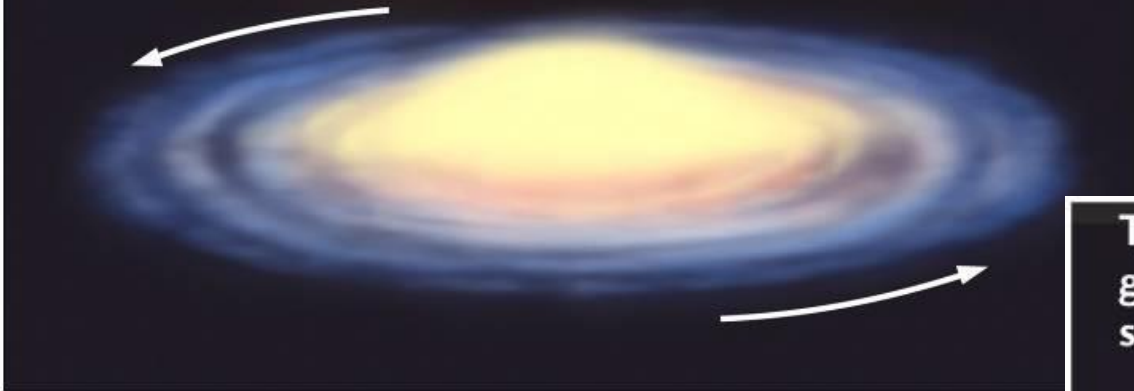


L'origine dell'Universo

Ipotesi delle nebulosa
di Kant - Laplace
Nuvola rotante di gas
(H e He)
e polveri cosmiche

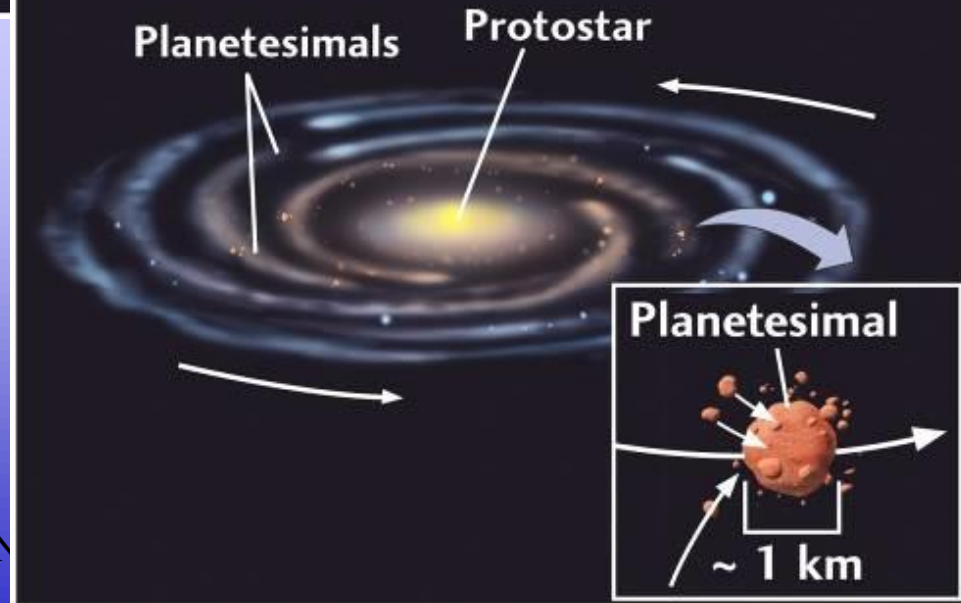
As a result of contraction and rotation, a flat, rapidly rotating disk forms with the matter concentrated at the center that will become the proto-Sun.



Planetesimali
Blocchi di polvere «incollati»
dalla gravità

L'universo ha 13
miliardi di anni

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



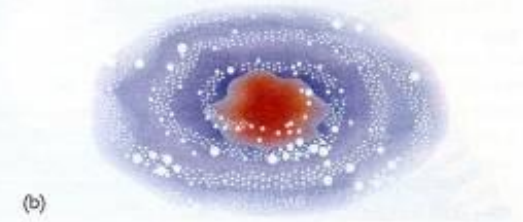
Formazione del Sistema solare

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

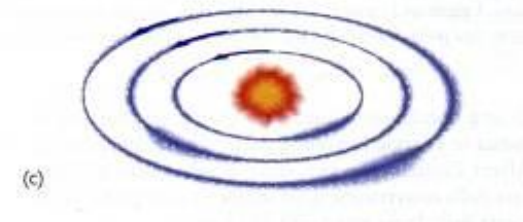
Massa solare: attrazione gravitativa



(a)



(b)

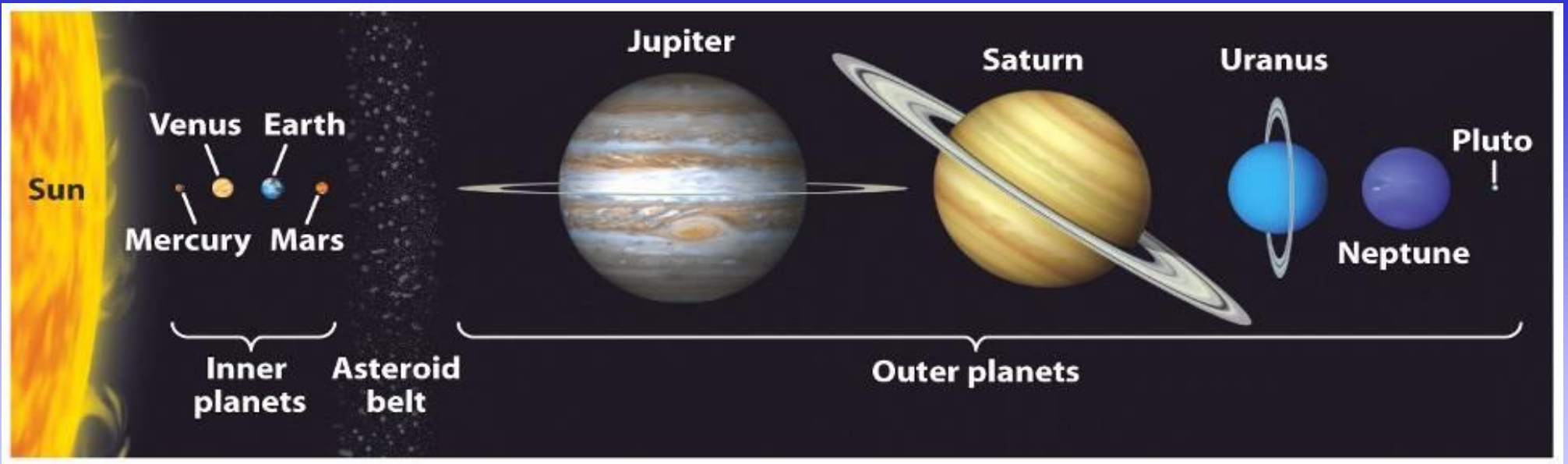


(c)



(d)

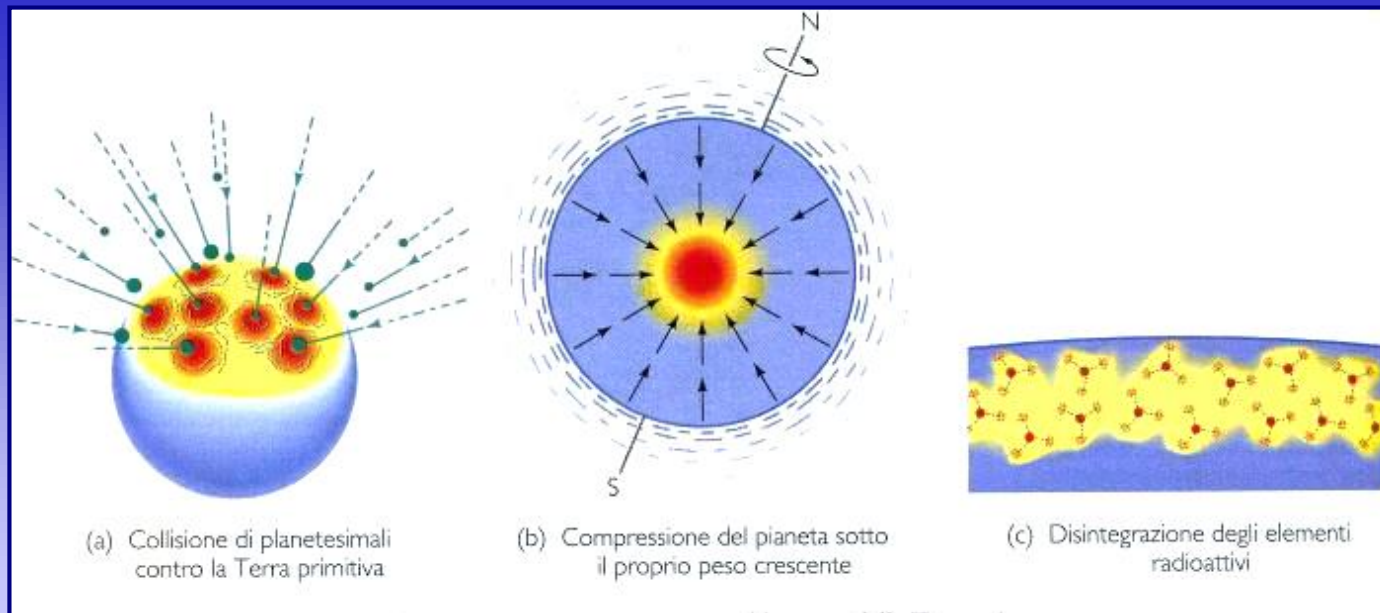
Figura 1.4. L'ipotesi nebulari. (a) Una nebulosa diffusa, all'incirca sferica, in lenta rotazione, comincia a contrarsi. (b) In conseguenza della contrazione e della rotazione, si forma una sorta di disco appiattito, in rapida rotazione, con la materia concentrata nel centro. (c) Con il proseguire della 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
 Solo Marte e Venere sembrano *geologicamente attivi*..
NB ormai è certo Marte è geologicamente attivo: registrati terremoti, ci sono vulcani

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..

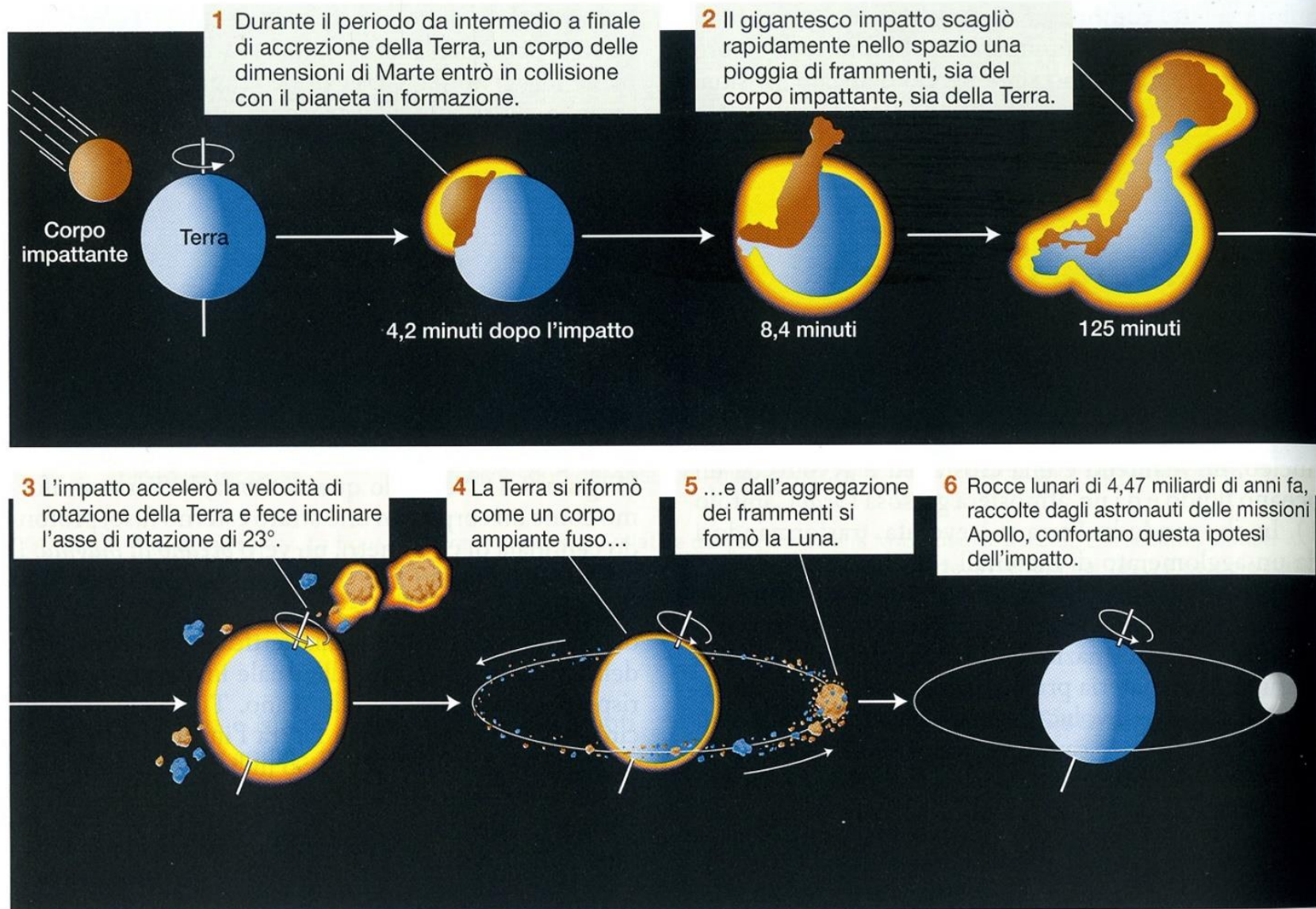


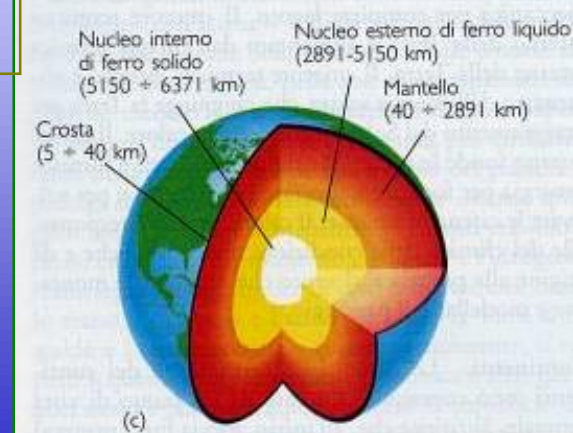
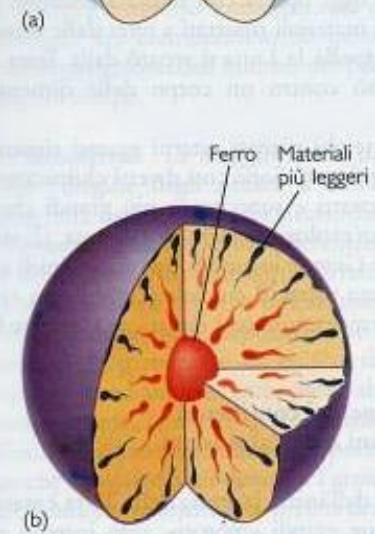
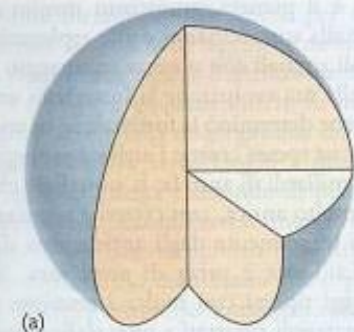
FIGURA 9.4 • Simulazione al computer dell'impatto di un corpo delle dimensioni di Marte con la Terra. [Solid-Earth Science and Society. Washington, D.C.: National Research Council, 1993.]

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



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.. Vedi slide 9

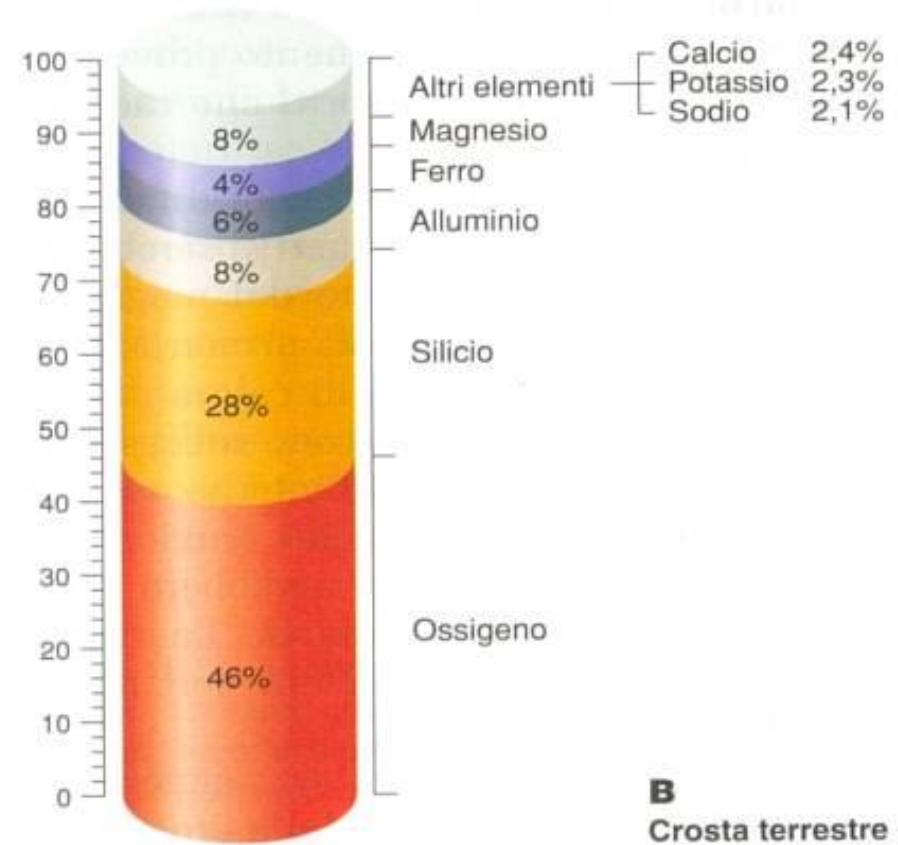
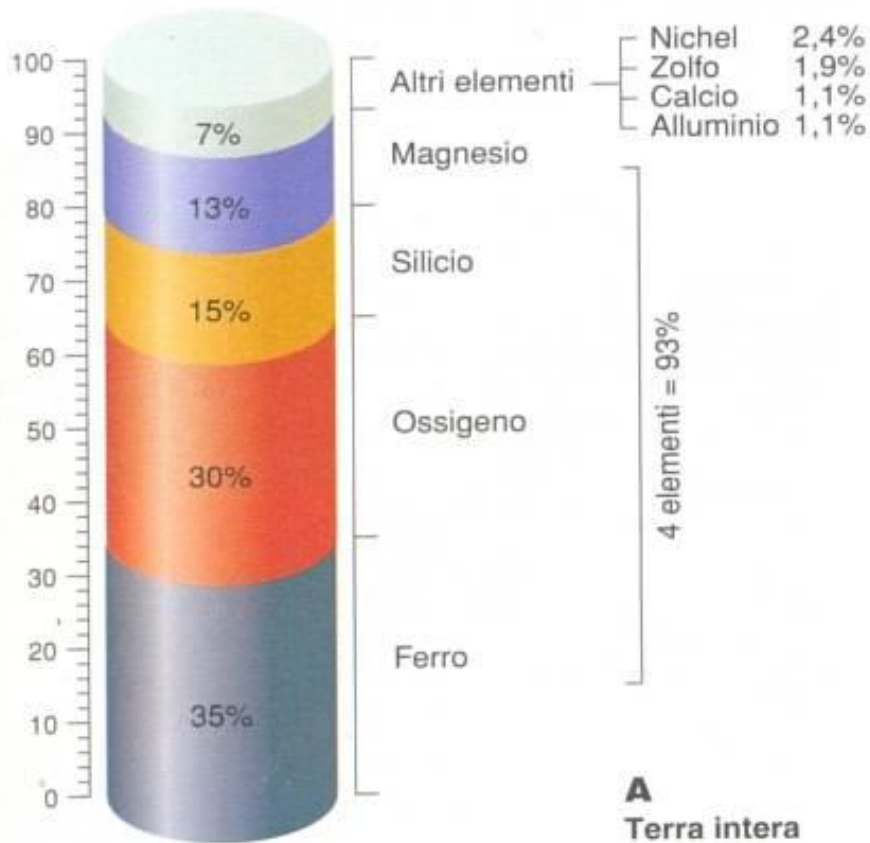
Tavola Periodica degli elementi

1 IA																		18 VIIIA																											
1,0079 1, -1 0,0000099 -259,2 -133 H Idrogeno																		4,0026 0 0,0001785 -272,1 -189 He Elio																											
2 IIA																13 IIIA		14 IVA		15 VA		16 VIA		17 VIIA		18																			
6,941 1, +1 0,534 186,1 1324 Li Litio		9,0122 2 1,85 1281,2 3472 Be Berillio																10,81 3, +3 2,33 2100 3802 B Boro		12,011 4 4,2,-2,-4 2,25 3550 4827 C Carbonio		14,0067 3, -3 5,63,3,3 0,001251 -210 -196 N Azoto		15,9994 2, -2,-1 8,001429 -218,8 -183 O Ossigeno		18,9984 1, -1 0,00169 -221,7 -186 F Fluoro		19,9984 0 0,0009 -248,9 -246 Ne Neon																	
22,9898 1, +1 0,97 87,7 883 Na Sodio		24,305 2 1,74 650 1386 Mg Magnesio																26,9815 3, +3 680,2 2520 3267 Al Alluminio		28,0855 4 1426,4 3267 Si Silicio		30,9738 4, -4 44,1 431 P Fosforo		32,06 2, -2 119 445 S Zolfo		35,453 0 0,00322 -101,7 -186 Cl Cloro		39,948 0 0,001763 -180,4 -186 Ar Argon																	
39,0983 1, +1 0,86 62,8 758 K Potassio		40,08 2 3,02 1538,9 3281 Ca Calcio		44,9559 3 4,5 1690 3289 Sc Scandio		47,9 4 3,2 1538,9 2871 Ti Titanio		50,9415 4 5,43,2 1,88 1900 3409 V Vanadio		51,996 5 7,14 1245 2062 Cr Cromo		54,938 6 7,6,4,3,2,-1 7,88 1538,9 2862 Mn Manganese		55,847 7 6,3,2,-2 8,71 1495 2928 Fe Ferro		58,932 8 3,2,-1 8,88 1455 2956 Co Cobalto		58,7 9 3,2 8,96 1083 2914 Ni Nichel		63,546 10 2,1,-2 7,1 119,4 911 Cu Rame		65,38 11 2 6,96 1083 911 Zn Zinco		69,72 12 3,2 5,83 2247 Al Gallio		72,59 13 4,3 5,73 2247 Ge Germanio		74,9216 14 5,3,3 6,82 220 879 As Arsenico		78,96 15 6,4,-2,-2 0,007129 -189,7 -183 Se Selenio		79,904 0 0,00368 -188,9 -153 Br Bromo		83,8 2 0,00368 -188,9 -153 Kr Kriptone											
85,4678 1, +1 1,33 38,9 694 Rb Rubidio		87,62 2 2,56 780,9 1375 Sr Stronzio		88,9059 3 6,4 1520,9 3338 Y Ittrio		91,22 4 8,57 1830 4409 Zr Zirconio		92,9064 5 10,22 1830 4610 Nb Niobio		95,94 6 10,22 1830 4610 Mo Molibdeno		(98) 7 11,5 2169,9 4627 Tc Tecnezio		101,07 8 3,3 8,6,4,3,2,-2 12,1 2438,9 4119 Ru Rutenio		102,9055 9 4,4 8,6,4,3,2,-1 12,46 1553,9 2964 Rh Rodio		106,4 10 4,2 12,46 1949 2964 Pd Palladio		107,868 11 2,1,-2 10,49 960,5 767 Ag Argento		112,41 12 3 7,28 195,4 2070 Cd Cadmio		114,82 13 3 11,88 204,37 1487 In Indio		118,69 14 4,2 11,34 207,2 1487 Sn Stagno		121,76 15 5,3,3 11,34 207,2 1487 Sb Bismuto		127,6 16 6,4,-2,-2 0,00325 -182,9 -183 Te Tellurio		126,9045 0 0,0055 -182,9 -183 I Iodio		131,3 2 0,0055 -182,9 -183 Xe Xenone											
132,9054 1, +1 1,87 28,5 682 Cs Cesio		137,33 2 2,56 780,9 1375 Ba Bario		138,9055 3 6,4 1520,9 3338 La Lantanio		178,49 4 13,3 2129,4 4603 Hf Hafnio		180,9479 5 16,6 2968,3 5365 Ta Tantalio		183,85 6 15,3 2968,3 5365 W Tungsteno		186,207 7 16,6 2968,3 5365 Re Renio		190,2 8 17,5 2704,4 4967 Os Osmio		192,22 9 17,5 2704,4 4967 Ir Iridio		195,09 10 18,3 2704,4 4967 Pt Platino		196,9665 11 18,3 2704,4 4967 Au Oro		200,59 12 19,3 2704,4 4967 Hg Mercurio		204,37 13 11,88 204,37 1487 Tl Tallio		207,2 14 11,88 204,37 1487 Pb Piombo		208,9804 15 11,88 204,37 1487 Bi Bismuto		(209) 16 11,88 204,37 1487 Po Polonio		(210) 17 11,88 204,37 1487 At Astatina		(222) 18 11,88 204,37 1487 Rn Radone											
223 1, +1 27 874 Fr Francio		226,025 2 18,87 1968,9 3300 Ra Radio		227,028 3 18,87 1968,9 3300 Ac Attinio		(261) 4 18,87 1968,9 3300 Rf Rutherfordio		(262) 5 18,87 1968,9 3300 Db Dubnio		(266) 6 18,87 1968,9 3300 Sg Seaborgio		(264) 7 18,87 1968,9 3300 Bh Bohrio		(277) 8 18,87 1968,9 3300 Hs Hassio		(268) 9 18,87 1968,9 3300 Mt Meitnerio		(271) 10 18,87 1968,9 3300 Ds Darmstadio		(272) 11 18,87 1968,9 3300 Rg Roentgenio		(285) 12 18,87 1968,9 3300 Cn Copernicio																							
																		STATI di AGGREGAZIONE a 20 °C																											
																		SOLIDI		LIQUIDI		GASSOSI		ARTIFICIALI																					
																		58 140,12 4, +4 6,9 793,3 3426 Ce Cerio		59 140,9077 3, +3 6,48 530,9 3512 Pr Praseodimio		60 144,24 3, +3 6,86 1019,9 3698 Nd Neodimio		(145) 4, +3 7,22 1071,9 3480 Pm Promezio		62 150,4 3, +3 7,75 1071,9 3480 Sm Samario		63 151,96 3, +3 5,24 1071,9 3480 Eu Europio		64 157,25 3, +3 7,9 1311,9 3566 Gd Gadolonio		65 158,9254 4, +3 8,23 1366,9 3223 Tb Terbio		66 162,5 4, +3 8,55 1407 3562 Dy Disprozio		67 164,9304 3, +3 8,7 1489,9 2895 Ho Olmio		68 167,26 3, +3 9,07 1489,9 2895 Er Erbio		69 168,9342 3, +3 9,32 1544,9 1947 Tm Tulio		70 173,04 3, +3 6,97 823,9 1194 Yb Itterbio		71 174,967 3, +3 8,84 1662,9 3396 Lu Lutezio	
																		90 232,0381 4, +4 11,5 1842,2 4788 Th Torio		(209) 4, +4 18,7 1129,4 4134 Pa Protoattinio		92 238,029 4, +4 18,7 1129,4 4134 U Uranio		93 237,048 4, +4 18,84 1129,4 4134 Np Nettunio		(244) 4, +4 18,84 1129,4 4134 Pu Plutonio		(243) 4, +4 18,84 1129,4 4134 Am Americio		(247) 4, +4 13,01 1340 3200 Cm Curio		(247) 4, +4 13,01 1340 3200 Bk Berchelio		(251) 4, +4 13,01 1340 3200 Cf Californio		(252) 4, +4 13,01 1340 3200 Es Einsteinio		(257) 4, +4 13,01 1340 3200 Fm Fermio		(258) 4, +4 13,01 1340 3200 Md Mendelevio		(259) 4, +4 13,01 1340 3200 No Nobelio		(260) 4, +4 13,01 1340 3200 Lr Laurenzio	

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, e le grotte ??
- Sondaggi petroliferi (max 6-7 km), sondaggi profondi scientifici (> 10 km) <http://www.icdp-online.org/home/>
- L'interno della terra: indagini indirette, **geofisica**

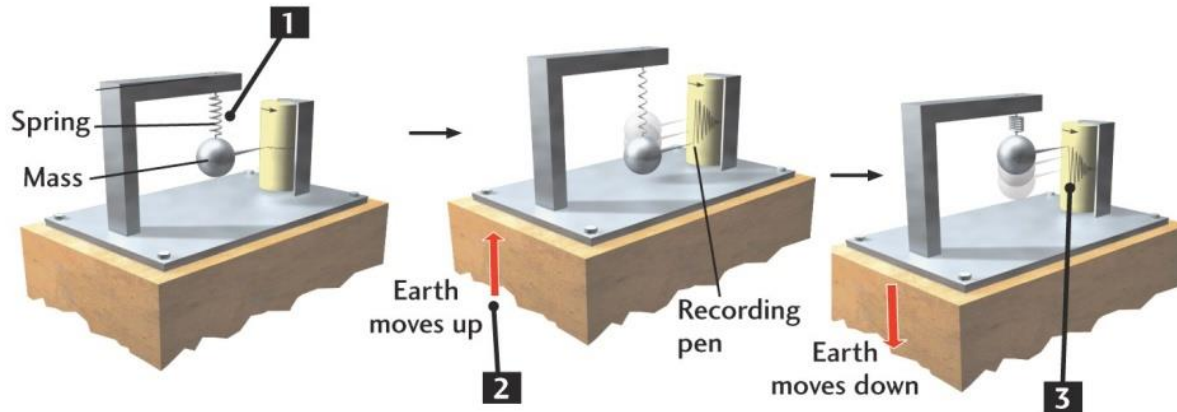
Le onde sismiche: i sismografi



Rivelatore di terremoti di
Zang Heng 130 d.C.

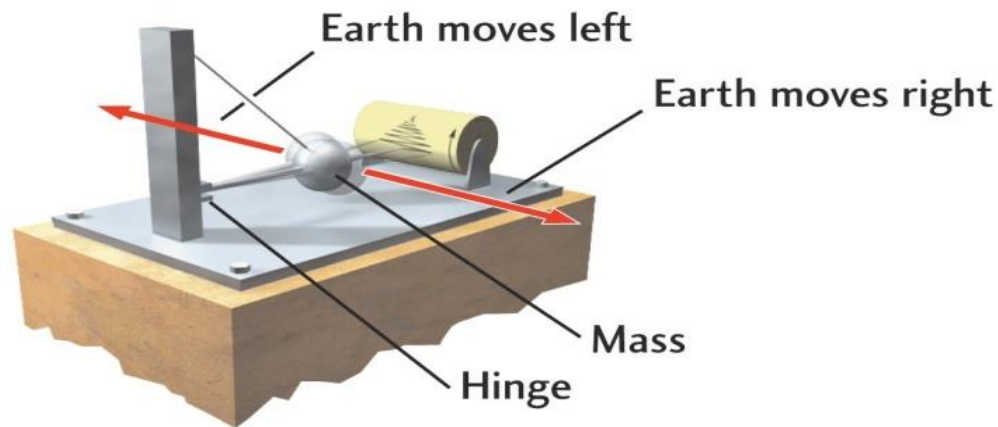


Seismograph designed to detect vertical movement



A molla: fine '800
elettromagnetici:
Luigi Palmieri

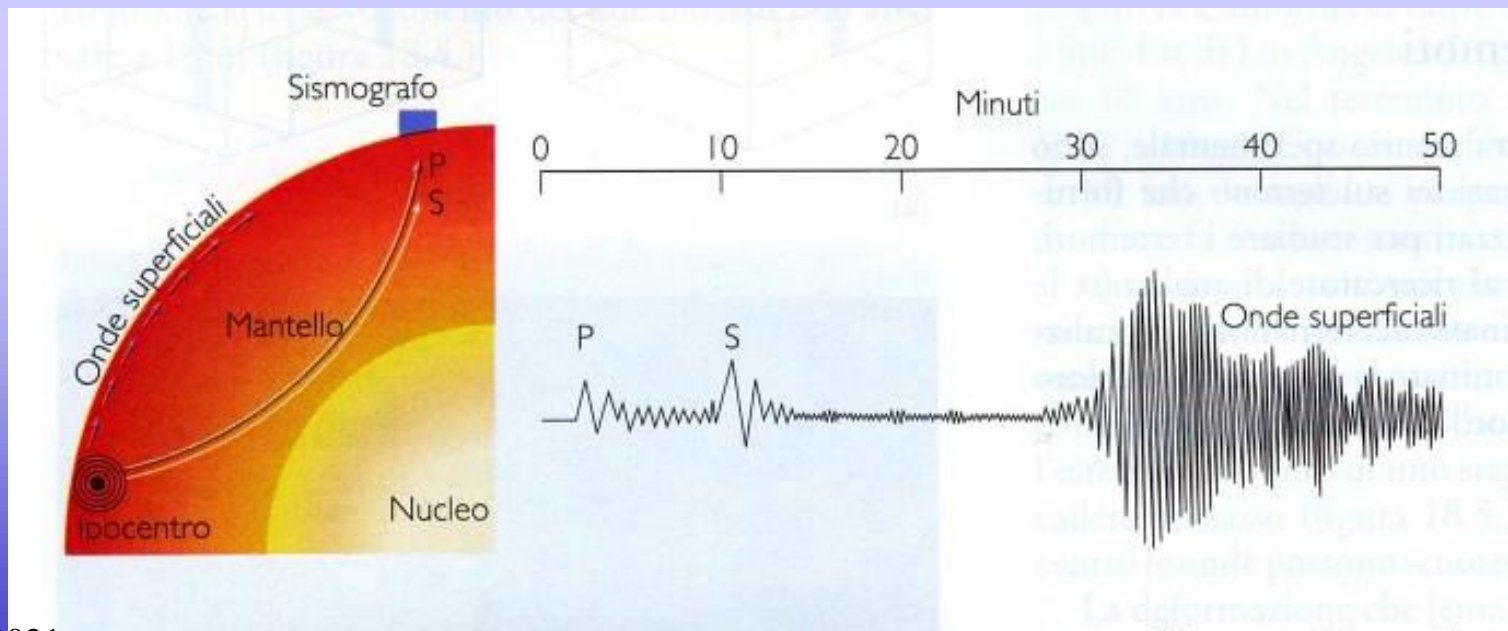
Seismograph designed to detect horizontal movement



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)

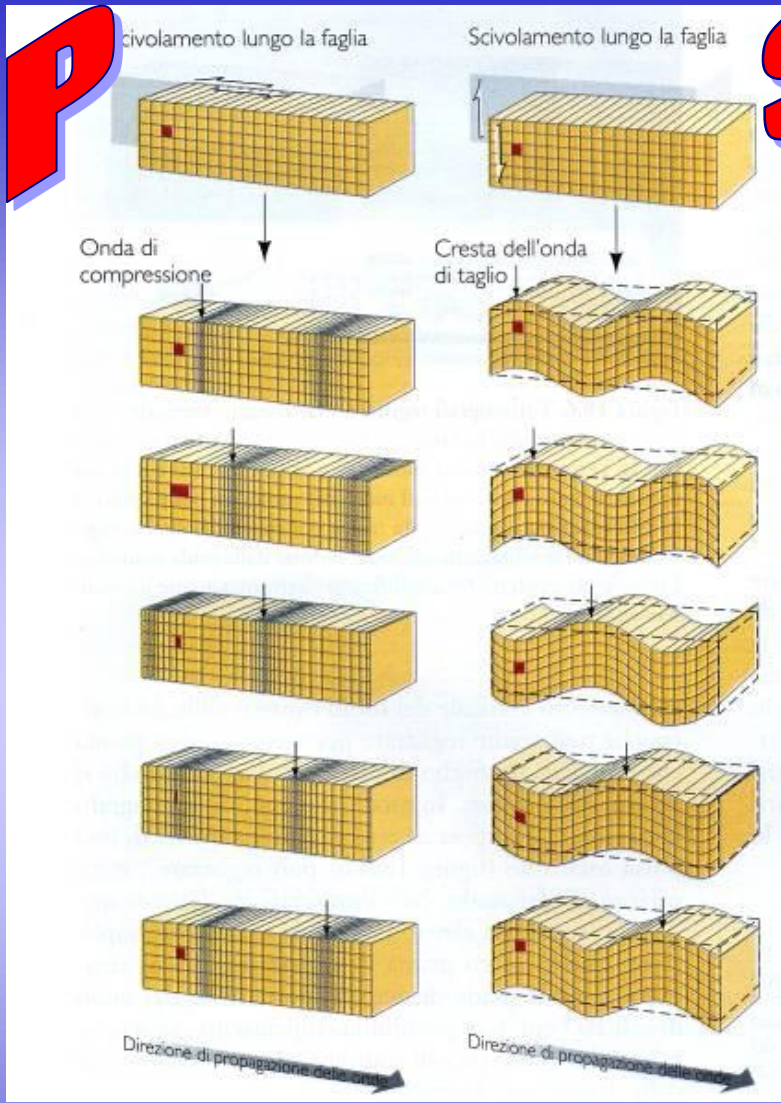


P

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 *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

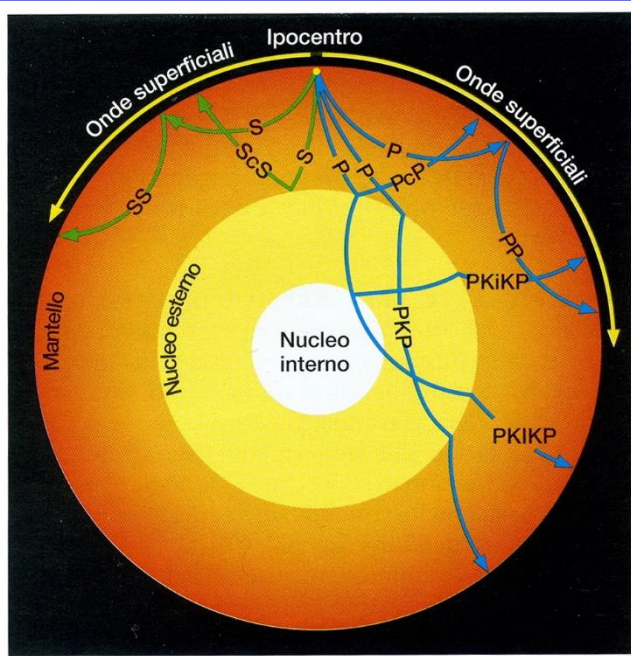
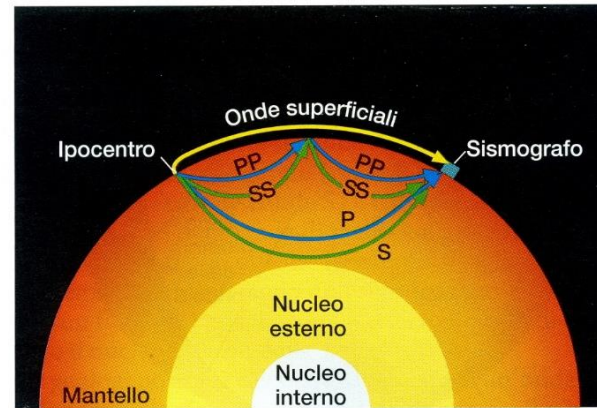


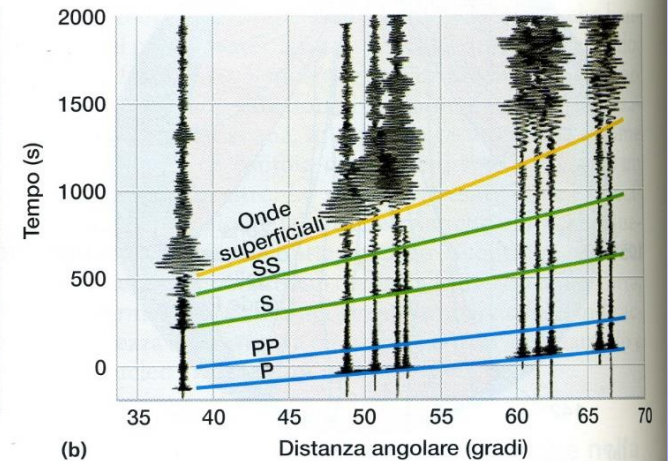
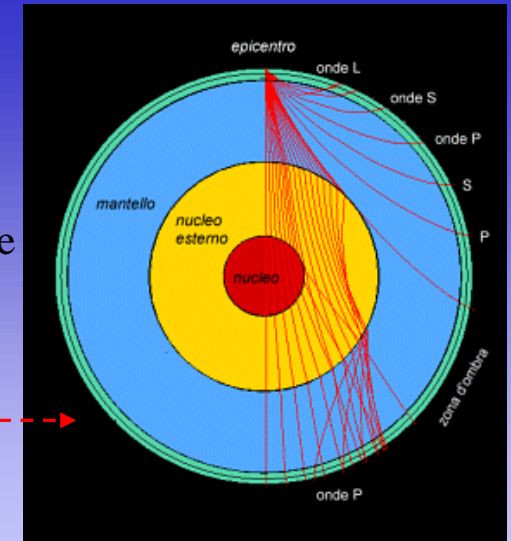
FIGURA 14.3 • I sismologi "etichettano" in modo semplice i diversi percorsi che le onde sismiche compiono. PcP e ScS sono, rispettivamente, onde di compressione e di taglio che vengono riflesse dalla superficie del nucleo. PP e SS sono onde riflesse verso l'interno dalla superficie della Terra, cioè 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, rifratte, e le onde superficiali...

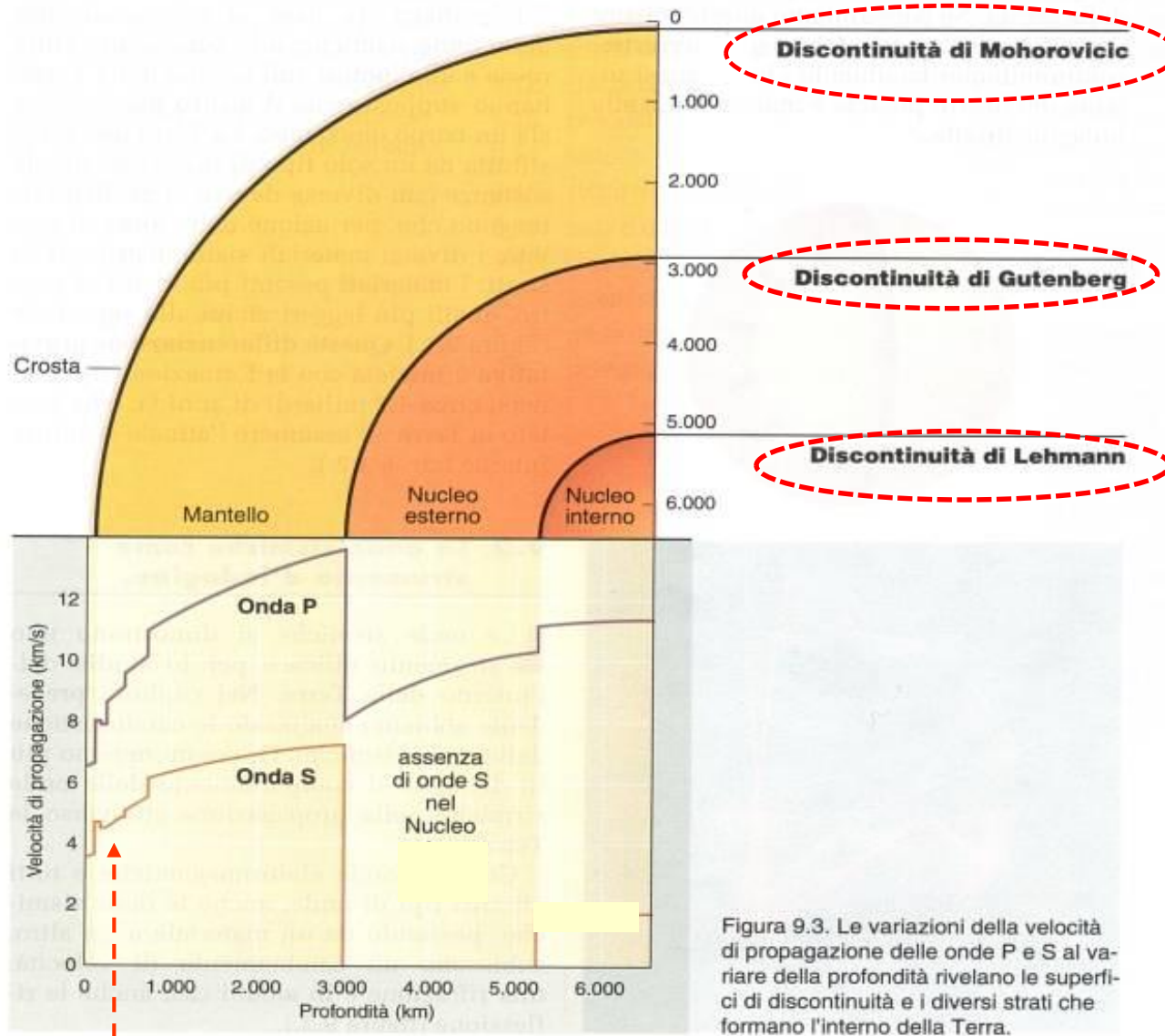


Figura 9.3. Le variazioni della velocità di propagazione delle onde P e S al variare della profondità rivelano le superfici di discontinuità e i diversi strati che formano l'interno della Terra.

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

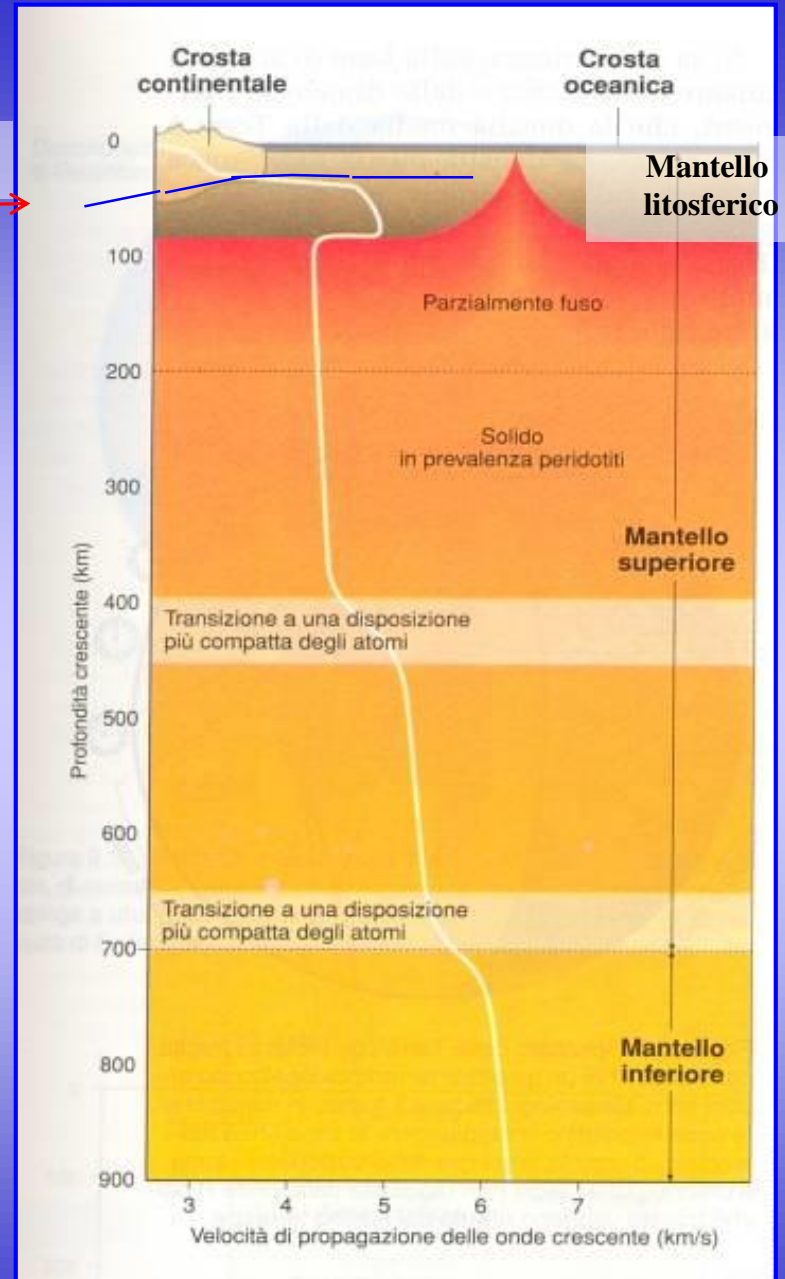
Crosta : 6-7 km/s (6 nei graniti, 7 nei basalti/ gabbri)

Mantello sup

r. ultrabasiche (peridotiti): > 8 km/s

NB La figura non è corretta !a
Velocità → densità → composizione

Moho



Mantello litosferico

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.

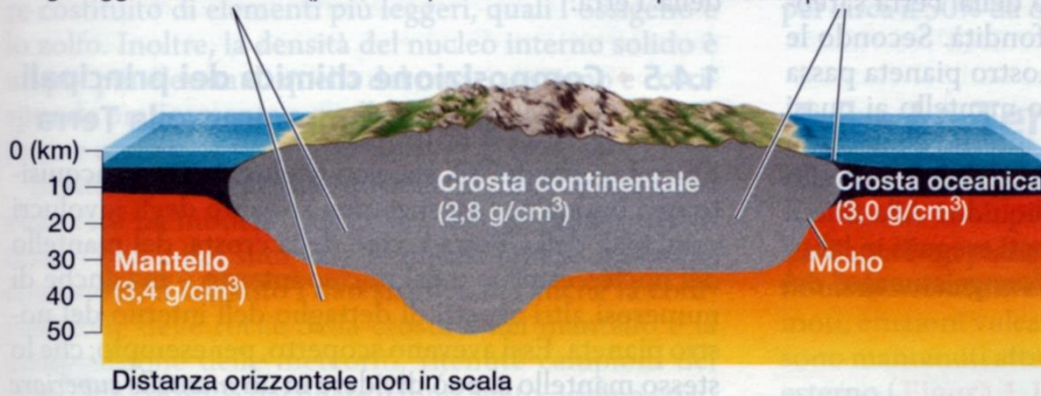


FIGURA 1.11 • Data la minore densità delle sue rocce, la crosta terrestre “galleggia” sul mantello, costituito di materiali più densi. La crosta continentale ha una densità minore di quella oceanica e, di conseguenza, si eleva maggiormente. Ciò spiega la differenza di altitudine tra i continenti e le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

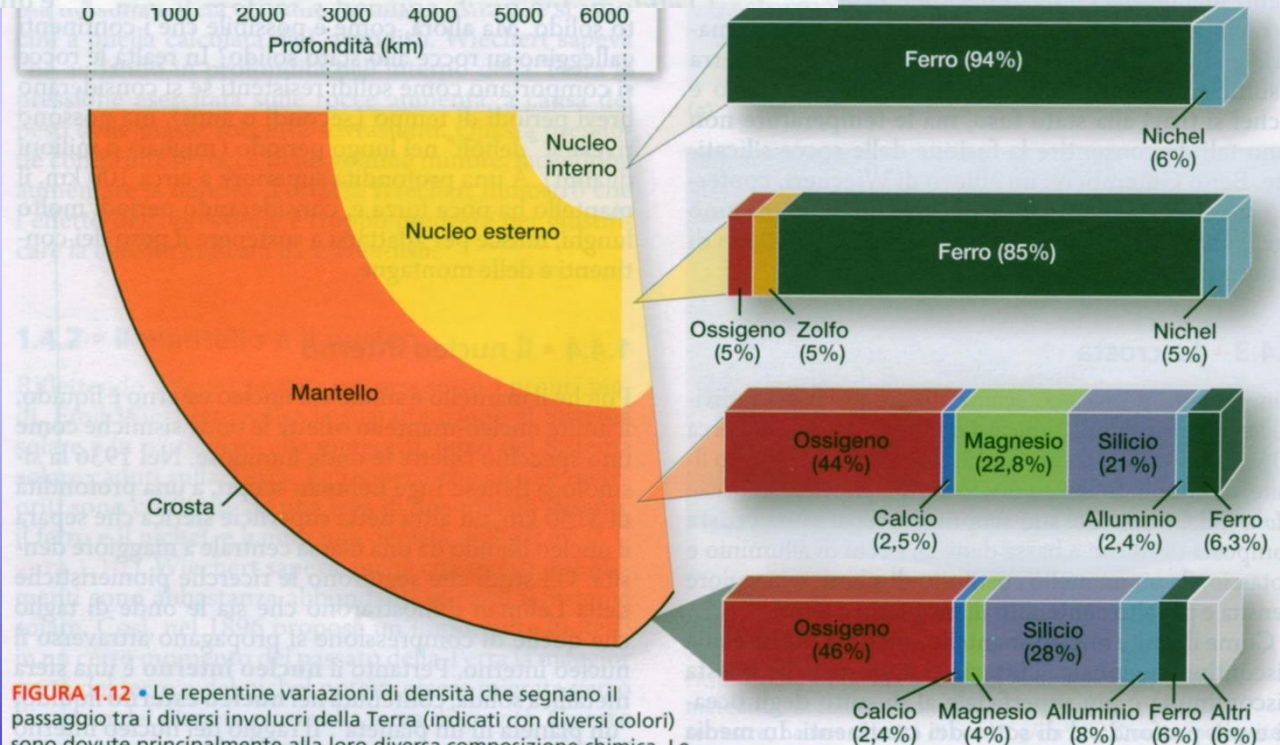


FIGURA 1.12 • Le repentine variazioni di densità che segnano il passaggio tra i diversi involucri della Terra (indicati con diversi colori) sono dovute principalmente alla loro diversa composizione chimica. Le barre sulla destra indicano l'abbondanza percentuale degli elementi presenti negli involucri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

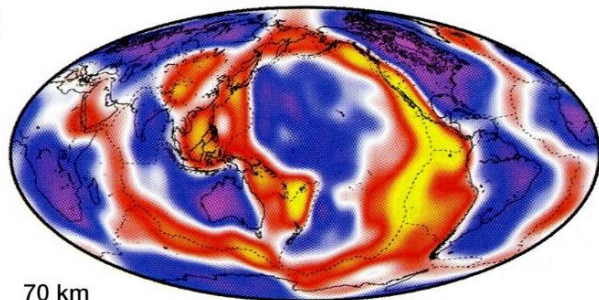
La composizione dell'interno della Terra

- **CROSTA: *Crosta continentale***: rocce sialiche (silicio + alluminio) di varia natura. **Graniti**, rocce metamorfiche e sedimentarie. ***Crosta oceanica***: sedimenti marini non litificati + lave basaltiche + dicchi gabbri (tutte e due **rocce femiche**: ferro + magnesio. Più pesante 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 (10%) + Ossigeno e/o Zolfo

Tomografia interno terra

(b-e) Rappresentazioni globali a quattro diverse profondità

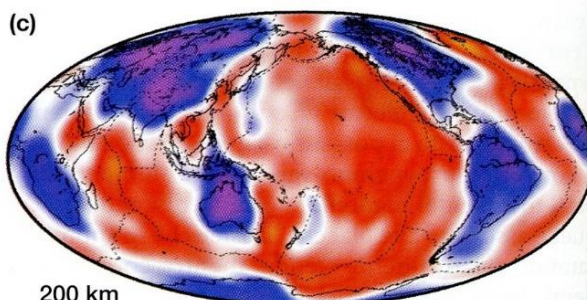
(b)



70 km

Vicino alla superficie terrestre le rocce calde nell'astenosfera si trovano al di sotto dei centri di espansione oceanici.

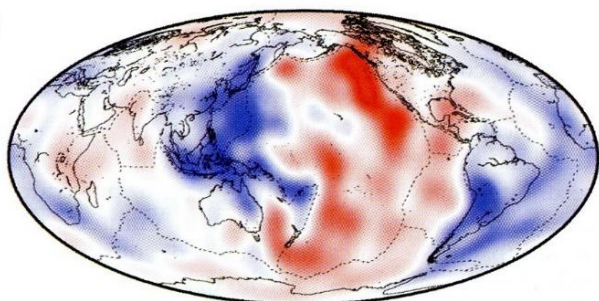
(c)



200 km

Scendendo più in profondità, riconsiamo la litosfera fredda dei cratoni continentali stabili e l'astenosfera, più calda, sotto i bacini oceanici.

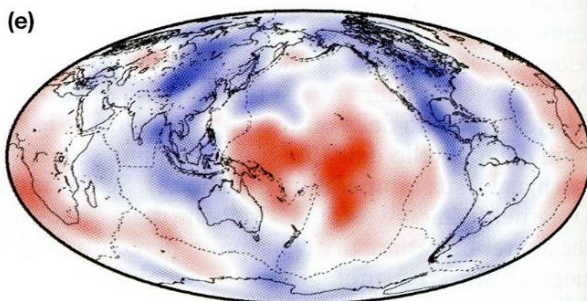
(d)



500 km

Più in profondità nel mantello, le strutture messe in luce dalla tomografia non coincidono più con le posizioni dei continenti.

(e)

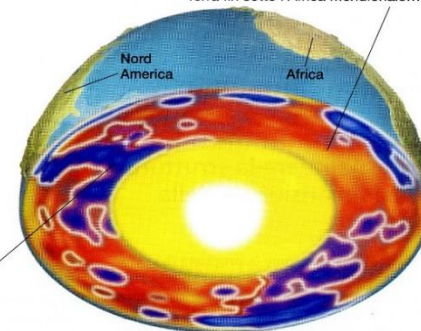


2800 km (vicino al limite nucleo-mantello)

Vicino al limite nucleo-mantello, le regioni più fredde intorno al Pacifico potrebbero essere i "cimiteri" dei lembi di placche litosferiche sprofondate.

(a) Sezione tomografica

Una sezione tomografica attraverso la Terra rivela regioni calde, come un superpennacchio che sta risalendo dal limite del nucleo della Terra fin sotto l'Africa Meridionale...



...come i resti della litosfera sprofondando oceanica.

IPOTESI:
Il mantello al contatto con il nucleo esterno potrebbe avere zone parzialmente Fuse: hot spot

FIGURA 14.11 • Un modello tridimensionale del mantello terrestre realizzato con la tomografia sismica. Le regioni con una velocità delle onde S maggiore (blu e viola) indicano rocce più fredde e più dense; le regioni con onde S più lente (rosse e gialle) indicano rocce più calde e meno dense. (a) Sezione della Terra. (b-e) Rappresentazioni globali a quattro differenti profondità. [Le velocità delle onde S sono di G. Ekström e A. Dziewonski, Harvard University; la sezione (a) è tratta da M. Gurnis, *Scientific American* (Marzo 2001): 40; le rappresentazioni (b-e) sono di L. Chen e T. Jordan, University of Southern California.]

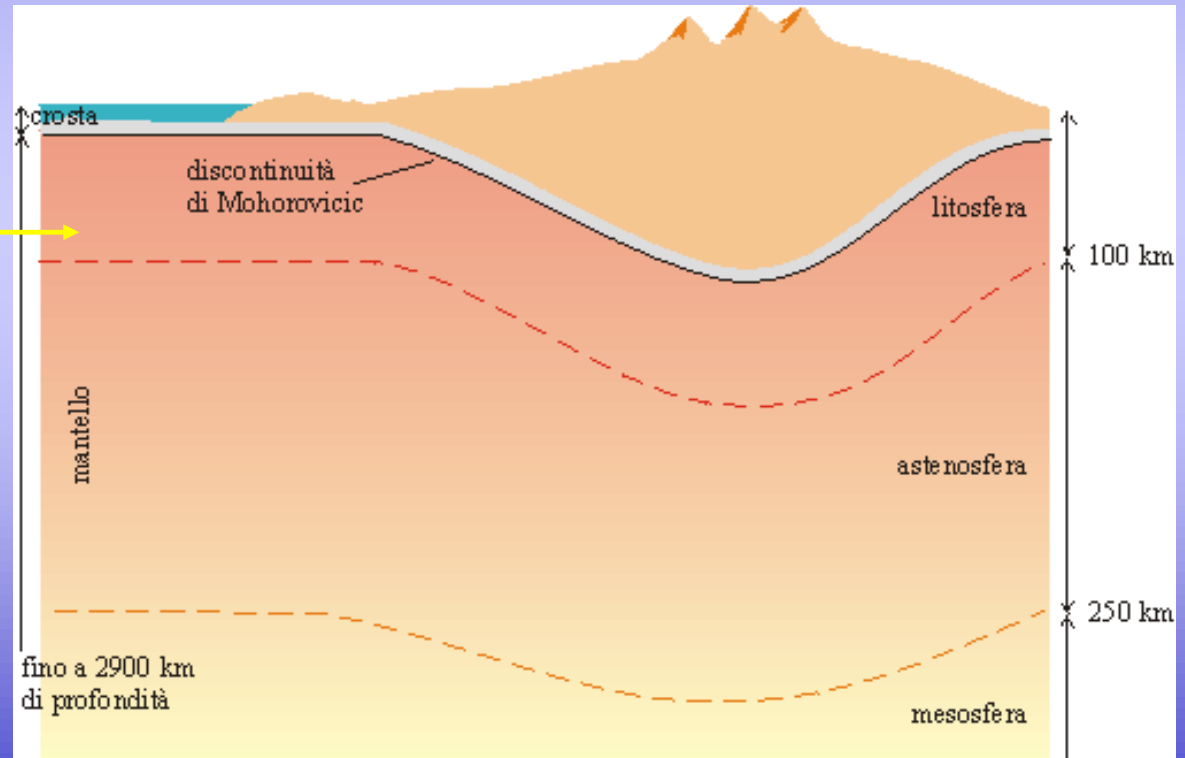
ancora sul nucleo

- Nucleo esterno (tra le discontinuità di Lehman e Gutenberg e Lehmann è composta da una lega di ferro liquida alla temperatura $>$ di $3000\text{ }^{\circ}\text{C}$. Stato liquido (blocca le S e rallenta molto le P), moti convettivi \rightarrow campo magnetico
- nucleo interno: prof. $>$ 5150 km , lega ferro solida, anche se la temperatura è di $4.000, 5.000\text{ }^{\circ}\text{C}$, che sembrerebbe ruotare più velocemente del resto del pianeta

ASTENOSFERA

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**

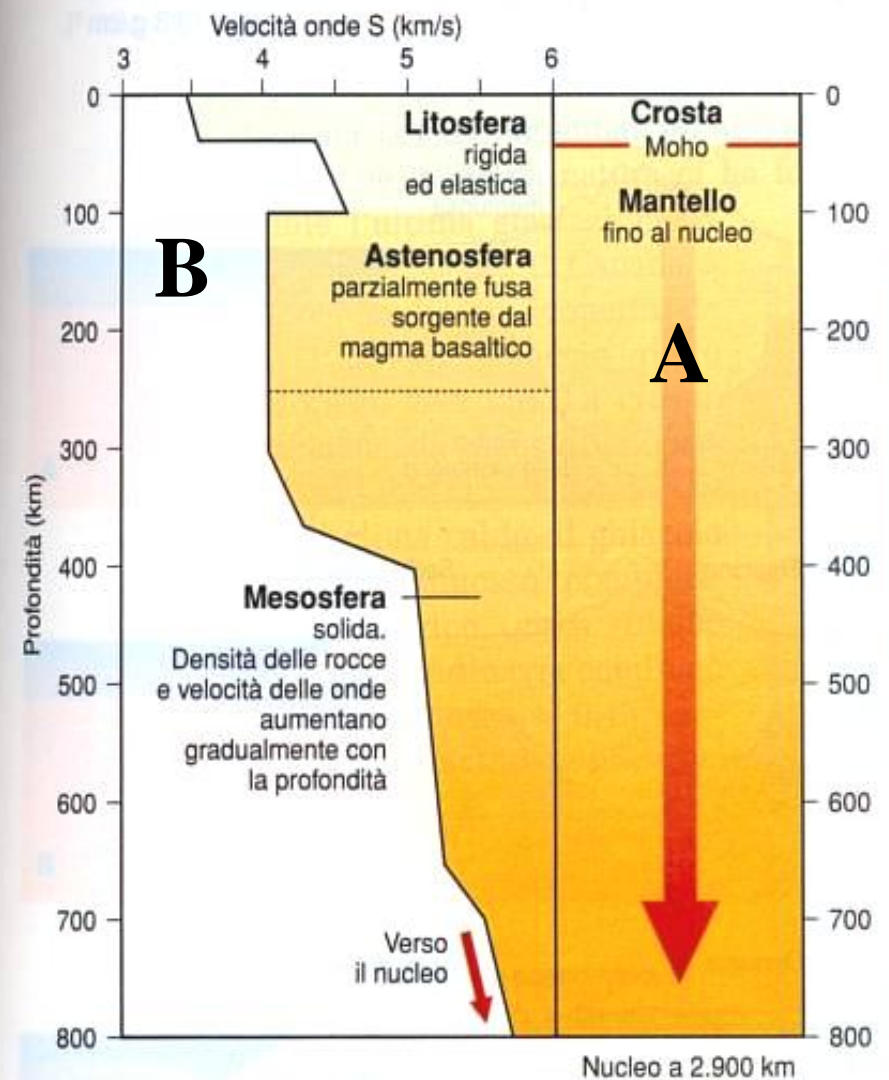
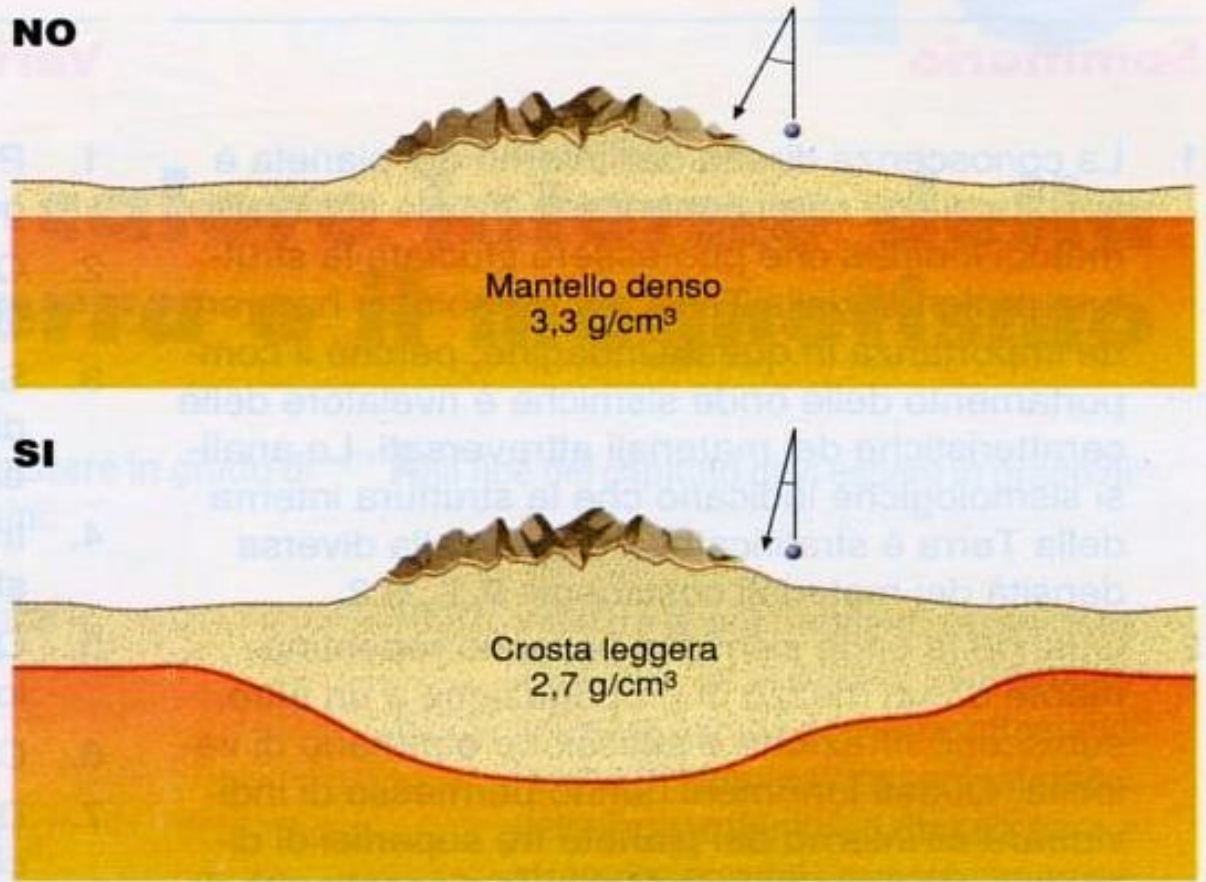


Figura 9.11. Suddivisione degli involucri più esterni della Terra. La zonatura a sinistra è basata sullo stato fisico dei materiali. Questa è quindi una divisione abbastanza oggettiva. La zonatura a destra è basata invece su supposte differenze di composizione chimico-mineralogiche ed è necessariamente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

Ma come si dimostra lo stato fluido dell'astenosfera ??

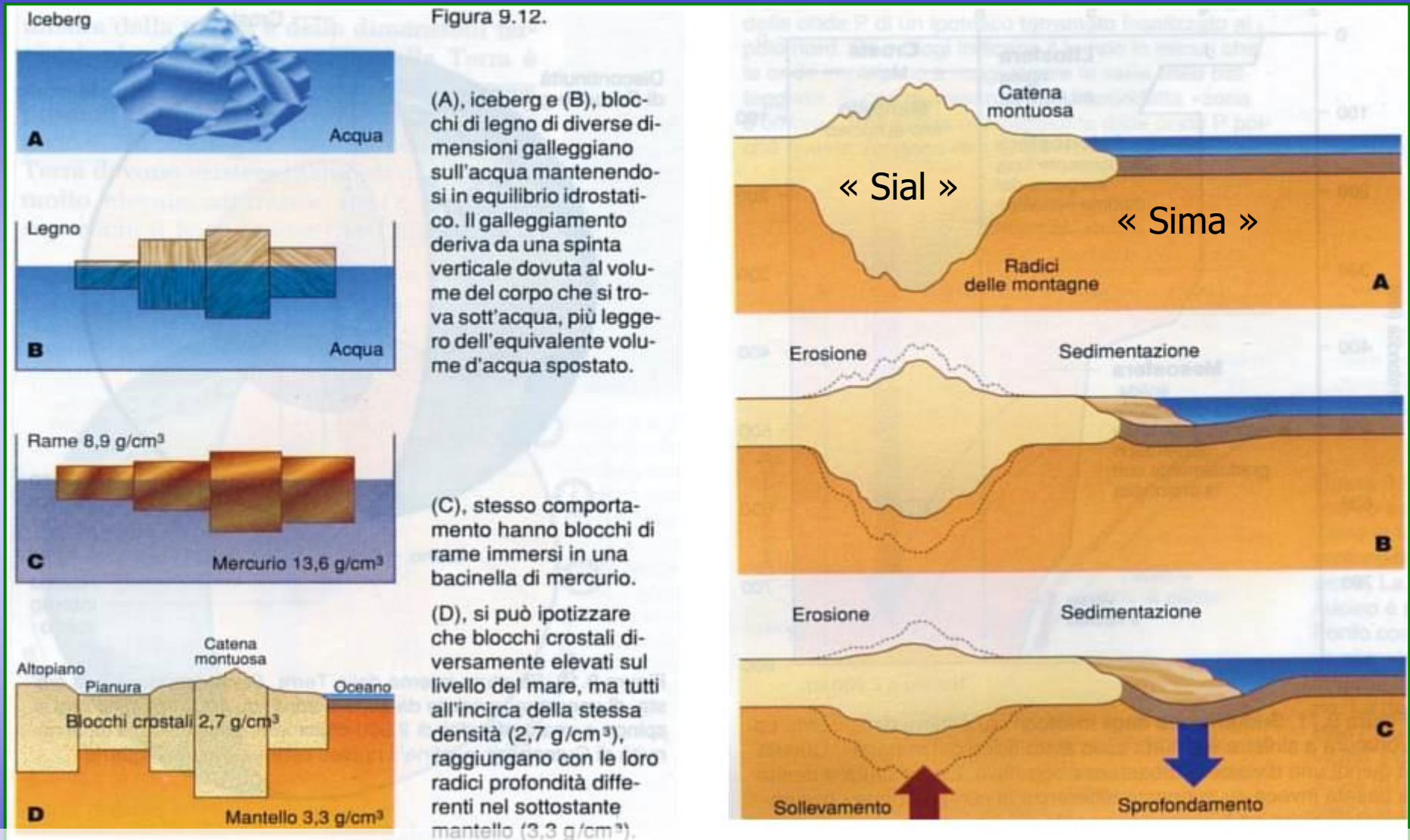
Isostasia (Bouguer, metà del '700)

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)

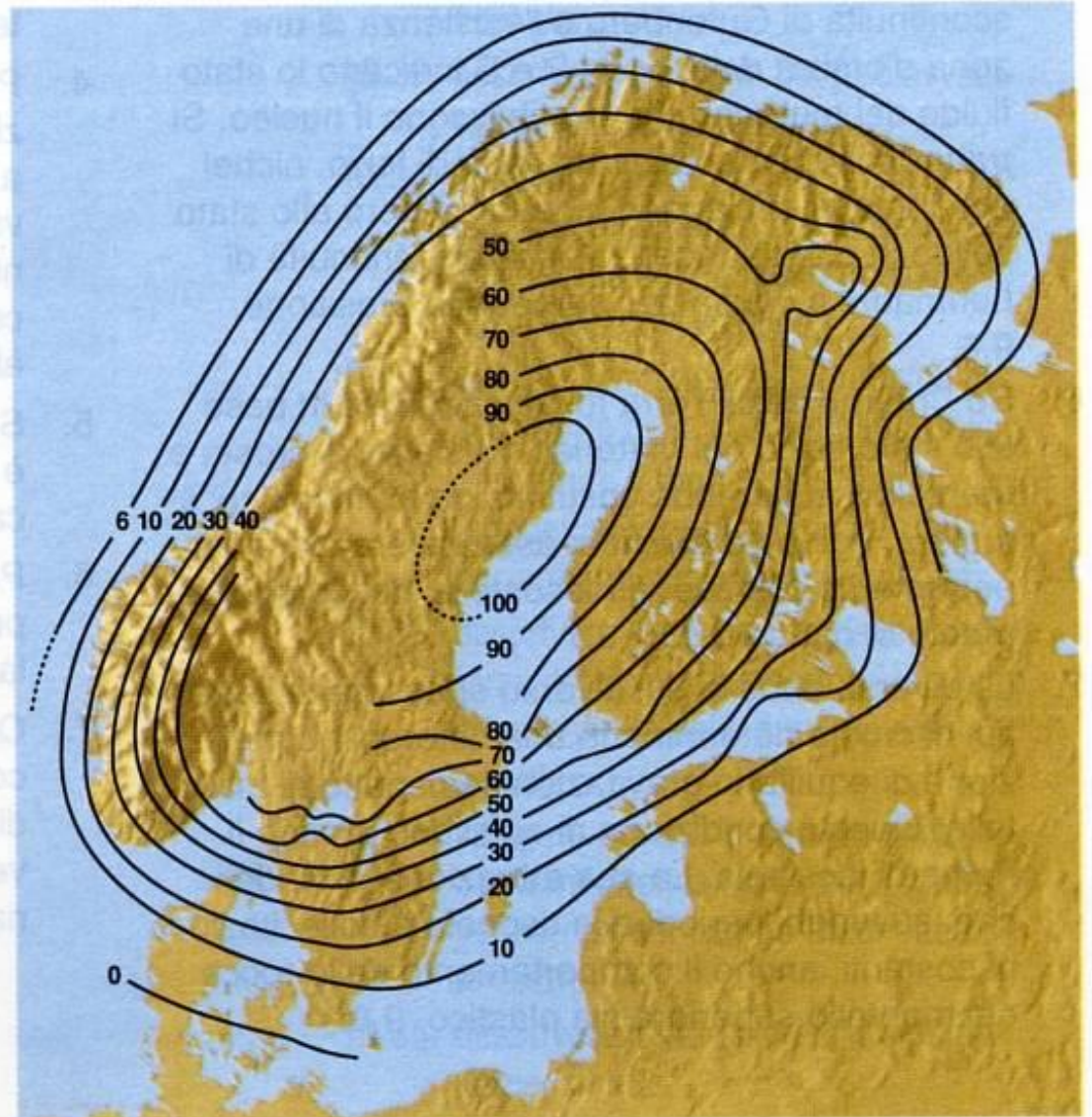


C'è un altro fenomeno che porta ad una ..veloce ..diminuzione del peso della crosta terrestre.

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....

2020-2021

GFGeol STAN File 02

30

Sabbie eoliche

Isostasia e spiagge sollevate in Patagonia

Depositi di spiaggia con conchiglie

Fanghi glaciali

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

2020-2021



ff