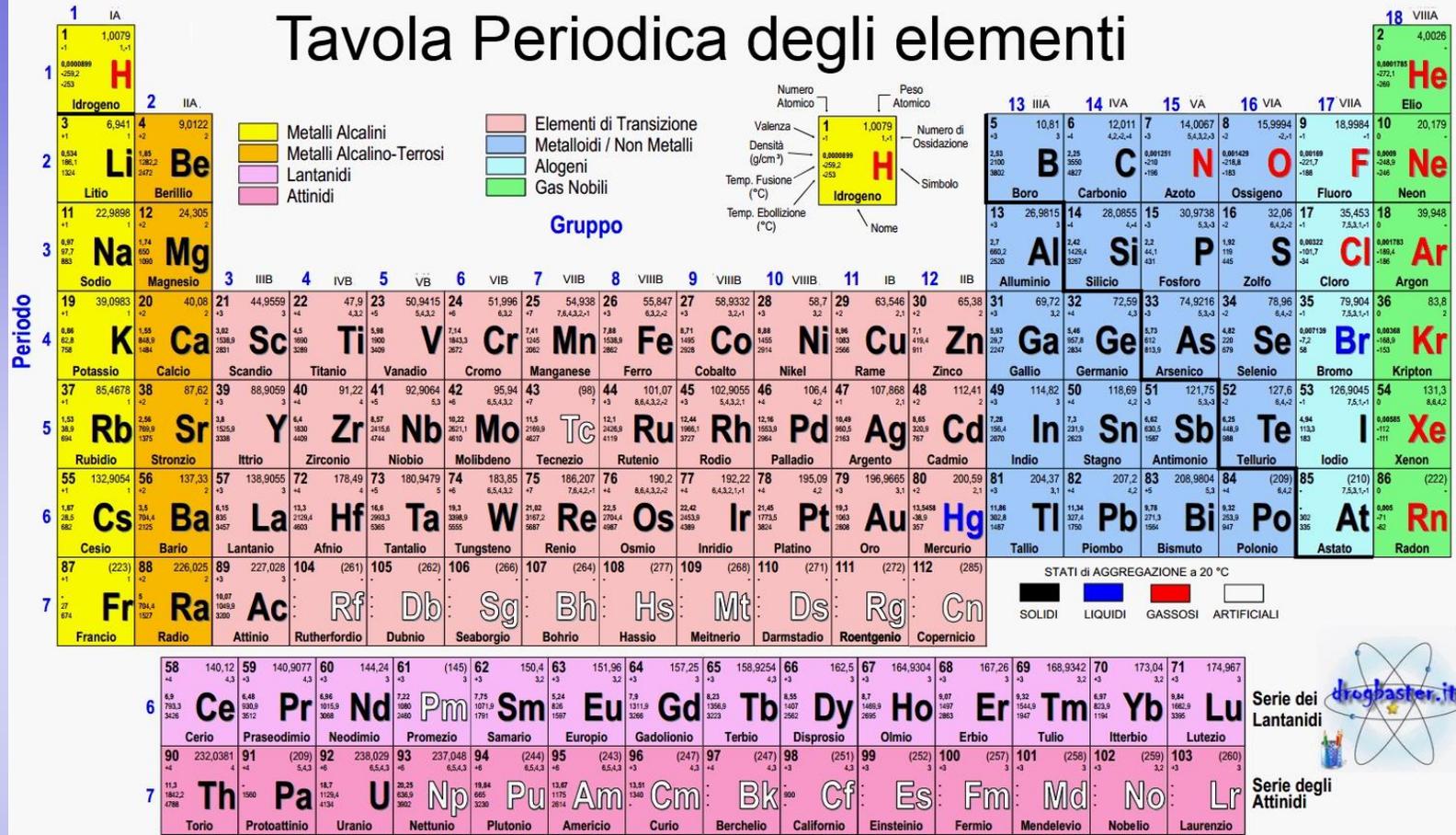
Il raffreddamento del Magma genera la crosta primitiva

DIFFERENZIAZIONE GRAVITATIVA: Nucleo di ferro molto denso, **crosta** superficiale leggera, **mantello** interposto tra crosta e nucleo, di *densità* intermedia

Atmosfera: H, CO₂, N, NH₃, CH₄ vapore acqueo e pochi gas rari..gli stessi gas emessi anche ora dai vulcani..

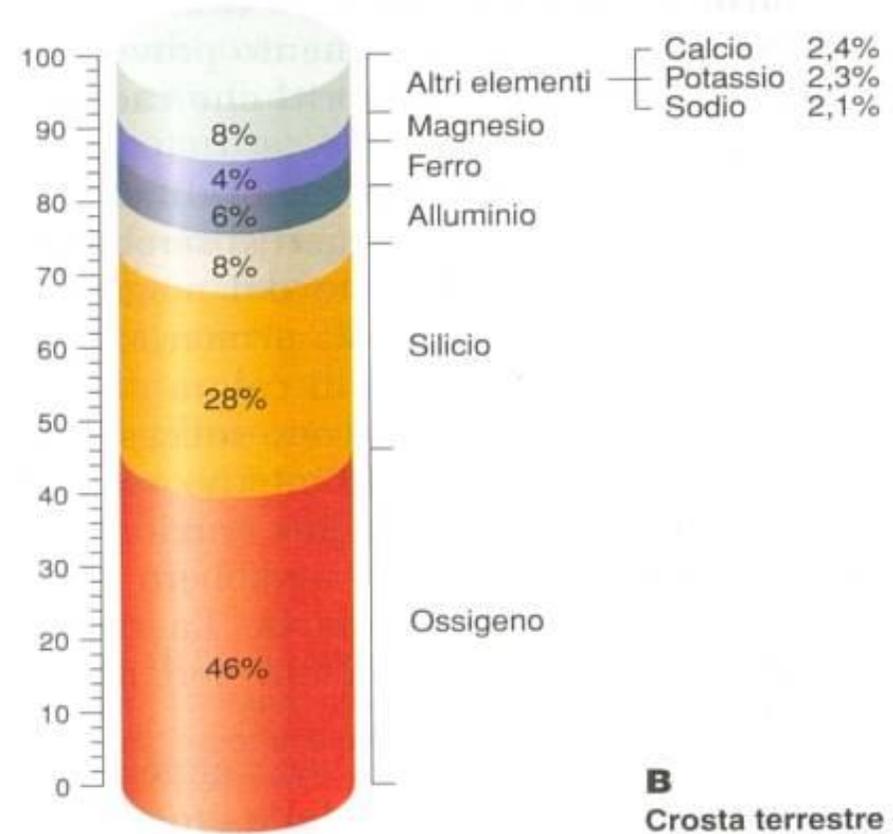
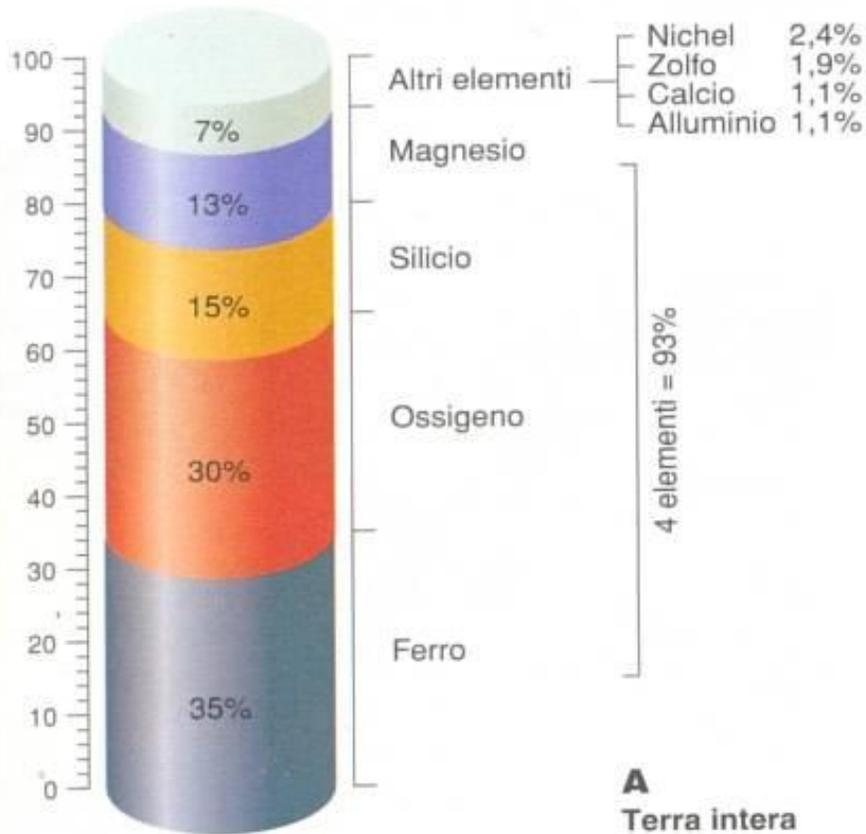
E l'Ossigeno ..(attualmente il 20% della bassa atmosfera).
era praticamente assente.. Great Oxidation Event...dopo..

Tavola Periodica degli elementi



ELEMENTI LEGGERI: Ossigeno, Silicio
 Elementi intermedi: Magnesio Alluminio
 Elementi pesanti: Calcio, Ferro

Composizione chimica della terra e della crosta terrestre



A Tutto il pianeta
(crosta + mantello +
nucleo)

B Solo la parte superficiale
(crosta)

Come facciamo a conoscere l'interno della Terra ? (raggio terrestre ?? Km)

- sulla superficie: il geologo è capace di riconoscere le rocce !!
- Strutture geologiche: finestre tettoniche, erosioni, spianamenti (poche decine di km); magmi in risalita (100 – 200 km) e xenoliti.
- sotto la superficie: *grotte* (?), miniere, ma la miniera più profonda ha.. 3.9 km di profondità,
- Sondaggi petroliferi (max 6-7 km), sondaggi profondi scientifici (> 10 km) <http://www.icdp-online.org/home/>
- L'interno della terra: indagini indirette, **geofisica**

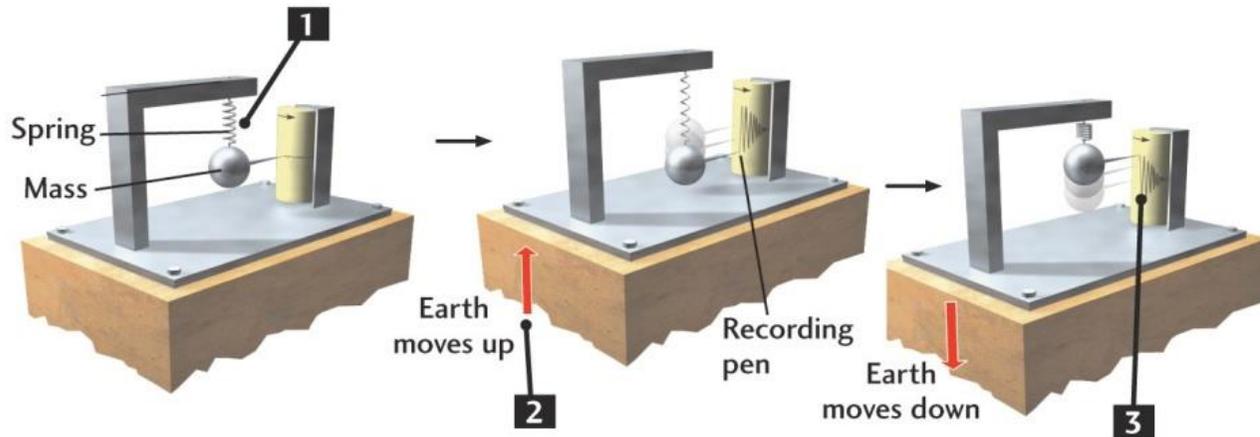
Le onde sismiche: i sismografi



Rivelatore di terremoti di
Zang Heng 130 d.C.

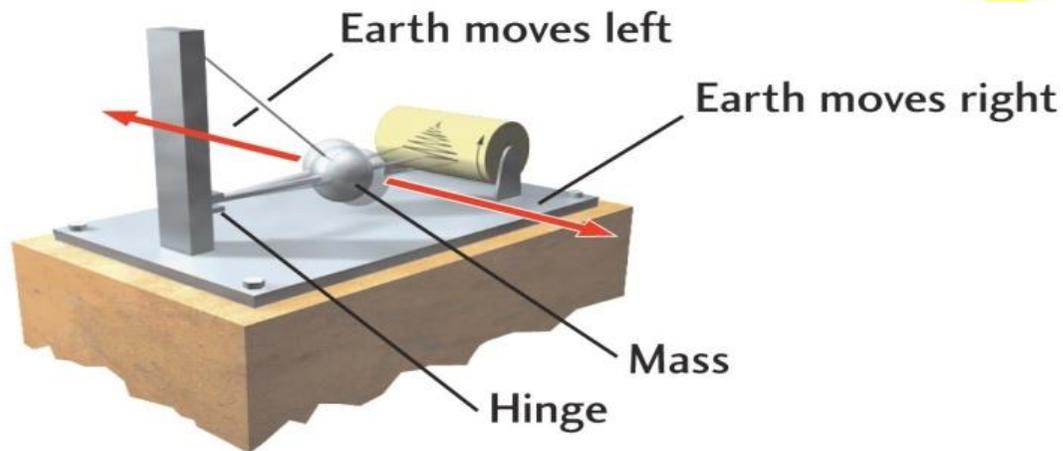


Seismograph designed to detect vertical movement



Nel '700 a molla;
da fine '800
elettromagnetici:
Luigi Palmieri

Seismograph designed to detect horizontal movement

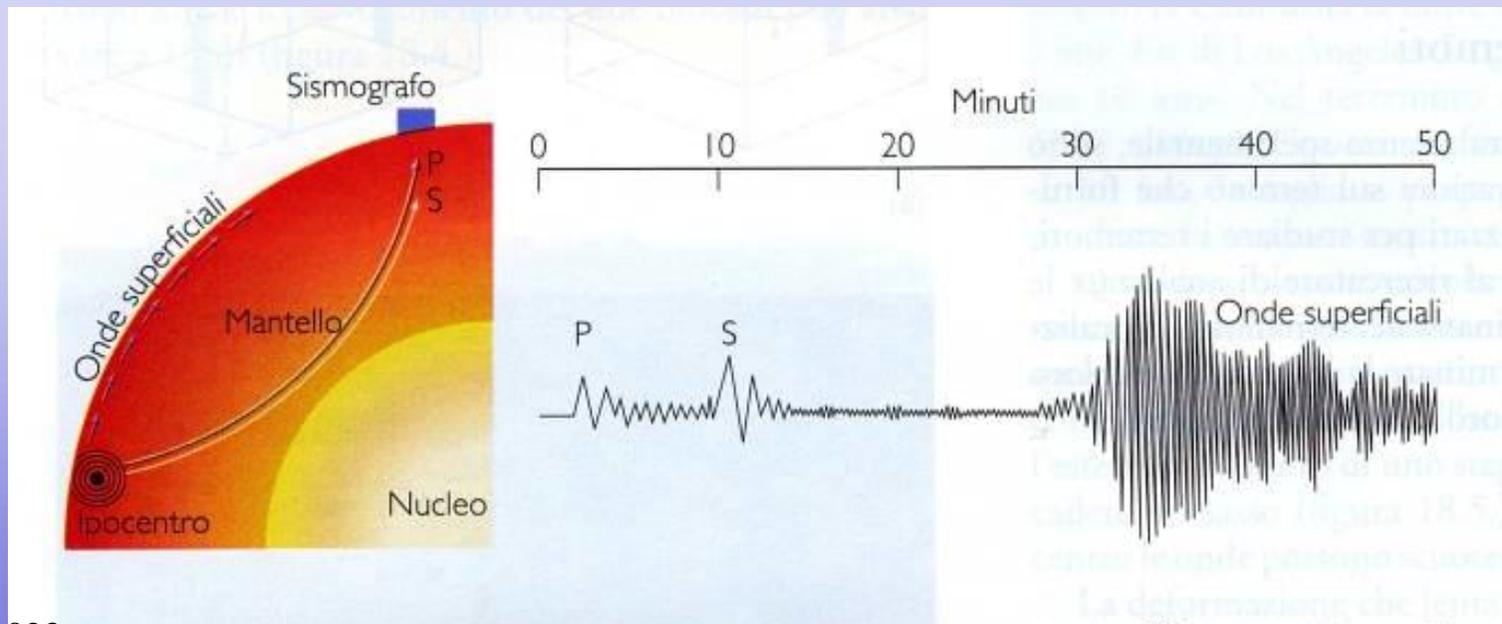


Ne servono due



Le onde sismiche, strumento di indagine per l'interno della terra.

- Onde P (prime): onde di compressione e rarefazione
- Onde S (seconde): onde di taglio
- Onde superficiali (quelle che fanno danni, ma non servono all'esplorazione del Pianeta)

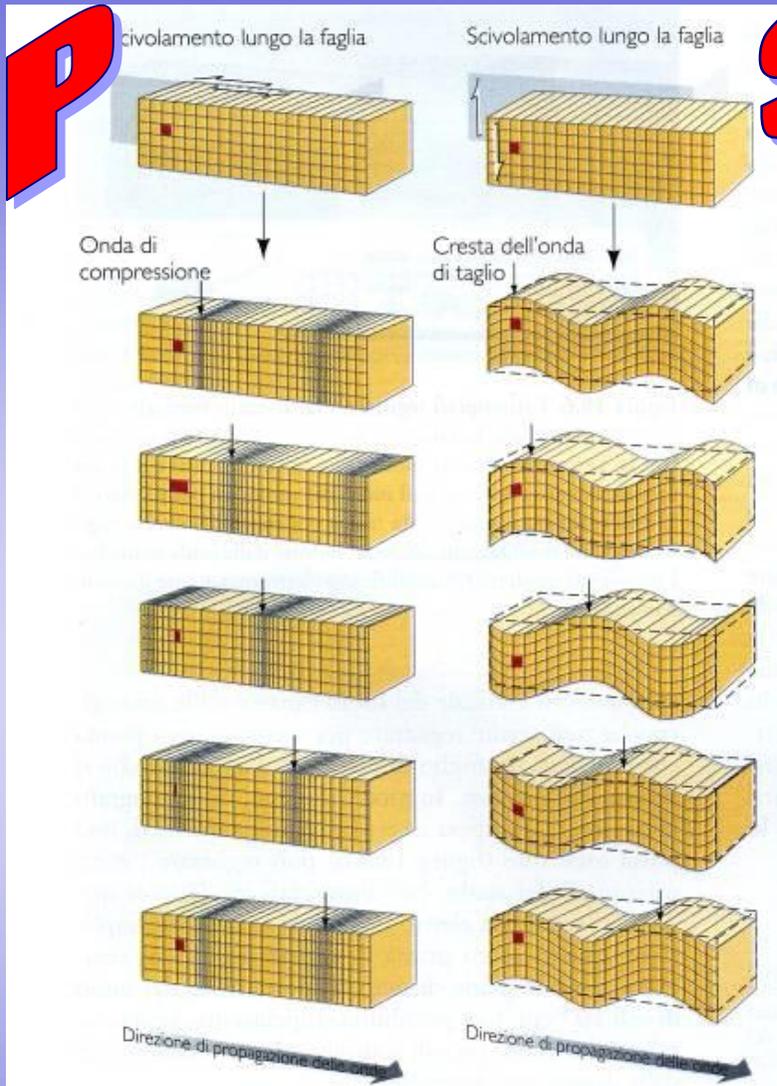


P

S

DUE REGOLE FONDAMENTALI

- La velocità delle onde (sia P che S) è funzione della rigidità / densità delle rocce.
- Le onde P sono rallentate dai fluidi. Le onde S vengono rallentate ancora di più: *NON* passano attraverso i fluidi



A sua volta **rigidità e densità** sono funzione della **profondità** e della **composizione** chimico-mineralogica

La struttura dell'interno della Terra

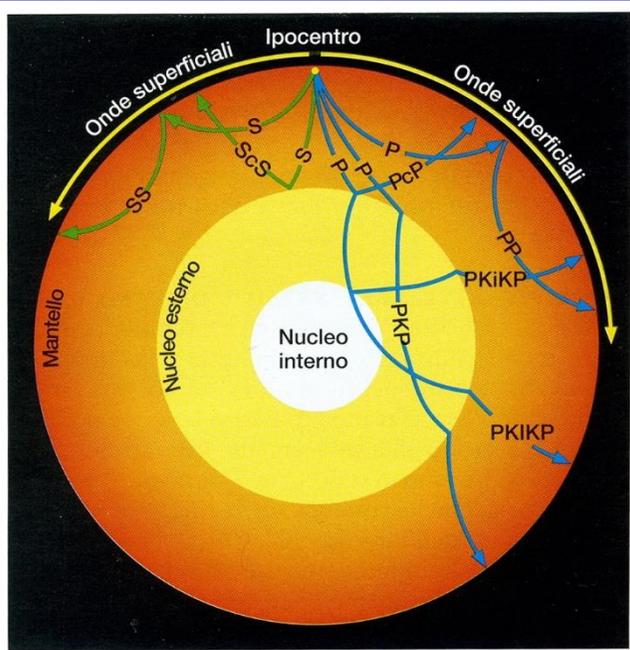
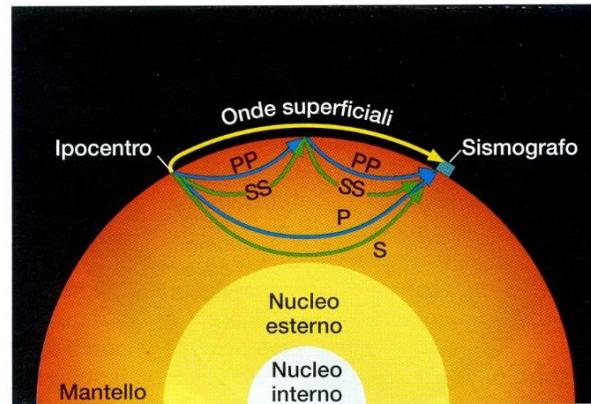


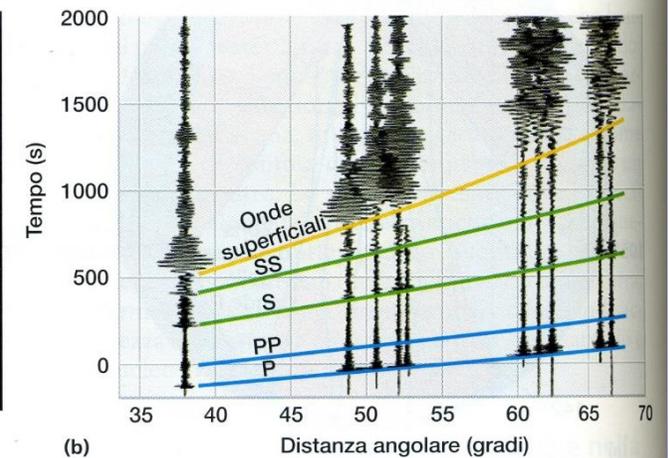
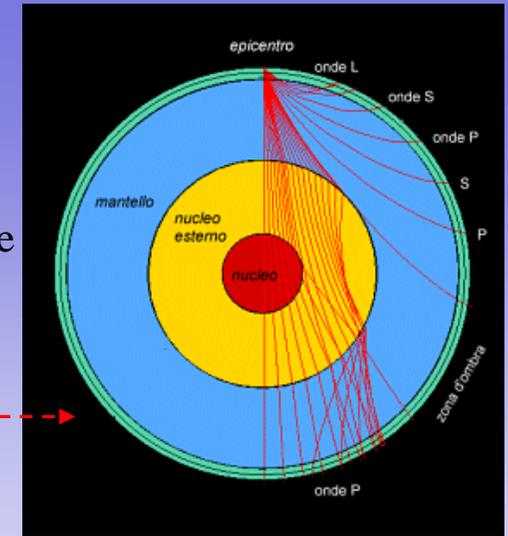
FIGURA 14.3 • I sismologi "etichettano" in modo semplice i diversi percorsi che le onde sismiche compiono. PcP e ScS sono, rispettivamente, onde di compressione e di taglio che vengono riflesse dalla superficie del nucleo. PP e SS sono onde riflesse verso l'interno dalla superficie della Terra, cioè dall'interfaccia litosfera-atmosfera. Un'onda PKP viene trasmessa attraverso il nucleo esterno liquido, mentre un'onda PKiKP attraversa anche il nucleo interno solido; infine, un'onda PKiKP viene riflessa dal nucleo interno. Le onde superficiali si propagano lungo la superficie esterna della Terra, come le onde sulla superficie di un stagno.



(a)

FIGURA 14.4 • (a) Le onde P e S vengono rifratte nel mantello e si incurvano verso l'alto, tanto che, se non arrivano a intercettare il limite con il nucleo, possono raggiungere la superficie della Terra "dal basso" e venire riflesse. Un'onda sismica che è stata riflessa una volta dalla superficie terrestre viene etichettata con una lettera doppia (PP o SS). (b) Sismogrammi registrati a varie distanze dall'ipocentro di un terremoto nelle Isole Aleutine, in Alaska. Le linee colorate identificano i tempi di arrivo delle onde P e S, delle onde superficiali e delle onde PP e SS, riflesse dalla superficie della Terra.

Schema di propagazione delle onde semplice, troppo



I sismologi devono saper riconoscere **onde P dirette, riflesse, rifratte, onde S dirette, riflesse** e le onde superficiali...

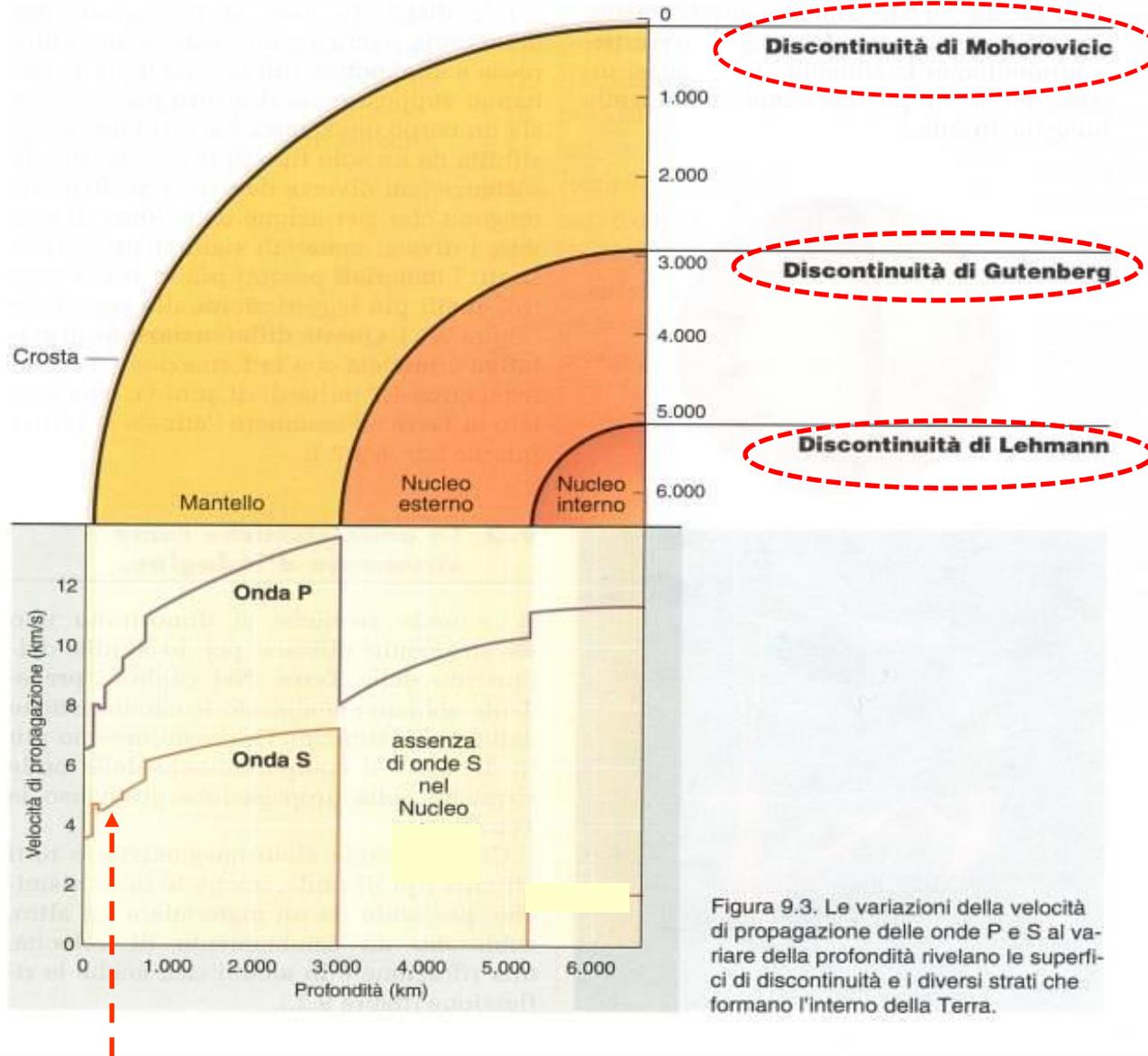
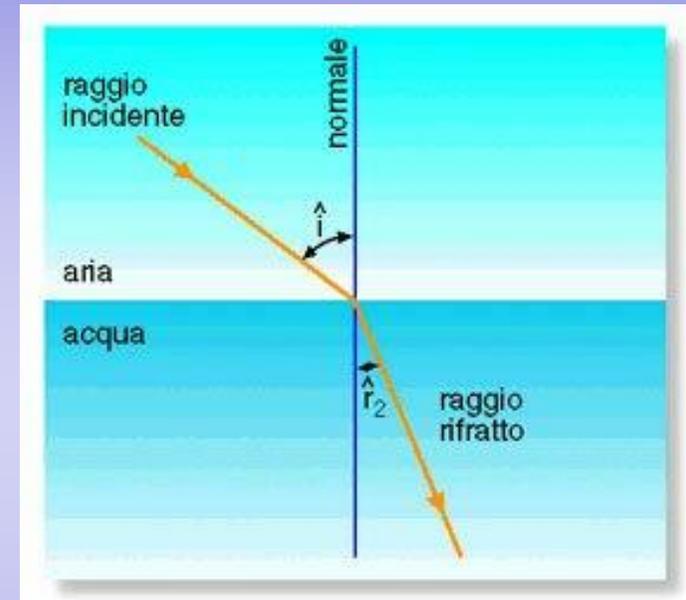


Figura 9.3. Le variazioni della velocità di propagazione delle onde P e S al variare della profondità rivelano le superfici di discontinuità e i diversi strati che formano l'interno della Terra.

Discontinuità

- È una superficie lungo la quale le **onde sismiche** subiscono un sensibile cambiamento della loro **velocità** di propagazione e quindi anche fenomeni di **rifrazione** e riflessione
- Perché??



La struttura di crosta e mantello

Velocità onde P

Crosta : 6-7 km/s (6 nei graniti, 7 nei gabbri)

Mantello sup

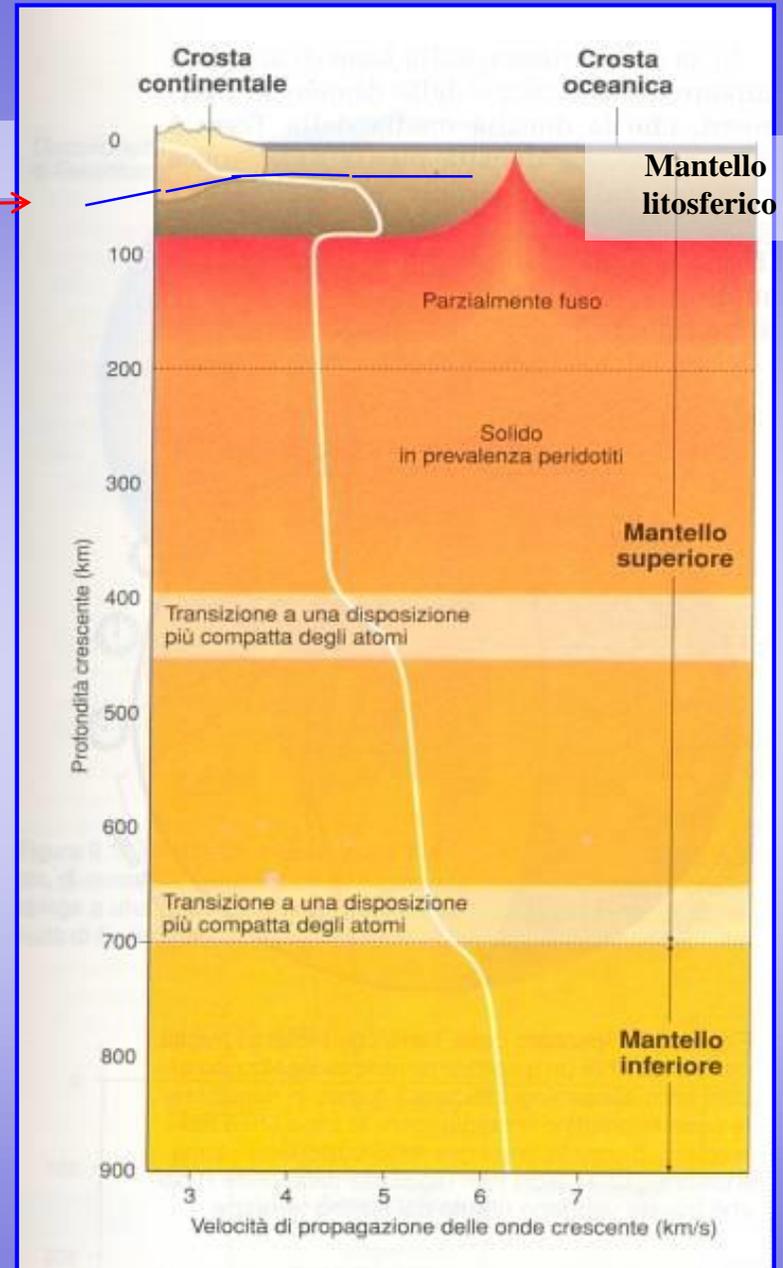
r. ultrabasiche

(peridotiti): > 8 km/s

NB La figura non è corretta !a

Velocità \rightarrow densità \rightarrow composizione

Moho



La struttura dell'interno della Terra

- **CROSTA**: spessore 5-10 km sotto gli oceani, 30-40 km sotto i continenti, max 50-60 km. **Densità: crosta oceanica : 2.9 g/cm³, crosta continentale da 2.5-2.8.**
- **MANTELLO**: Rappresenta l'82 % del volume e arriva fino alla prof. di circa 2900 km. Parte superiore: **densità: 3.3-3.4; parte inferiore: 3.3-5.6.**: tra 70 e 200 km: astenosfera, parte parzialmente fusa (1-10 %)
- **NUCLEO**: 16 % del volume, densità 9.7-13.0 g/cm³

NB densità dell'intero pianeta: 5.45

La crosta continentale (meno densa) galleggia sul mantello (più denso):

La crosta continentale è meno densa e più spessa della crosta oceanica; quindi risulta più elevata.

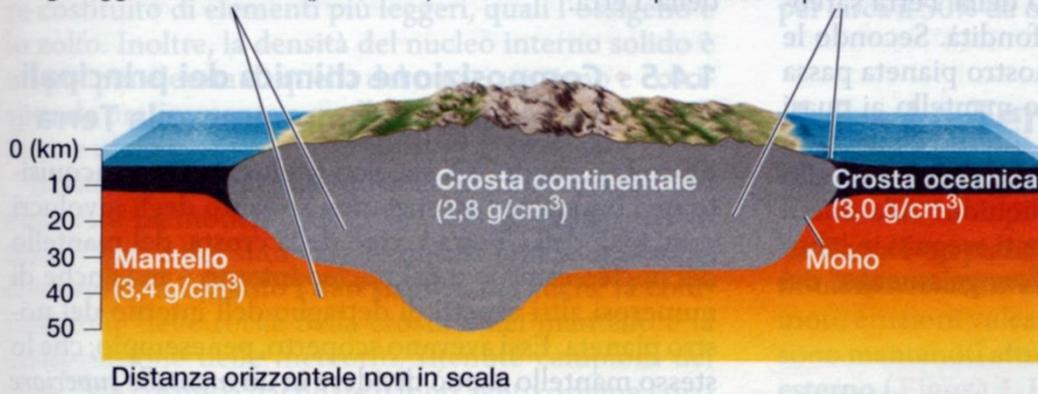


FIGURA 1.11 • Data la minore densità delle sue rocce, la crosta terrestre “galleggia” sul mantello, costituito di materiali più densi. La crosta continentale ha una densità minore di quella oceanica e, di conseguenza, si eleva maggiormente. Ciò spiega la differenza di altitudine tra i continenti e le profondità oceaniche.

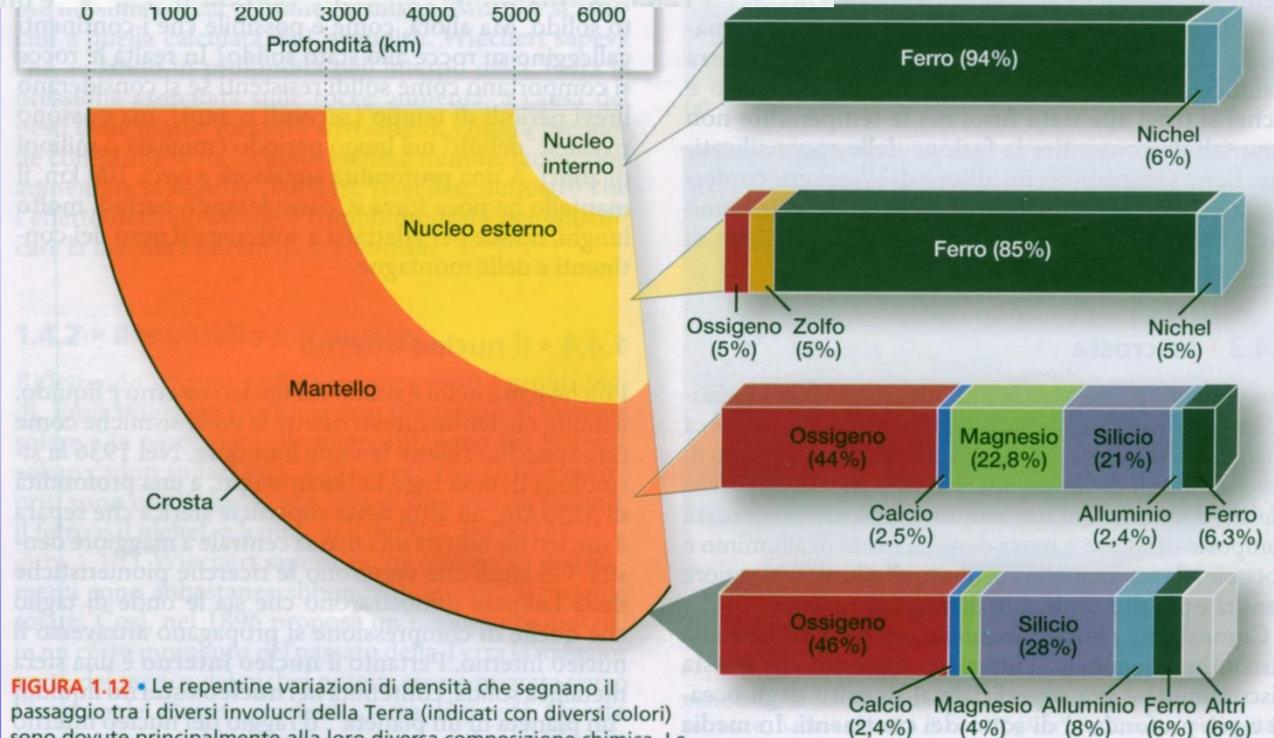


FIGURA 1.12 • Le repentine variazioni di densità che segnano il passaggio tra i diversi involucri della Terra (indicati con diversi colori) sono dovute principalmente alla loro diversa composizione chimica. Le barre sulla destra indicano l'abbondanza percentuale degli elementi presenti negli involucri terrestri.

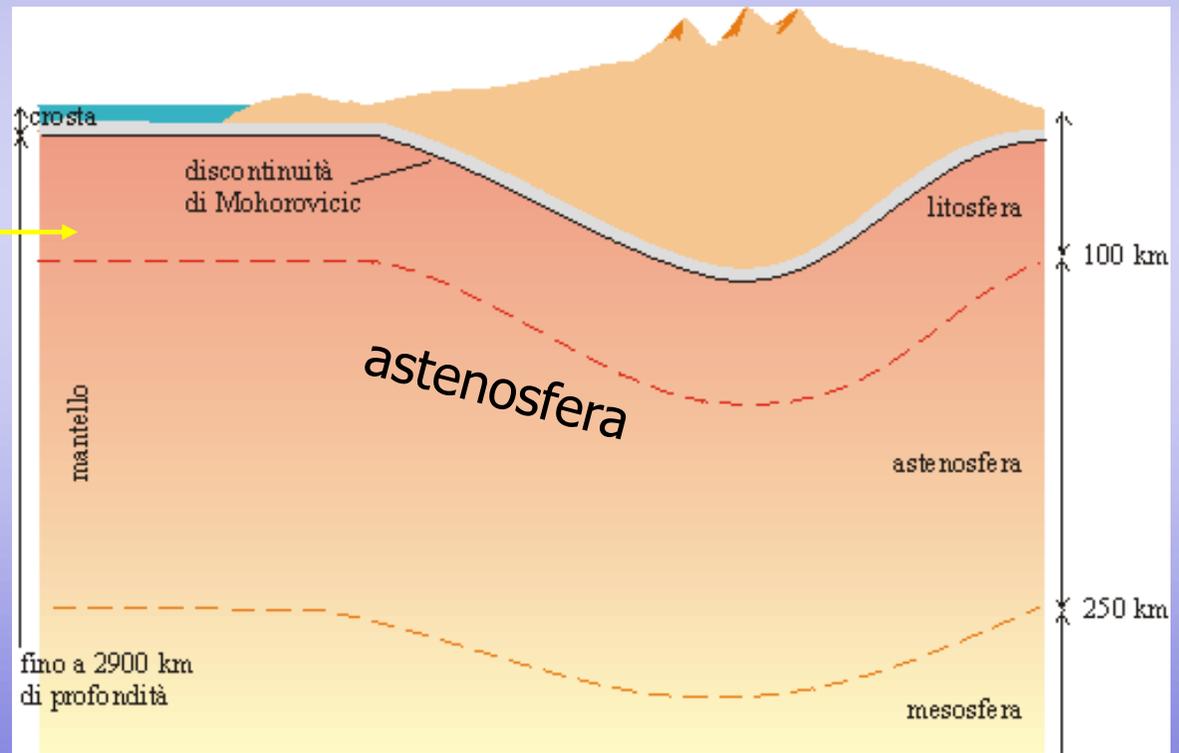
La composizione dell'interno della Terra

- **CROSTA:** Crosta continentale: rocce sialiche (silicio + alluminio) di varia natura. Graniti, rocce metamorfiche e sedimentarie. Crosta oceanica: sedimenti non litificati + lave basaltiche + dicchi gabbrici (tutte e due rocce femiche: ferro + magnesio. Mediamente + pesanti della continentale
- **MANTELLO:** rocce peridotitiche (rocce ultrafemiche), con olivina (Silicato di Fe e Mg)
- **NUCLEO:** 16 % del volume, densità 9.7-13 g/cm³.
Composizione: Fe + nichel (6%) + 10-20 % Silicio e/o Zolfo

ASTENOSFERA: onde P ed S rallentano fluido

NB è parte del mantello, ma NON è a contatto con la
crosta terrestre

Mantello superiore
o mantello litosferico



Struttura interna della
Terra: **modello
composizionale A** (di
che cosa è fatto
l'interno della terra) e
modello reologico B
(*come si comporta..*)
**NB Litosfera: crosta
terrestre + mantello
litosferico**

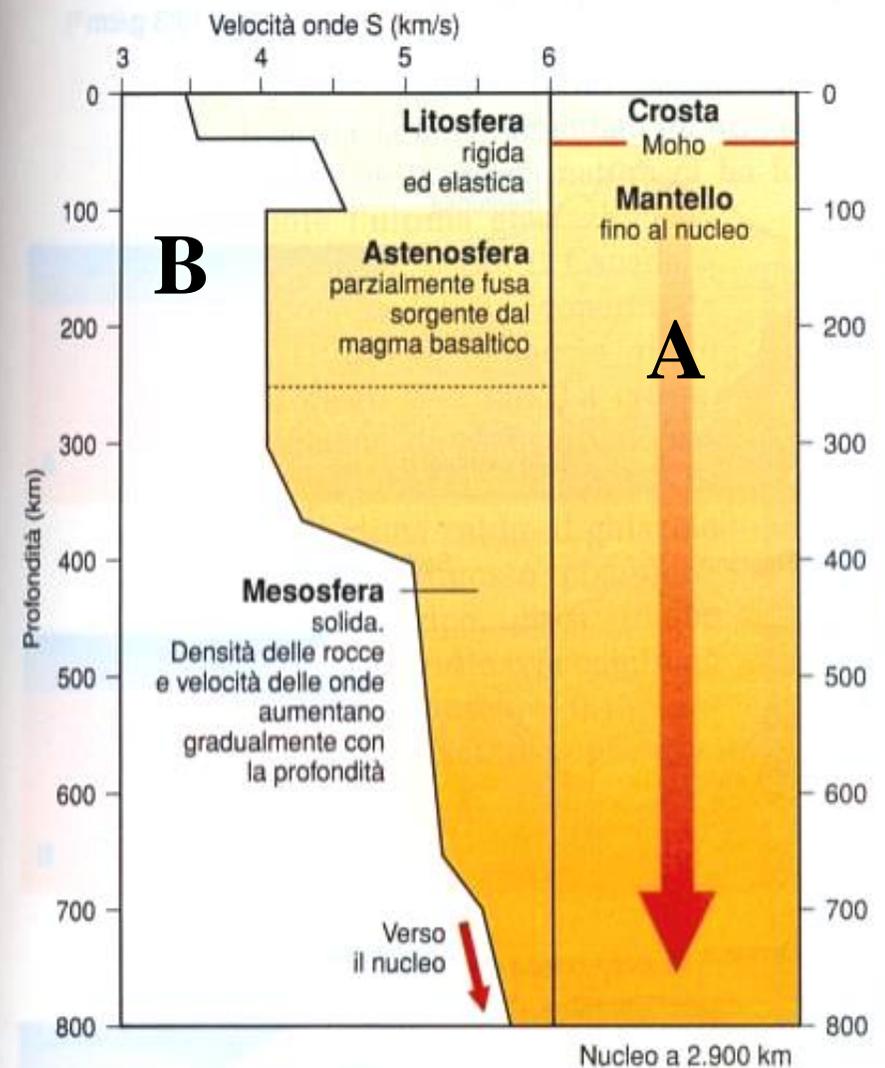
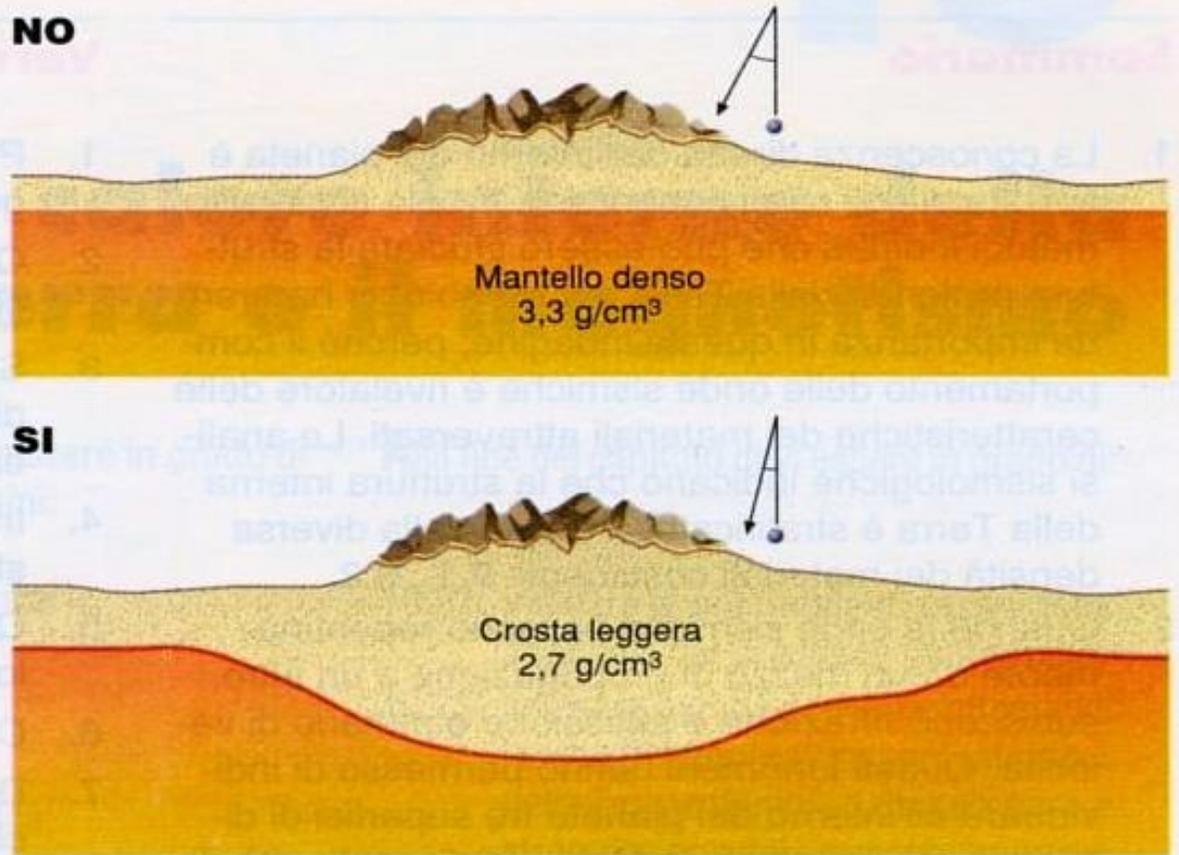


Figura 9.11. Suddivisione degli involucri più esterni della Terra. La zonatura a sinistra è basata sullo stato fisico dei materiali. Questa è quindi una divisione abbastanza oggettiva. La zonatura a destra è basata invece su supposte differenze di composizione chimico-mineralogiche ed è necessariamente più interpretativa.

Ma come si è dimostrato, in passato, lo stato fluido dell'astenosfera ??

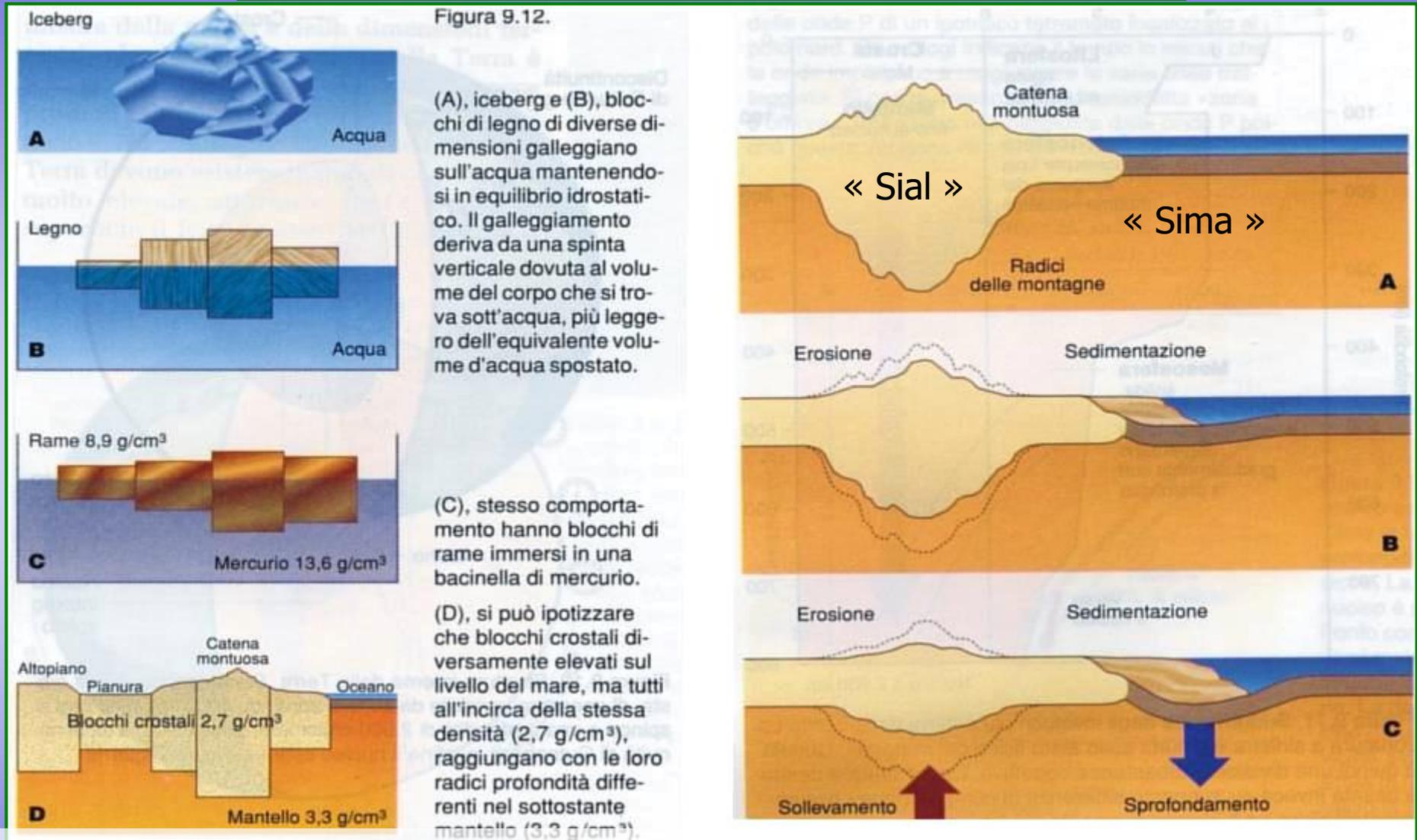
Isostasia (Bouguer, metà del '700)

Figura 9.14. Il filo a piombo assume normalmente una posizione verticale, ma vicino a una catena montuosa esso viene deviato verso le montagne a causa dell'attrazione gravitazionale esercitata dalla loro massa. La deviazione che si osserva però è inferiore a quella che ci si aspetta considerando la massa della catena montuosa. Il fenomeno si spiega ammettendo che l'eccesso di massa dovuta al rilievo sia in parte compensato da una deficienza di massa nelle radici della catena. L'ispessimento della crosta continentale leggera fornisce il supporto necessario per la spinta di galleggiamento, altrimenti le catene montuose non potrebbero rimanere elevate, ma sprofonderebbero lentamente nel mantello fino a raggiungere l'equilibrio isostatico.



Sotto le grandi catene montuose c'è un..difetto di massa”

Isostasia (Pratt e Airy, metà '800)

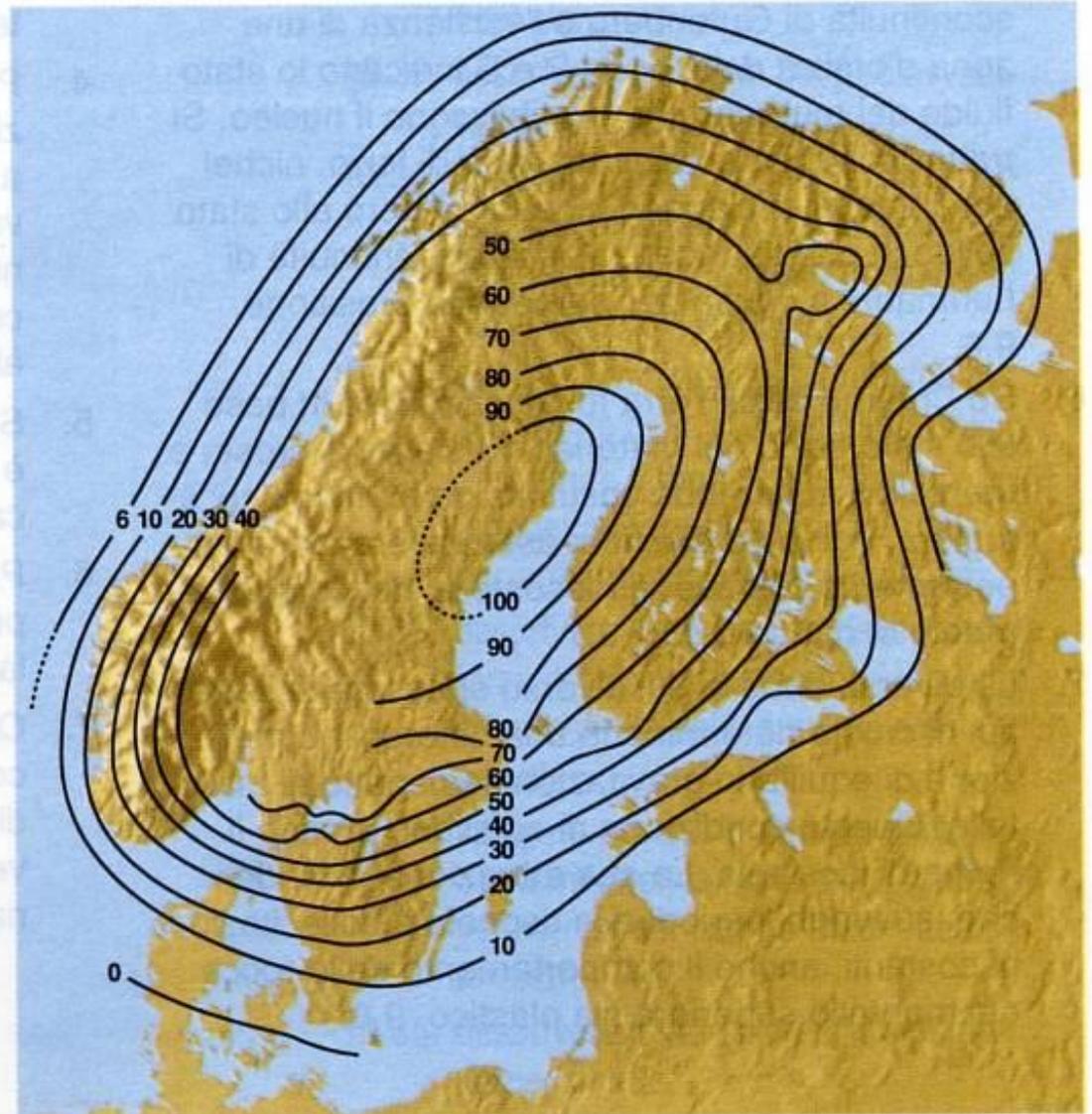


C'è un altro fenomeno che porta ad una ..veloce ..diminuzione del peso della crosta terrestre.

Le glaciazioni

Scandinavia, come il Canada e la Groenlandia, fu coperta da una coltre di ghiaccio dello spessore di 2÷3 km. La crosta, schiacciata da questo enorme peso, si abbassò. Quando ritornò il clima caldo, il ghiaccio si sciolse. Rimosso completamente il carico, circa 10.000 anni fa la Scandinavia cominciò a sollevarsi. La figura 9.15. mostra l'innalzamento verificatosi

Figura 9.15. La regione scandinava è oggi interessata da spinte verticali che la sollevano di circa un centimetro all'anno. Fino a 10.000 anni fa la penisola era gravata da uno spessore di oltre 2.000 metri di ghiaccio. Le linee chiuse collegano i punti nei quali si è avuto lo stesso sollevamento negli ultimi 5.000 anni.



Spiagge rialzate (max 18 m) a Inexpressible Island, Terra Nova Bay, Antartide



Sollevamento..a scatti....

2022-2023

GFGeol STAN File 02

27

Sabbie eoliche

*Depositi di spiaggia
con conchiglie*

*Fanghi
glaciali*

**NB: 6-8 m
sul
livello del
mare**

2022-2023

Isostasia e spiagge sollevate in Patagonia



ff