

ZANICHELLI

Valitutti, Taddei, Maga, Macario

Carbonio, metabolismo, biotech

**Biochimica, biotecnologie
e tettonica delle placche**

con elementi di chimica organica

ZANICHELLI

Capitolo T1

I fattori del dinamismo interno della Terra

ZANICHELLI

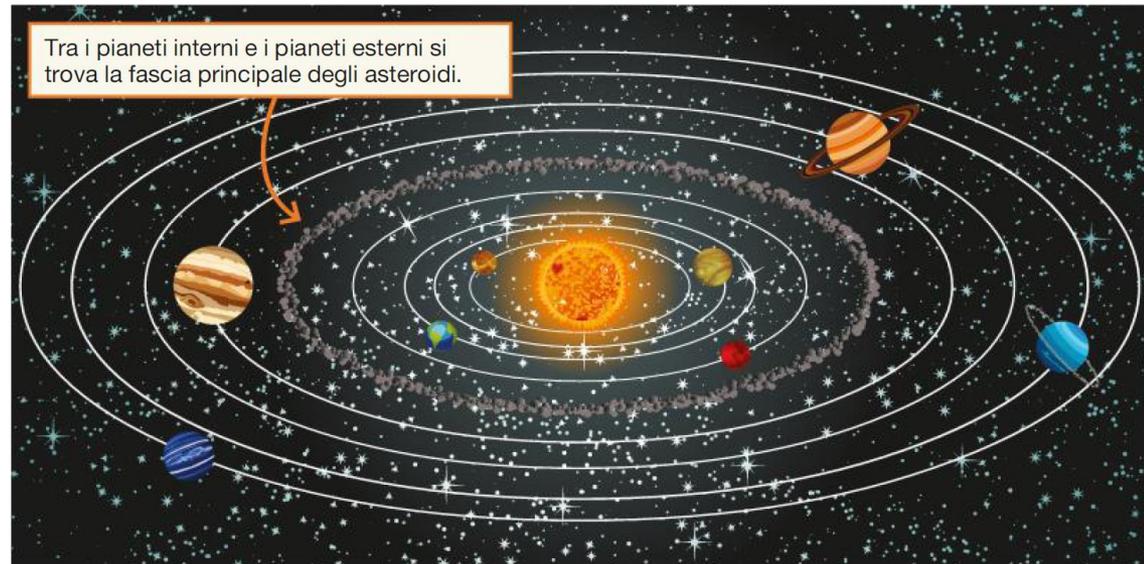
Sommario

1. La Terra è un pianeta del Sistema solare
2. Il calore interno della Terra
3. Il campo geomagnetico
4. Il dilemma del tempo geologico
5. Le prove dirette e indirette per ricostruire la struttura interna della Terra
6. Una carta d'identità per gli strati interni della Terra

La Terra è un pianeta del Sistema solare

La **Terra** è uno degli otto pianeti del Sistema solare. Insieme a Mercurio, Venere e Marte fa parte dei **pianeti interni**, rocciosi e vicini al Sole.

A distanza maggiore si trovano i **pianeti esterni**: Giove e Saturno, gassosi, Urano e Nettuno, composti da ghiacci.



La Terra è un pianeta del Sistema solare

Tutta la materia e l'energia del Sistema solare risalgono alla sua formazione, **4,538 miliardi di anni fa**, quando il collasso gravitazionale di una nebulosa di gas ha formato il **Sole**, circondato da un **disco di accrezione**, o **protoplanetario**.

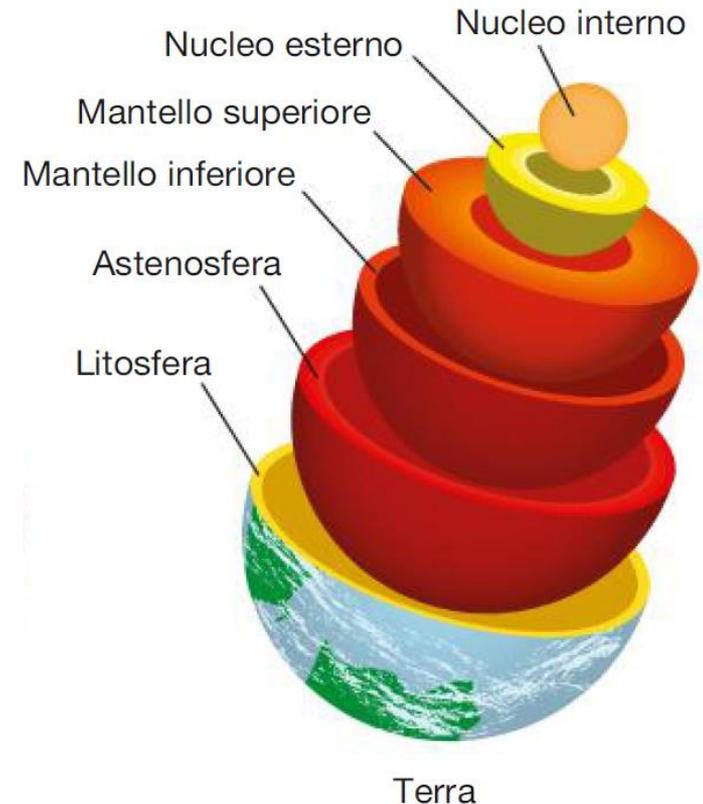
Le polveri del disco si sono aggregate per formare corpi sempre più grandi, fino ai **planetesimi** (oggetti con diametro di 1 km) che, aumentando di dimensione, hanno iniziato a formare i **protopianeti**.

La Terra è un pianeta del Sistema solare

Alcuni **protopianeti** hanno continuato a ingrandirsi, attraendo la materia che incontravano sulla propria orbita, e sono diventati **pianeti**.

Attraverso un processo di differenziazione si sono formati:

- **pianeti rocciosi** (composti da nucleo, mantello e crosta)
- **pianeti giganti** (composti da nucleo e involucro gassoso)



La Terra è un pianeta del Sistema solare

La regione del Sistema solare in cui si verificano condizioni adatte per ospitare forme di vita è chiamata **zona o fascia di abitabilità**. Ne fanno parte la Terra, posta a **149 600 000 km** dal Sole, Venere e Marte.

Perché un pianeta possa ospitare la **vita**, oltre alla distanza dalla stella, sono necessarie altre condizioni:

- acqua liquida
- temperatura
- atmosfera stabile
- elementi chimici (C, H, N, O, P, S)

La Terra è un pianeta del Sistema solare

La Terra è particolarmente adatta alla vita perché:

1. è un **pianeta dinamico**, dove processi endogeni e esogeni rendono biodisponibile la materia
2. è dotata di un **campo magnetico** stabile e intenso che la protegge dalle particelle del vento solare
3. possiede un'**atmosfera** che filtra le radiazioni elettromagnetiche più energetiche
4. possiede un **satellite naturale** che stabilizza la direzione dell'asse di rotazione e garantisce ritmi stagionali costanti

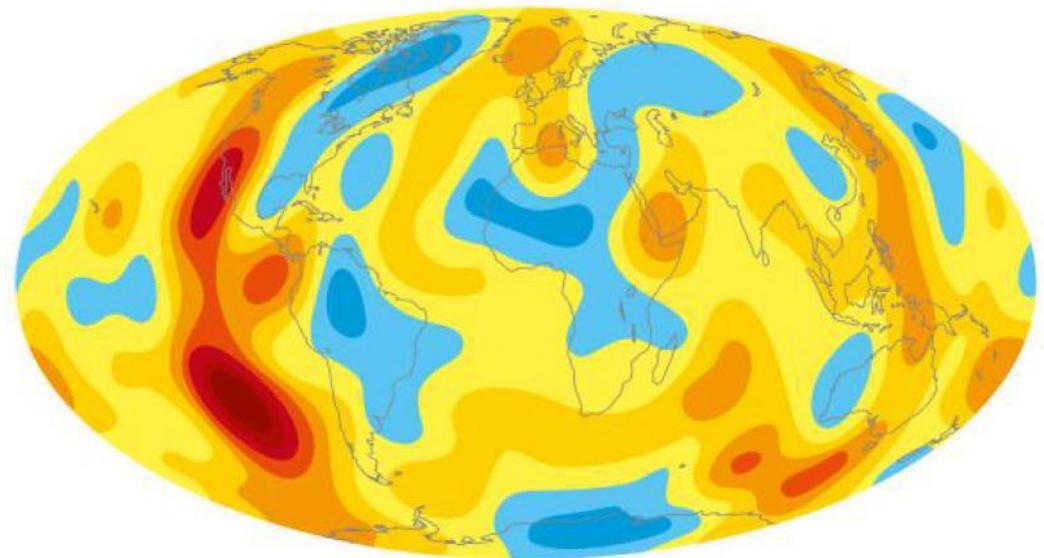
Il calore interno della Terra

La Terra è un pianeta dinamico grazie al **calore endogeno**.
Il **flusso di calore** è la quantità di calore emesso per unità di tempo e di superficie in ogni punto della Terra.

Si misura in HFU
Heat Flow Unit

$$1 \text{ HFU} = 41,8 \text{ mW/m}^2$$

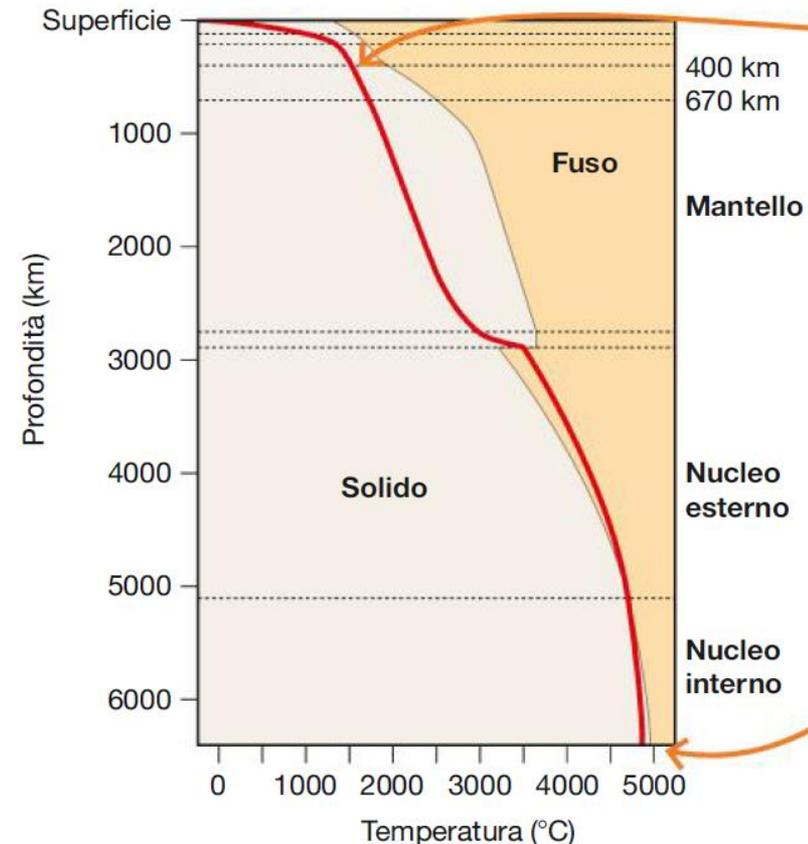
$$1 \text{ HFU} = 1 \text{ cal/cm}^2/\text{s}$$



Il calore interno della Terra

Il **gradiente geotermico** è l'aumento di temperatura che si registra ogni 100 m di profondità.

- La temperatura aumenta in media di circa $2-3\text{ }^{\circ}\text{C} / 100\text{ m}$
- L'effettivo andamento del gradiente geotermico è descritto da una curva chiamata **geoterma**



Il calore interno della Terra

Il calore endogeno deriva da due meccanismi.

- Il **calore radiogenico**, che si genera da processi di decadimento radioattivo che avvengono in particolare nella crosta terrestre
- Il **calore primordiale**, residuo del calore prodotto e accumulato all'interno della Terra durante le prime fasi della sua formazione

Il campo geomagnetico

La Terra è uno dei corpi del Sistema solare dotato di un proprio campo magnetico, generato da 4 componenti:

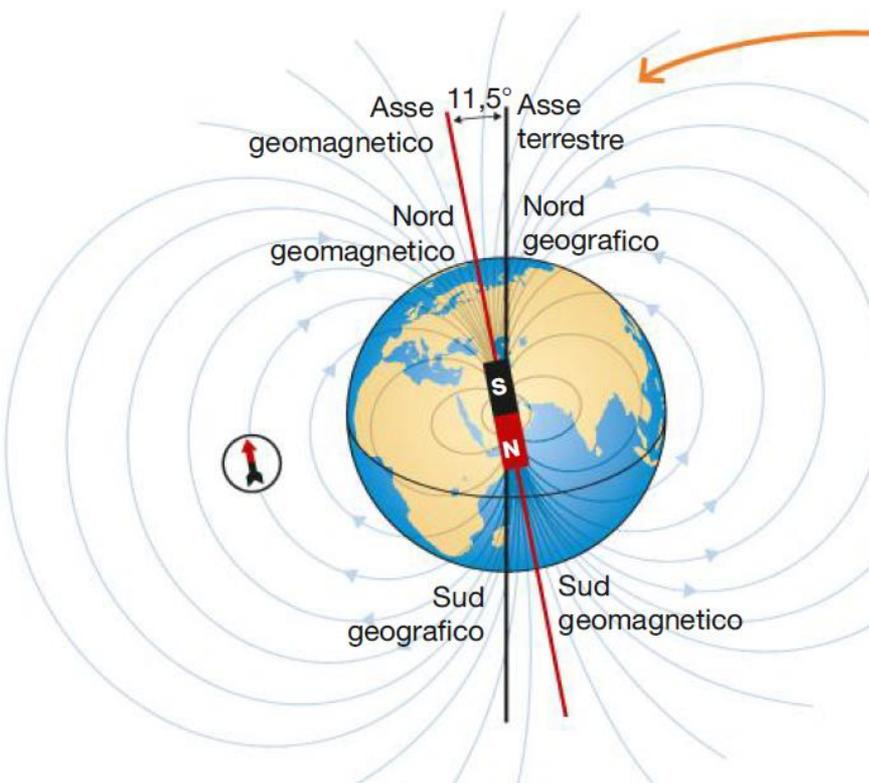
1. **campo geomagnetico** (principale) di tipo dipolare
2. campo crostale
3. campo esterno
4. campo d'induzione elettromagnetico

I punti in cui l'asse del campo geomagnetico interseca la superficie terrestre sono i **Poli geomagnetici**.

I punti in cui l'ago magnetico della bussola è perpendicolare alla superficie terrestre sono i **Poli magnetici**.

Il campo geomagnetico

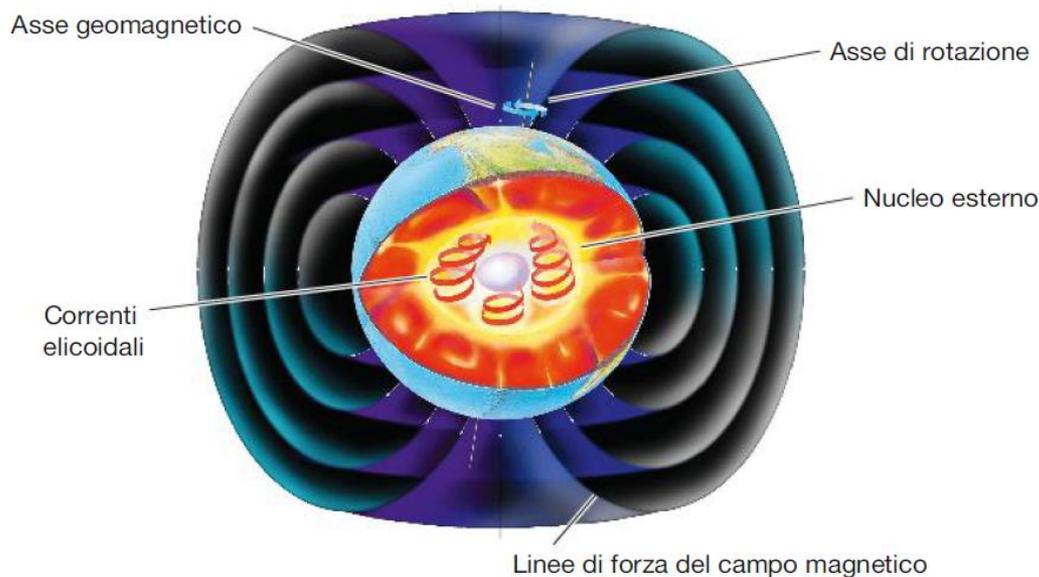
Il campo geomagnetico è paragonabile al **dipolo magnetico** generato da un ipotetico magnete posto all'interno della Terra.



- L'asse magnetico è **inclinato** di $11,5^\circ$ rispetto all'asse di rotazione (i Poli geomagnetici non coincidono con i Poli geografici)
- I Poli magnetici si spostano del 5% ogni anno

Il campo geomagnetico

L'ipotesi più accettata per spiegare l'origine del campo geomagnetico è la **teoria della geodinamo**.



Il modello ipotizza la presenza di **correnti elettriche elicoidali** che interessano il materiale allo stato fuso del nucleo esterno.

Le correnti genererebbero per **induzione** il campo magnetico dipolare.

Il campo geomagnetico

Il campo geomagnetico non è costante né nello spazio né nel tempo. Si sono addirittura registrate numerose **inversioni di polarità** del campo.

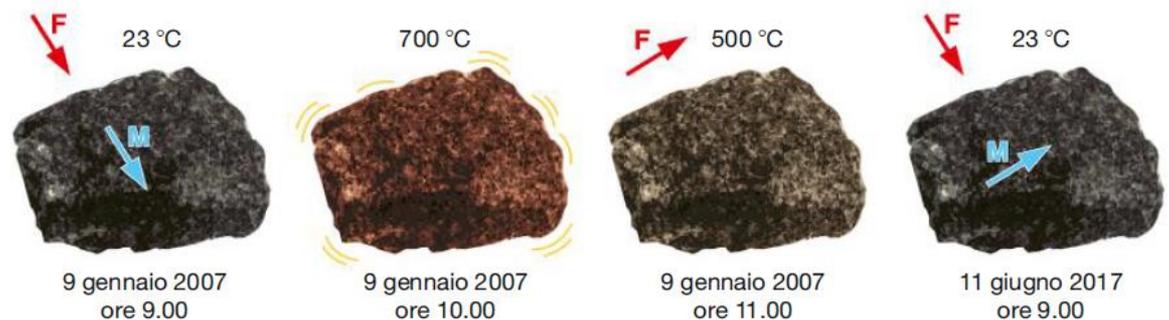
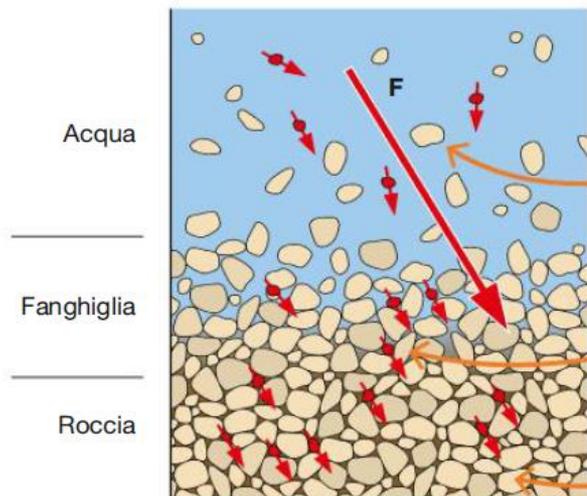
Le **rocce** testimoniano le variazioni del campo magnetico:

- i cristalli si orientano lungo le linee di forza del campo esistente al momento della formazione delle rocce (**magnetizzazione primaria permanente**)
- il **paleomagnetismo** studia le caratteristiche del magnetismo presente per cause naturali nelle rocce

Il campo geomagnetico

La magnetizzazione primaria permanente delle rocce si produce in due modi diversi:

- **magnetizzazione termica residua (rocce magmatiche)**



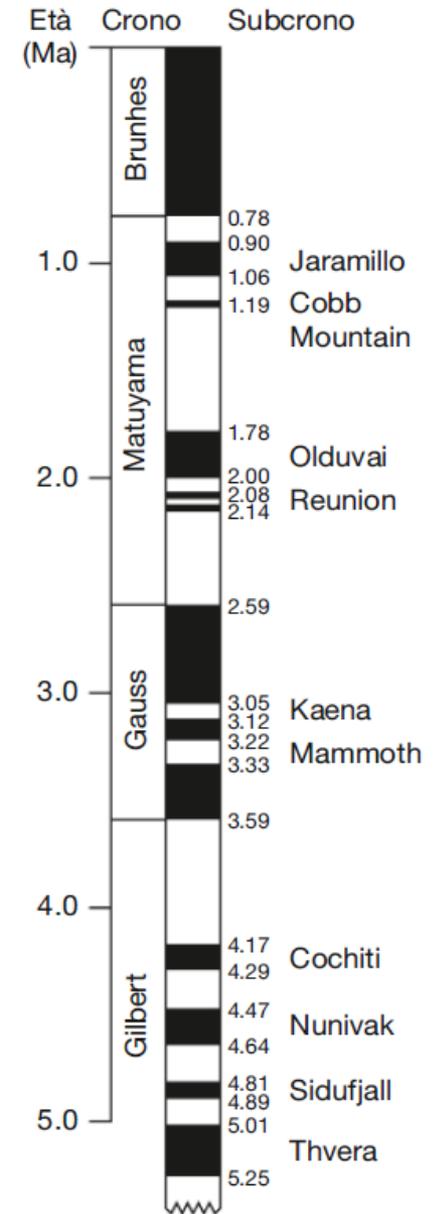
- **magnetizzazione detritica residua (rocce sedimentarie)**

Il campo geomagnetico

Le analisi paleomagnetiche hanno dimostrato che si sono verificate oltre **300 inversioni di polarità** complete negli ultimi 166 milioni di anni.

La polarità del campo magnetico rimane costante per un periodo di tempo chiamato **crono**.

1 crono = 10^5 a 10^6 anni



Il dilemma del tempo geologico

Problemi:

- **datare** con precisione un evento nel passato
- **calcolare** la durata dell'evento

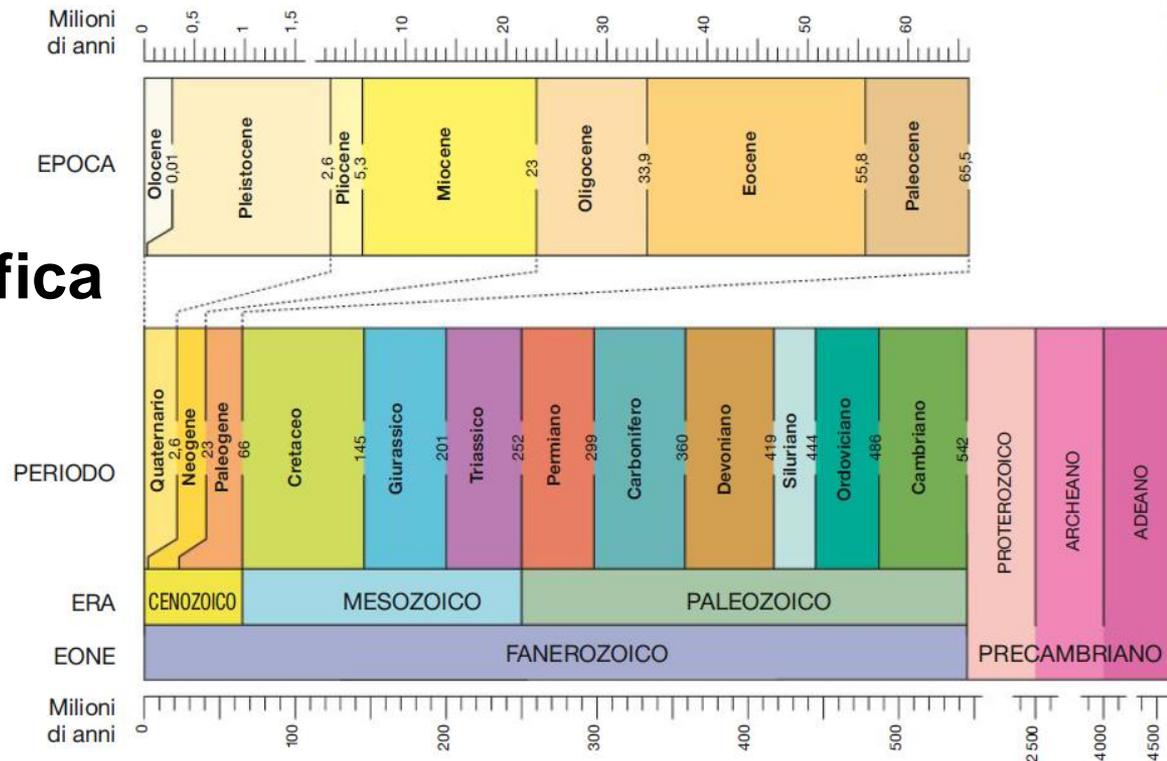
Esistono due tipi di datazione:

1. **relativa**, permette di ricostruire sequenze temporali stabilendo soltanto l'ordine con cui gli eventi si sono succeduti (principi stratigrafici e studio dei fossili)
2. **assoluta** o **numerica**, si basa in particolare sui metodi radiometrici che sfruttano la presenza di radioisotopi nei campioni da datare

Il dilemma del tempo geologico

Datazione relativa e assoluta hanno permesso di ricostruire la scala cronologica degli eventi geologici e biologici che si sono succeduti nel tempo sulla Terra.

scala cronostratigrafica



Prove dirette e indirette per ricostruire la struttura interna della Terra

Per ricavare informazioni sulla struttura interna della Terra si può ricorrere a prove dirette e a prove indirette.

- Le **miniere** e i **pozzi di perforazione** forniscono prove dirette sul gradiente geotermico (massimo 13,5 km di profondità)
- Altri dati diretti provengono dallo studio degli **xenoliti**, frammenti di rocce del mantello che rimangono intrappolati nel magma in risalita e che si rinvencono nelle rocce magmatiche effusive

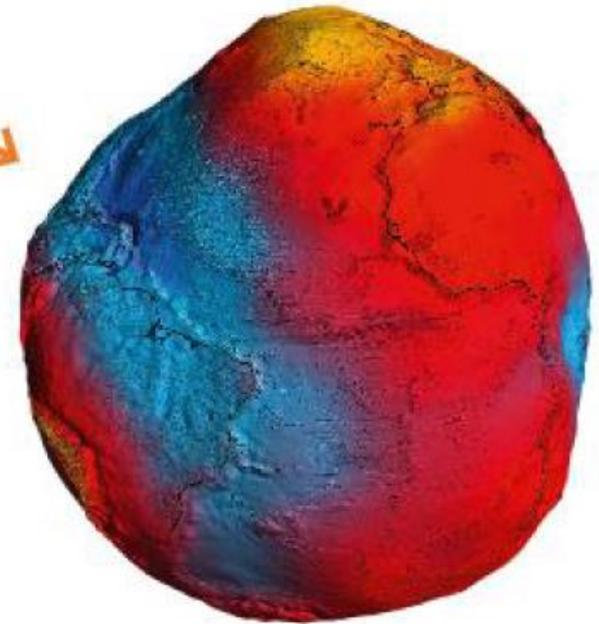


Prove dirette e indirette per ricostruire la struttura interna della Terra

Le prove indirette sono, per esempio:

- la **densità delle rocce**, che indica che i materiali di cui è costituita la Terra sono molto più densi al suo interno
- lo studio dei **meteoriti**
- lo studio della **gravità superficiale**
- lo studio delle **onde sismiche**

La diversa distribuzione delle masse genera anomalie gravimetriche che si ripercuotono sulla forma tridimensionale del pianeta, chiamata geoida.



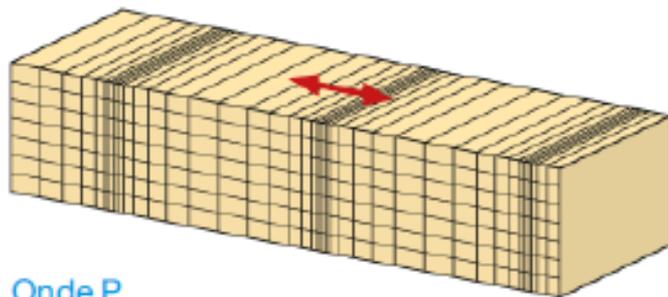
Prove dirette e indirette per ricostruire la struttura interna della Terra

La **sismologia** fornisce gli strumenti più importanti per comprendere l'interno della Terra.

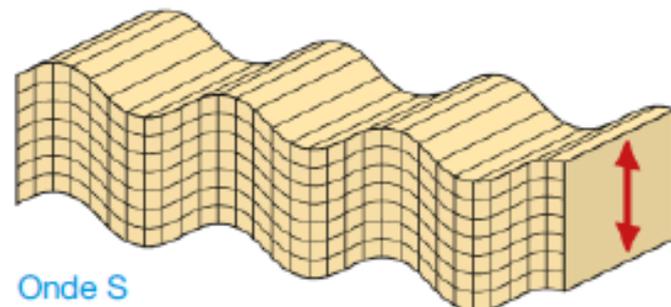
Le onde sismiche fondamentali sono le **onde di volume**, che attraversano l'intero globo terrestre al suo interno, e le **onde superficiali**, che si propagano solo in superficie.

Esistono due tipi di onde di volume:

- le **onde P**, onde di compressione (longitudinali)
- le **onde S**, onde di taglio (trasversali)



Onde P

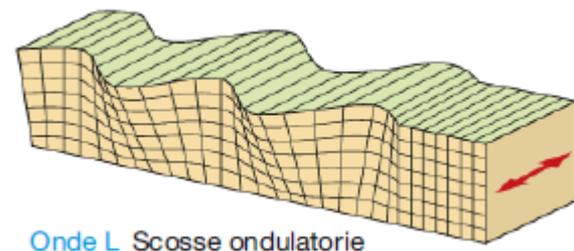
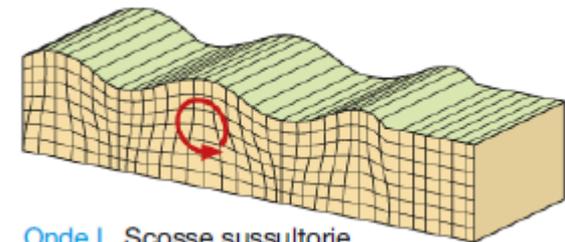


Onde S

Prove dirette e indirette per ricostruire la struttura interna della Terra

Quando le onde P e le onde S raggiungono la superficie, interferiscono tra loro e generano, a partire dall'epicentro, le **onde superficiali**, indicate come **onde L**:

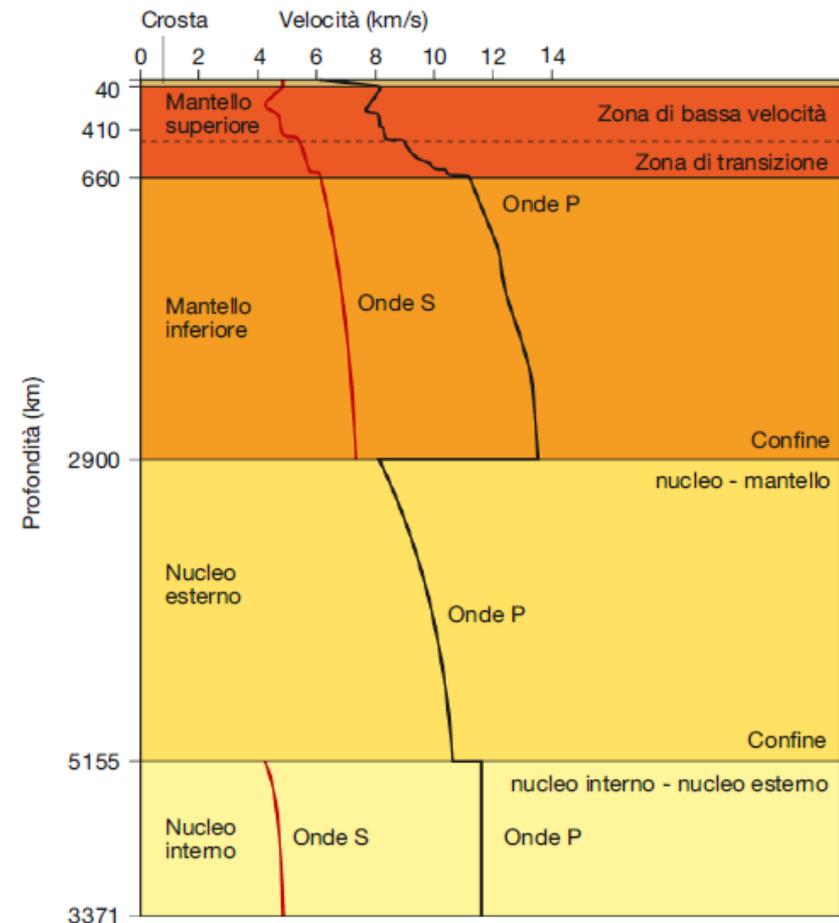
- le **onde di Rayleigh** inducono vibrazioni nel terreno secondo orbite ellittiche e retrograde rispetto alla direzione di propagazione dell'onda
- le **onde di Love** fanno vibrare il suolo sul piano orizzontale, senza che vi sia una componente verticale del moto



Prove dirette e indirette per ricostruire la struttura interna della Terra

La velocità e la direzione di propagazione delle onde sismiche variano in corrispondenza delle **superfici di discontinuità**.

- Discontinuità crosta–mantello o **di Mohorovicic**
- Discontinuità mantello-nucleo esterno o **di Gutenberg**
- Discontinuità nucleo esterno-nucleo interno o **di Lehmann**

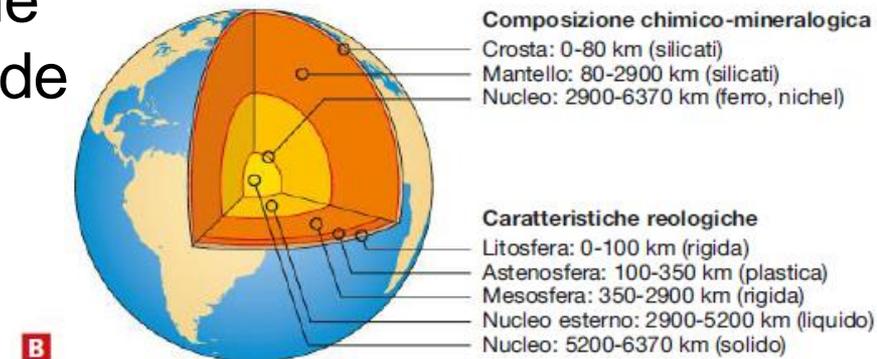
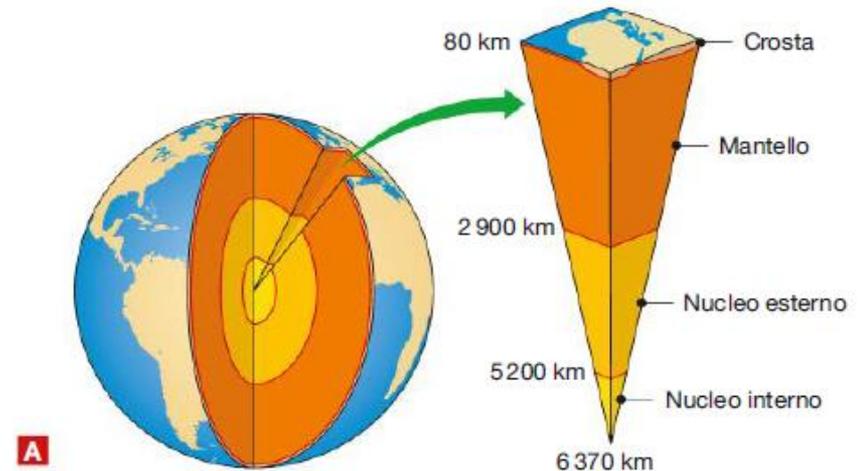


Una carta d'identità per gli strati interni della Terra

I modelli relativi alla struttura interna della Terra differiscono a seconda che si prendano in considerazione **criteri chimico-mineralogici** **A** o le **proprietà meccaniche** dei materiali **B**.

In base alle caratteristiche chimiche e mineralogiche la Terra si suddivide in tre «gusci» concentrici:

- **crosta**
- **mantello**
- **nucleo**



Una carta d'identità per gli strati interni della Terra

La **crosta** è lo strato più superficiale della Terra. Dalla crosta i viventi ricavano tutti i minerali di cui hanno bisogno, compresa l'acqua.

- La crosta è spessa solo lo 0,1-1,0% rispetto al raggio terrestre, quindi è una **sottile pellicola**
- La crosta continentale è spessa fino a 70-80 km; la crosta oceanica è spessa fino a 5-15 km
- La crosta continentale è meno densa della crosta oceanica

La **discontinuità di Mohorovicic** delimita il confine con il mantello sottostante.

Una carta d'identità per gli strati interni della Terra

Il **mantello** è situato sotto la crosta e costituisce oltre l'80% del volume terrestre. È costituito di rocce ultramafiche, scure e molto dense, come le **peridotiti**.

Il mantello viene suddiviso in:

- **mantello superiore** (fino a 600 km circa)
- **mantello inferiore** (oltre i 600 km)

Una parte del mantello superiore si trova allo **stato parzialmente fuso**, tanto che può lentamente fluire.

Il mantello si estende fino a 2900 km circa di profondità, fino al contatto con il nucleo (**discontinuità di Gutenberg**).

Una carta d'identità per gli strati interni della Terra

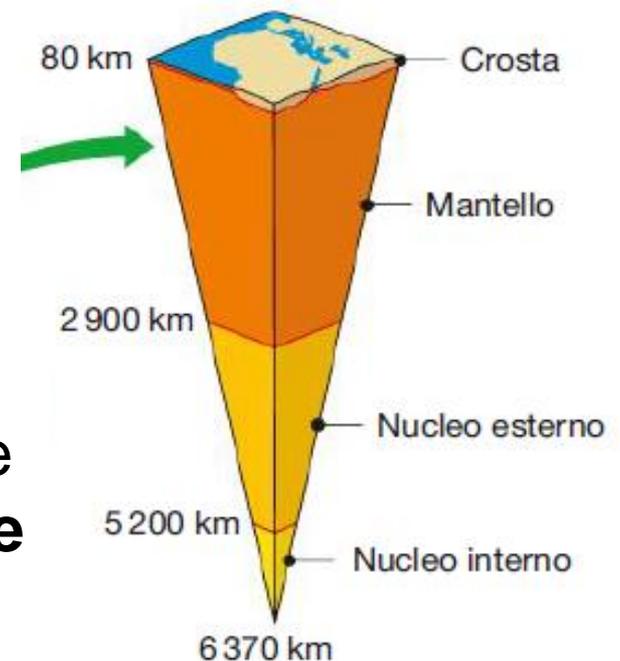
Il **nucleo** è la parte più interna del pianeta e il suo raggio è poco più della metà del raggio terrestre.

È costituito di una **lega a base di ferro** e altri elementi (nichel e tracce di zolfo e ossigeno).

Il nucleo è suddiviso dalla discontinuità di Lehmann in:

- **nucleo esterno**, allo stato liquido
- **nucleo interno**, allo stato solido

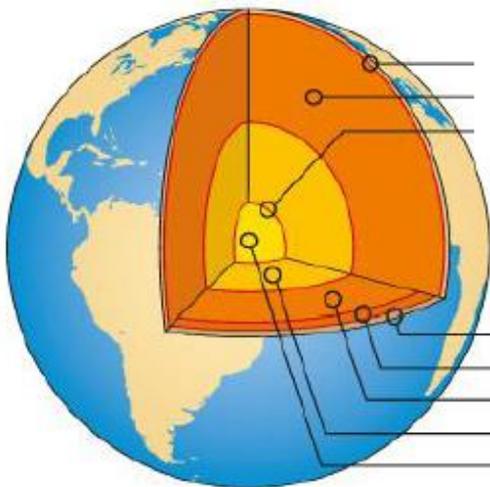
Il nucleo interno presenta una rotazione più veloce rispetto al pianeta (**rotazione differenziale**).



Una carta d'identità per gli strati interni della Terra

Su **basi meccaniche** (o dinamico-reologiche), la struttura interna della Terra esterna al nucleo è suddivisibile in:

- involucri **rigidi**, tra cui la **litosfera** (fino alla profondità di 100-150 km) suddivisa in placche tettoniche.
- involucri **plastici**, tra cui l'**astenosfera**, il cui limite è segnato dalla temperatura di 1280 °C.



Nell'astenosfera il materiale è plastico e capace di fluire.

Caratteristiche reologiche

- Litosfera: 0-100 km (rigida)
- Astenosfera: 100-350 km (plastica)
- Mesosfera: 350-2900 km (rigida)
- Nucleo esterno: 2900-5200 km (liquido)
- Nucleo: 5200-6370 km (solido)