

**ZANICHELLI**

Simonetta Klein

# Il racconto delle scienze naturali

**ZANICHELLI**

Capitolo 5

# L'energia della Terra

**ZANICHELLI**

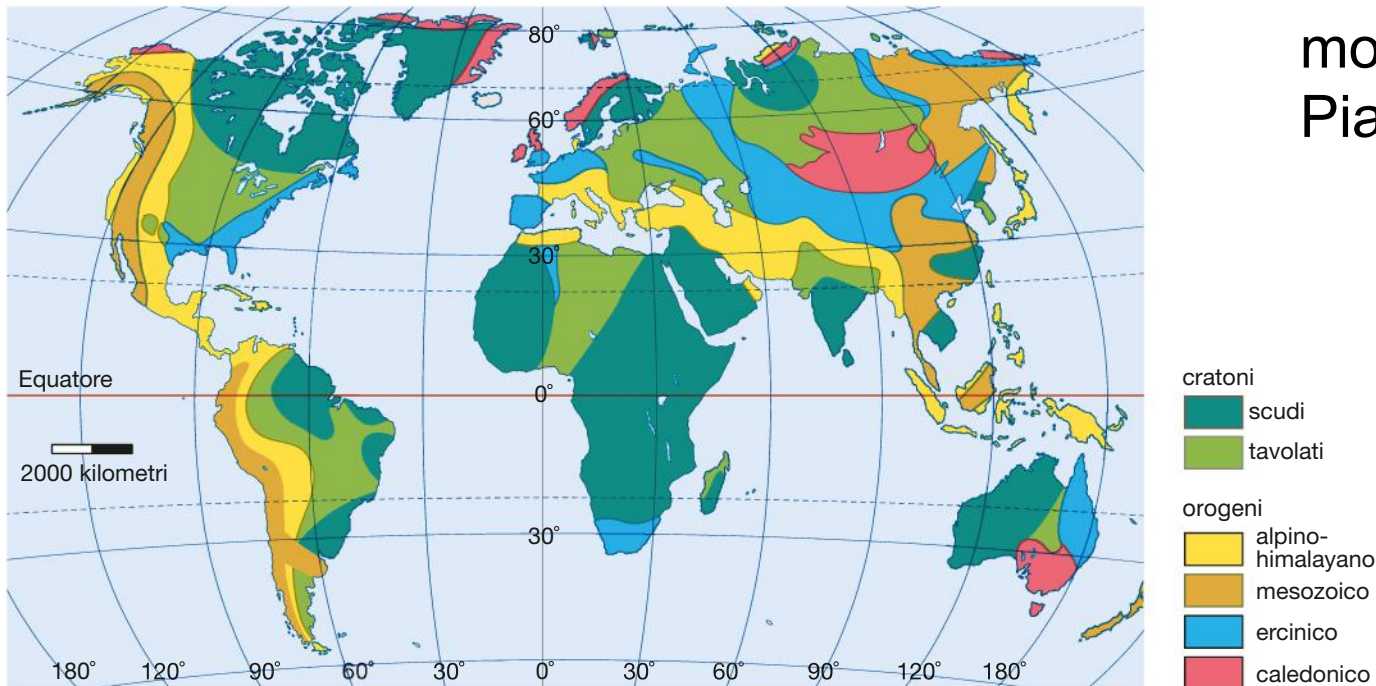
# Sommario

1. Il pianeta Terra
2. Esplorare l'interno della Terra
3. La dinamica della litosfera
4. Il magnetismo terrestre
5. Le prove del movimento dei continenti

# Il pianeta Terra

La superficie terrestre è composta da **aree continentali** (*terre emerse*) e **fondali oceanici**. I continenti si distinguono in:

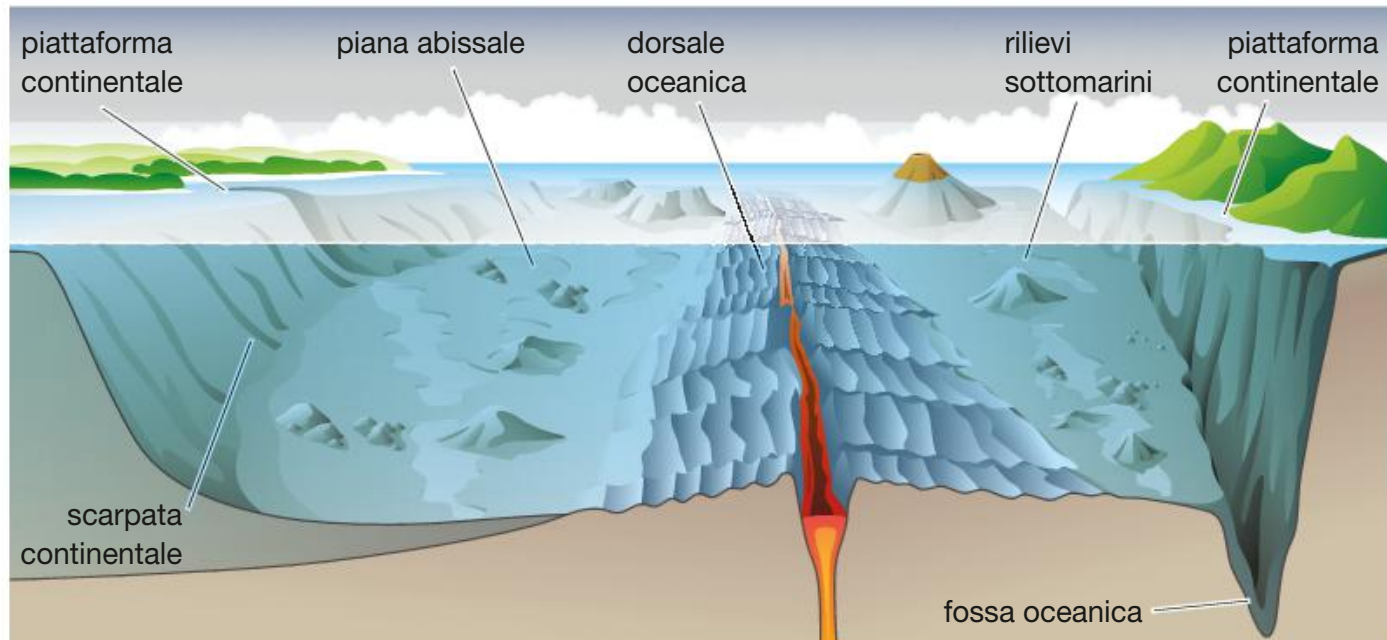
- **cratoni** (le vaste regioni centrali di ogni continente);
- **bacini** (le zone continentali pianeggianti con una leggera concavità rivolta verso l'alto e costituite da roccia sedimentaria);
- **orogeni** (le catene montuose del Pianeta).



# Il pianeta Terra

Il confine fra le terre emerse e le acque marine è segnato dalla **linea di costa**. I **fondali oceanici** presentano le seguenti strutture:

- la **piattaforma continentale**, adiacente alla linea di costa;
- la **scarpata continentale**;
- la **piana abissale**, un'estesa pianura sottomarina;
- la **fossa oceanica**, una depressione del fondale;
- la **dorsale oceanica**, un'immensa catena di rilievi vulcanici.



# Esplorare l'interno della Terra

- Per trarre informazioni dall'interno del nostro pianeta occorre sfruttare diversi **metodi indiretti** che permettono di «radiografare» la Terra, in un modo non definitivo.
- Il modello più dettagliato e completo delle profondità terrestri deriva dalla **sismologia**, tramite lo studio del comportamento delle **onde sismiche**, che percorrono l'interno del Pianeta con direzioni e velocità variabili in funzione delle caratteristiche meccaniche del mezzo attraversato.
- Le traiettorie delle onde sismiche (P e S) sono incurvate, indice di un progressivo aumento della rigidità e della densità dei materiali attraversati.

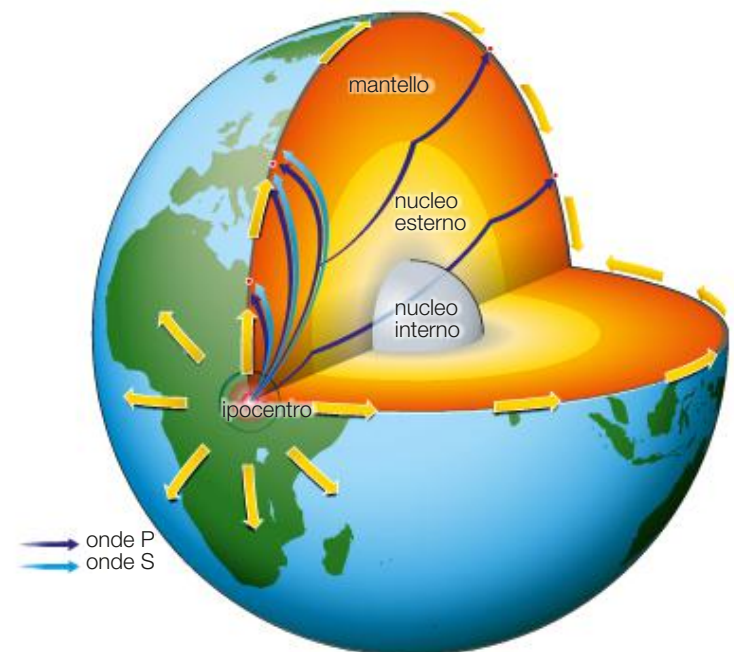
# Esplorare l'interno della Terra

Le onde sismiche attraversano **superfici di discontinuità** che separano materiali con proprietà meccaniche diverse.

Le principali sono:

- **Mohorovičić**, (o **Moho**) che separa la crosta dal mantello;
- **Gutenberg** fra il mantello e il nucleo esterno;
- **Lehmann** che separa il nucleo esterno da quello interno.

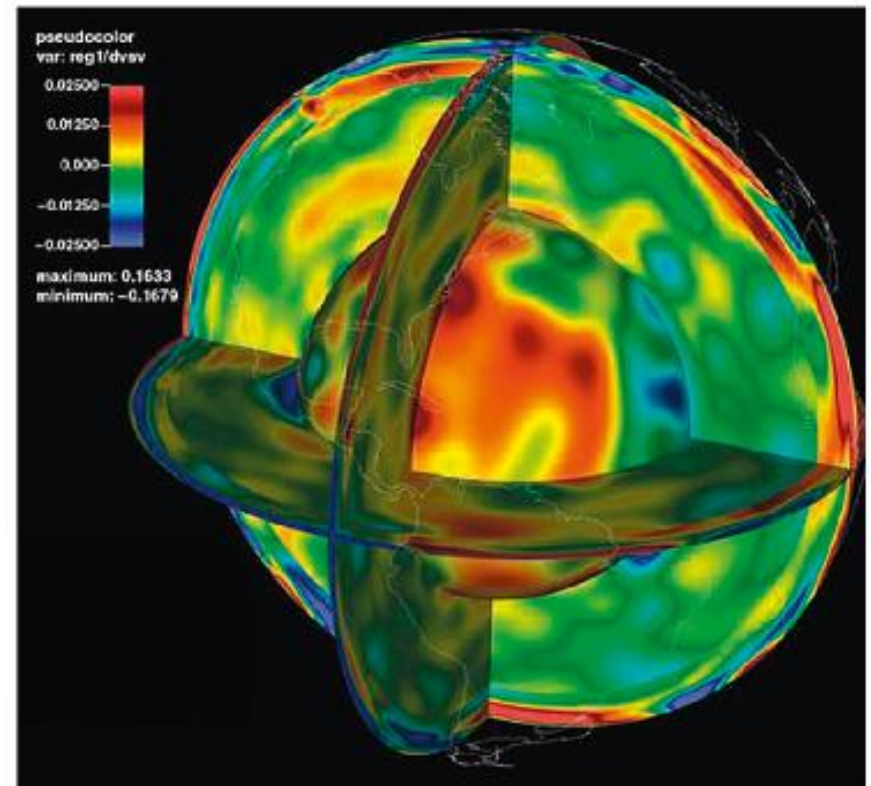
Le onde sismiche (P e S) non emergono in ogni punto della superficie terrestre: vi sono delle ampie **zone d'ombra** alle quali esse non arrivano, come se in profondità vi fosse uno «schermo» che le assorbe o le devia.





# Esplorare l'interno della Terra

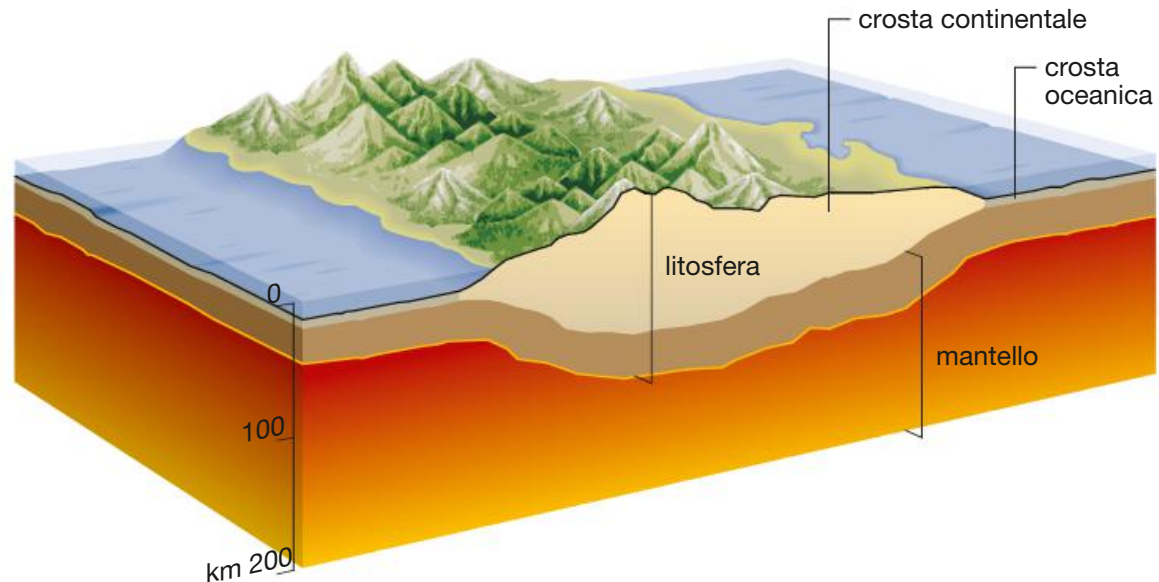
- Studi sulle velocità delle onde sismiche consentono importanti inferenze di tipo chimico e fisico.
- La **tomografia sismica** integra dati sismici di numerosi sorgenti e ricevitori e ricostruisce le profondità terrestri a partire dalle **variazioni di velocità** delle onde sismiche.



# Esplorare l'interno della Terra

- Il primo strato roccioso, al di sopra della discontinuità Moho, è la **crosta**.
- Le masse rocciose separate dalla Moho hanno diversa composizione e struttura: la crosta ha minore densità del mantello sottostante e composizione più acida.

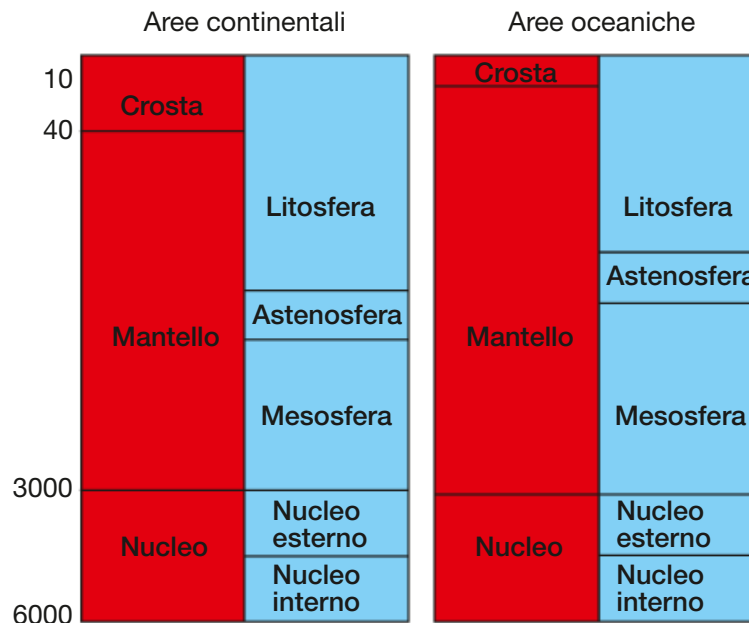
- Lo **spessore della crosta** non è uniforme: la profondità della Moho varia da 4-10 km sotto la crosta oceanica a 20-70 km sotto la crosta continentale.



- Al di sotto della Moho inizia il **mantello**.

# Esplorare l'interno della Terra

- La suddivisione fra crosta e mantello si basa sul **modello composizionale della Terra**, basato sui **materiali** che compongono ogni strato.
- Il **modello reologico**, invece, evidenzia le **proprietà meccaniche** dei gusci interni del Pianeta e prende in esame le velocità delle onde sismiche. Questo modello distingue: **litosfera, astenosfera, mesosfera, nucleo**.



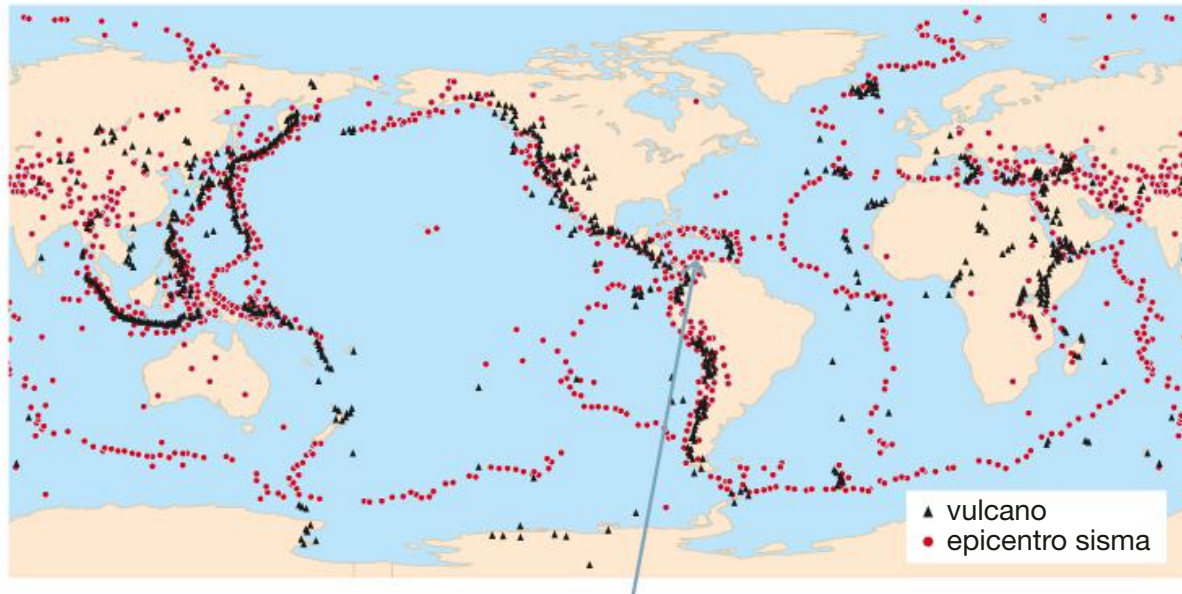
Confronto tra il modello composizionale (in **rosso**) e il modello reologico (in **blu**).

# Esplorare l'interno della Terra

- **Litosfera.** È lo strato esterno rigido ed elastico nel quale la velocità delle onde sismiche aumenta con la profondità. È costituita dalla crosta e dallo strato più esterno del mantello.
- **Astenosfera.** Giace alle profondità comprese fra circa 250 e 300 km dalla superficie.
- **Mesosfera.** È lo strato al di sotto dell'astenosfera, oltre i 400 km di profondità; qui il mantello torna a essere rigido e indeformabile.
- **Nucleo esterno.** Inizia a 2900 km di profondità, in coincidenza con la superficie di Gutenberg; costituito in massima percentuale da ferro e nichel fusi. La massa liquida è densissima e caldissima.
- **Nucleo interno.** La discontinuità di Lehmann, a 5100 km di profondità, separa il nucleo esterno dall'interno, che è solido e con temperature ai massimi valori.

# La dinamica della litosfera

La litosfera è in **lentissima e continua evoluzione**: lo testimoniamo il vulcanismo e la sismicità, i lenti movimenti verticali della litosfera e il fenomeno dell'isostasia, le anomalie del flusso di calore e il magnetismo terrestre.



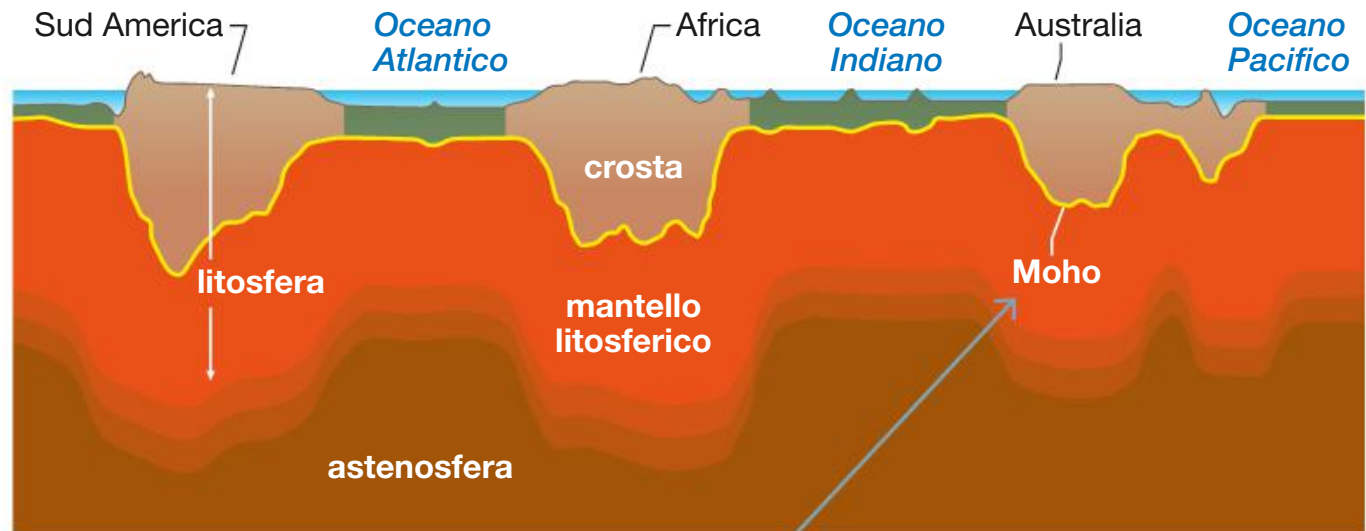
I vulcani e gli epicentri dei terremoti hanno **analoga distribuzione**.

La maggior parte dei vulcani si concentra lungo i margini di alcuni continenti, come la costa occidentale del continente americano, lungo il margine meridionale del continente eurasiatico, nell'Africa centro-orientale nella zona dei laghi (Kilimangiaro, Kenya e Ruwenzori) e negli archi insulari (Giappone, isole Aleutine, Indonesia).

# La dinamica della litosfera

Con il termine **isostasia** si intende lo **stato di equilibrio** che è raggiunto da un corpo solido che sovrasta un materiale con maggiore densità (e quindi capace di sostenerlo), ma con un comportamento plastico, ossia deformabile, simile a un fluido.

L'isostasia spiega il **comportamento della Moho**, la superficie di discontinuità che separa crosta e mantello litosferico.



La profondità della Moho è maggiore al di sotto dei continenti, soprattutto sotto le radici delle grandi catene montuose, rispetto al fondo degli oceani; lo stesso accade alla zona di confine che separa la litosfera dall'astenosfera.

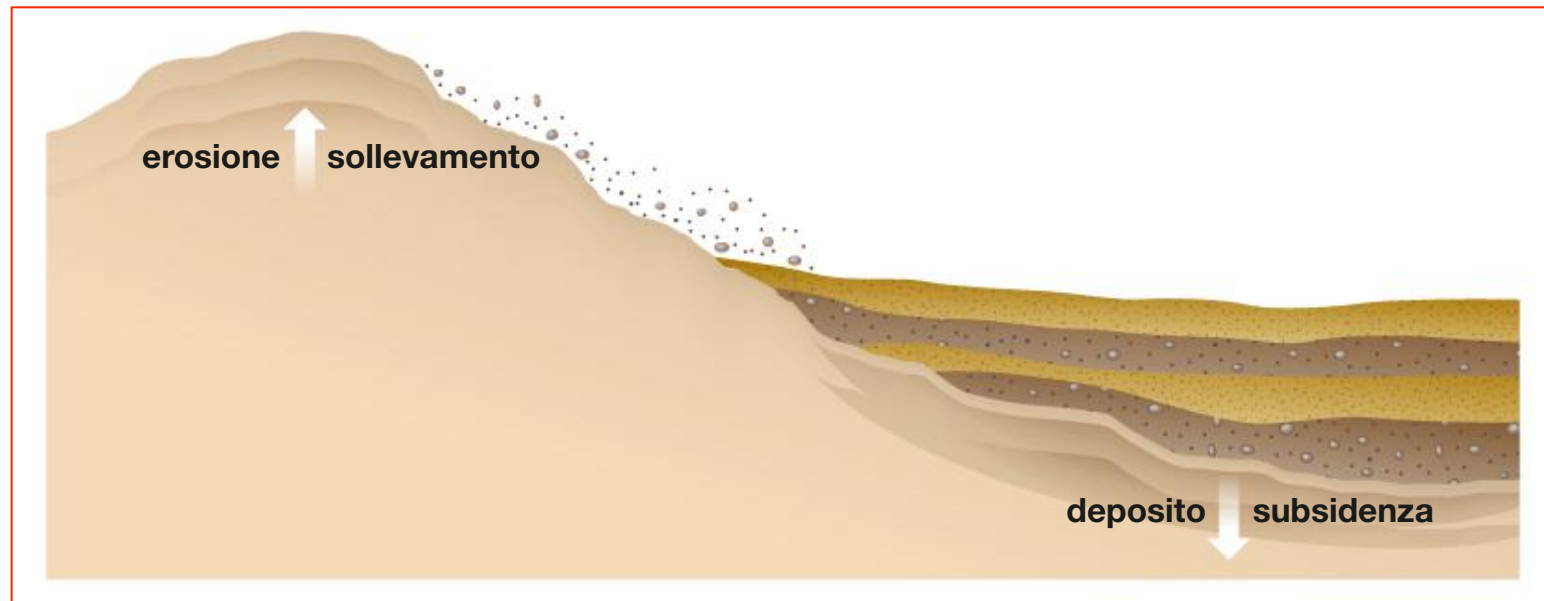
# La dinamica della litosfera



- L'astenosfera ha maggiore densità della litosfera, quindi la sostiene; tuttavia ha un comportamento *plastico* (cioè è deformabile sotto l'azione di una forza).
- I blocchi litosferici ricevono dall'astenosfera una spinta che li sostiene, ma affondano in essa in proporzione al loro peso.
- È il *principio di Archimede*, che in genere si studia in relazione agli iceberg: un iceberg galleggia nell'acqua di mare emergendo per una parte che è tanto più elevata quanto più profonda è la base della sua parte sommersa.

# La dinamica della litosfera

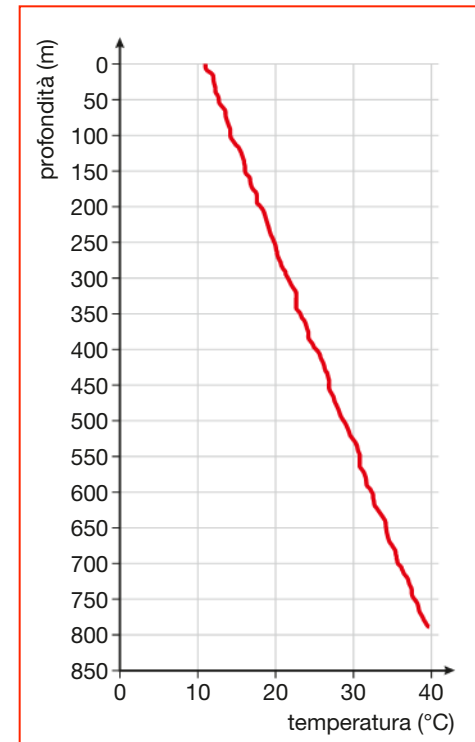
L'effetto contrario si verifica dove si accumulano sedimenti che incrementano il carico sugli strati più profondi: la litosfera sprofonda leggermente in base a un fenomeno definito **subsidenza**.





# La dinamica della litosfera

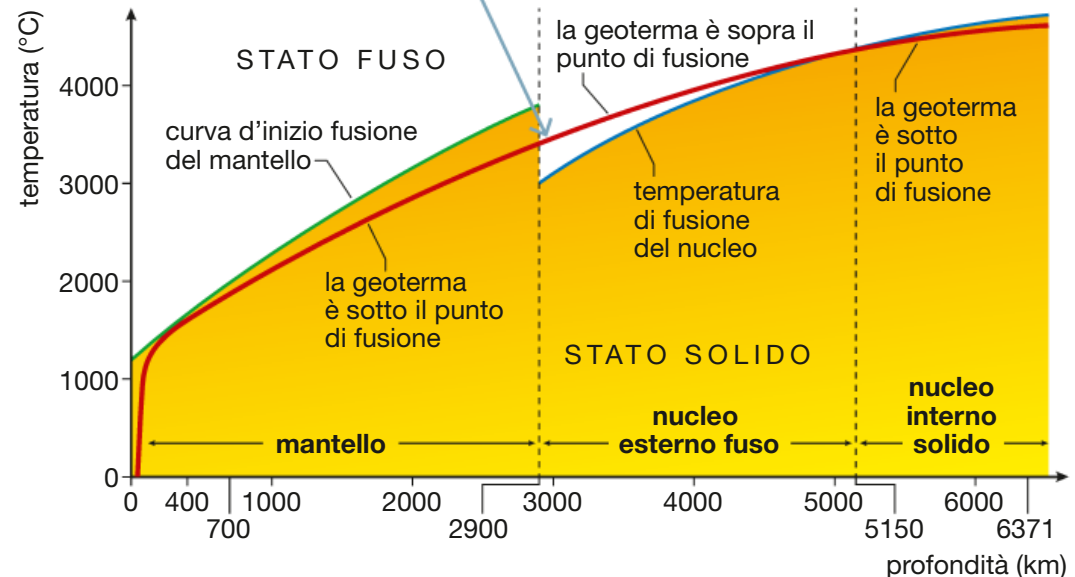
- Andando in profondità, all'interno della Terra la **temperatura** aumenta progressivamente con un andamento abbastanza regolare che non dipende più dai fenomeni atmosferici, ma solo dagli **aspetti geologici** che caratterizzano le rocce.
- È definito **gradiente geotermico** l'aumento di temperatura, espresso in gradi centigradi, che si ha ogni 100 metri di profondità.
- In media, nella crosta, il gradiente termico ha un valore di 2-3 °C ogni 100 metri di profondità, con ampie variazioni dovute alle caratteristiche geologiche locali.



# La dinamica della litosfera

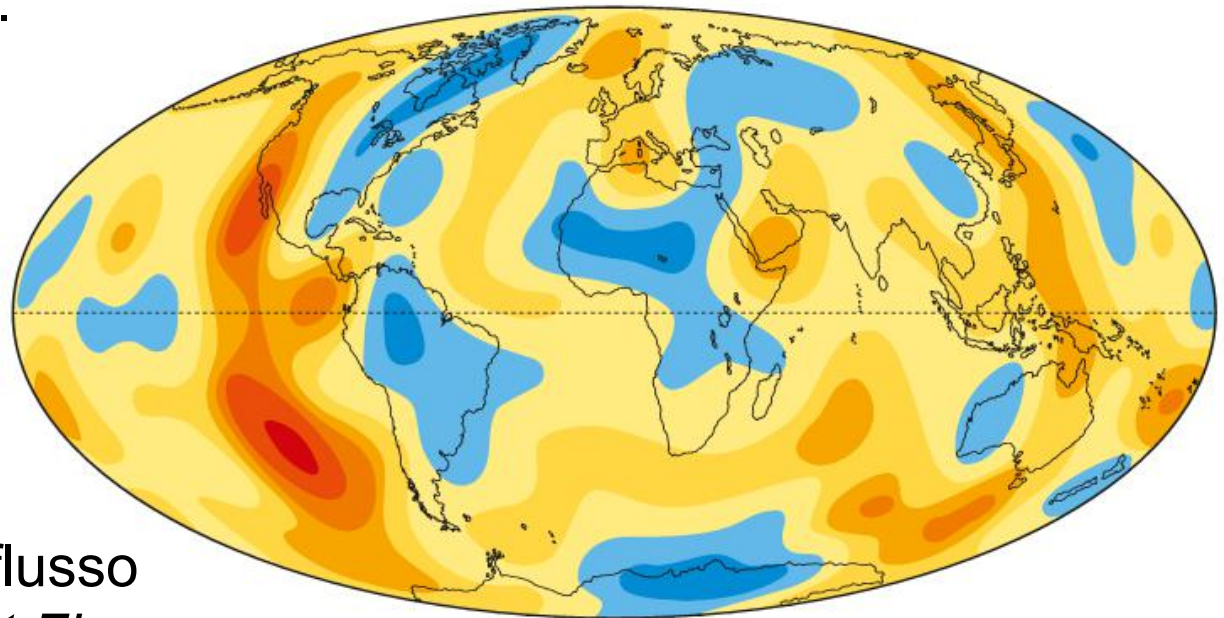
- Per stimare le temperature interne terrestri occorrono **attenti lavori sperimentali**.
- Uno dei risultati più significativi di questo tipo di ricerche è la **curva geoterma**, che riporta l'andamento delle temperature in funzione delle profondità.

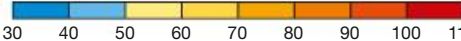
La temperatura è di 3700 °C al confine nucleo-mantello e di circa 5000 °C al centro della Terra. Nei tratti in cui la geoterma si trova sotto la curva di fusione, come nella crosta, nel mantello e nel nucleo interno, le rocce sono allo stato solido, mentre nei tratti in cui la geoterma si trova sopra la curva di fusione, come nel nucleo esterno, le rocce sono allo stato fuso. In corrispondenza dell'astenosfera, invece, le due curve si toccano, segno che vi sono materiali in parte solidi e in parte fusi.



# La dinamica della litosfera

- Dal suo interno la Terra irradia calore e lo diffonde oltre la sua superficie.
- Si definisce **flusso termico** o **flusso di calore** la quantità di energia liberata dalla superficie terrestre per unità di area nell'unità di tempo.

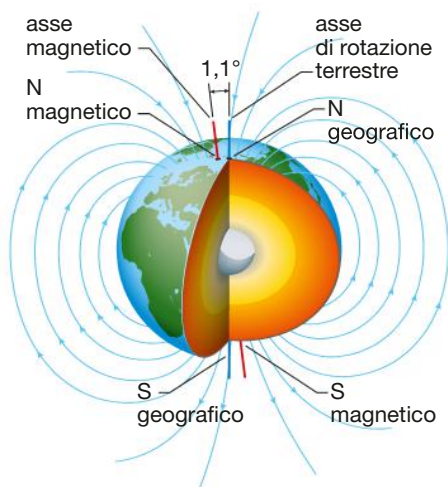


Flusso di calore  30 40 50 60 70 80 90 100 110 mW/m<sup>2</sup>

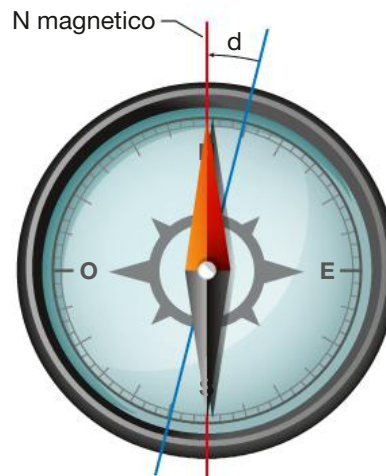
L'unità di misura del flusso termico è l'**HFU** (*Heat Flow Unit*) pari a  $1 \mu\text{cal}/(\text{cm}^2 \cdot \text{s})$ .

# Il magnetismo terrestre

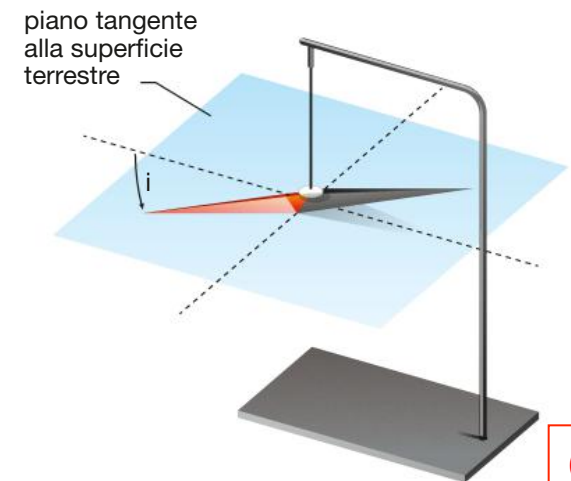
- La Terra possiede un proprio **campo magnetico (A)**.
- La **declinazione magnetica** è l'angolo, misurato sul piano orizzontale, che la direzione dei poli geografici forma con la direzione dei poli magnetici (**B**).
- L'**inclinazione magnetica** è l'angolo tra la tangente alle linee di forza e la superficie terrestre (**C**).



**A**



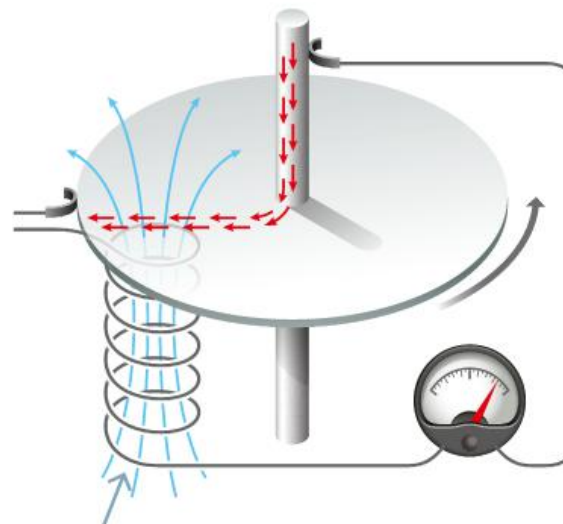
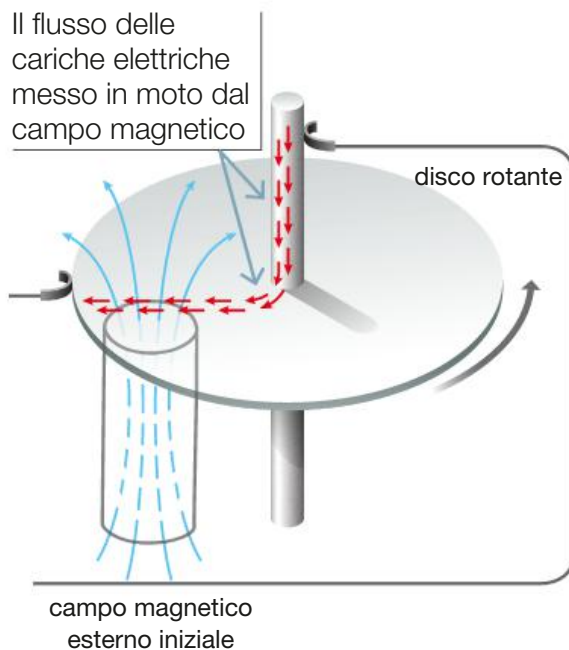
**B**



**C**

# Il magnetismo terrestre

Per spiegare l'origine del campo magnetico terrestre sono state formulate varie ipotesi, tra cui la **teoria della geodinamo**, in base alla quale il nucleo si comporterebbe come una dinamo autoalimentata.

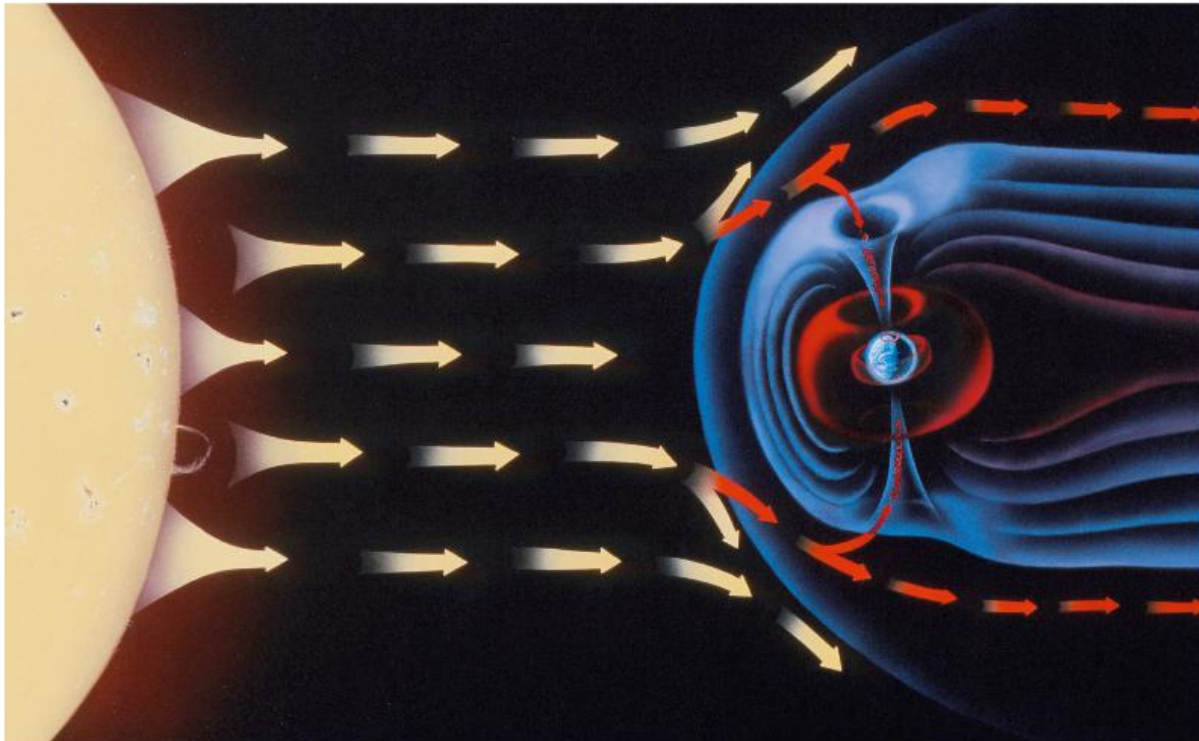


Bobina di materiale conduttore nella quale si genera un campo magnetico parallelo a quello iniziale: così si formerebbe il campo magnetico terrestre



# Il magnetismo terrestre

Il Sole ha un effetto sulla forma del campo magnetico: il vento solare deforma le linee di forza dalla parte rivolta verso il Sole, che appaiono quindi più schiacciate, mentre il campo magnetico agisce come scudo di protezione dalle tempeste elettromagnetiche scatenate dal vento solare stesso.



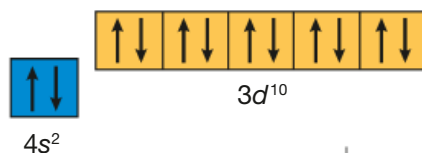
# Il magnetismo terrestre

Se sono sottoposte a un campo magnetico, le sostanze possono rispondere in modo diverso:

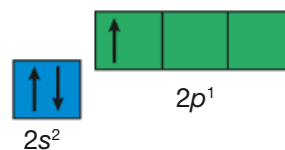
- possono essere debolmente respinte (**diamagnetismo**);
- possono essere attratte (**paramagnetismo**);
- possono essere fortemente attratte e poi mantenere la magnetizzazione anche dopo che è cessata l'azione del campo magnetico esterno (**ferromagnetismo**).

L'interazione di una sostanza con un campo magnetico dipende dagli effetti dei moti orbitali e di spin di tutti gli elettroni degli atomi che la compongono.

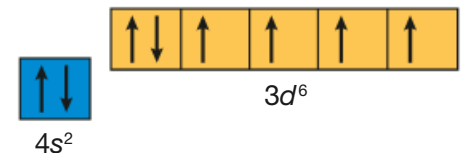
**Zn**  
(Ar)  $3d^{10} 4s^2$   
è diamagnetico: non ha elettroni spaiati



**Al**  
(He)  $2s^2 2p^1$   
è paramagnetico: ha un elettrone spaiato

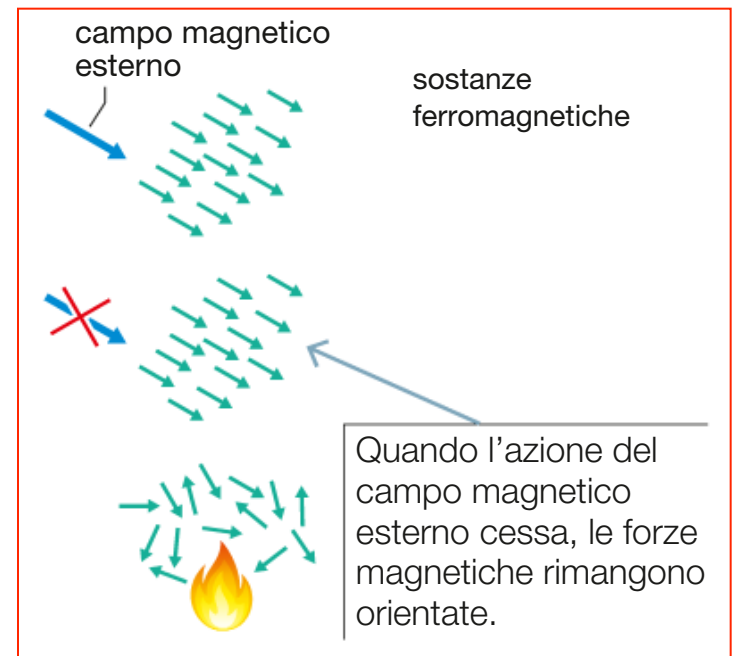


**Fe**  
(Ar)  $3d^6 4s^2$   
ha quattro elettroni spaiati



# Il magnetismo terrestre

- Quando una **sostanza ferromagnetica** è immersa in un campo magnetico esterno, i domini si allineano tutti con il campo perciò la sostanza ne è fortemente attratta. Quando cessa l'azione esterna, i domini magnetici mantengono l'allineamento, generando a loro volta un campo magnetico.
- Il fenomeno cessa quando il materiale viene riscaldato al di sopra di una temperatura critica, caratteristica di ogni sostanza, la **temperatura di Curie**. Se ciò accade, i domini magnetici tornano a orientarsi in modo casuale



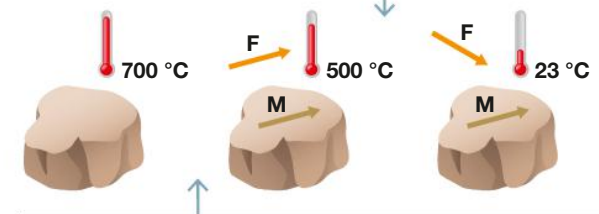


# Il magnetismo terrestre

- Nei **magmi fusi**, i domini magnetici dei minerali ferromagnetici sono liberi di orientarsi seguendo le linee di forza del campo magnetico terrestre. Con la cristallizzazione il magnetismo della roccia rimane parallelo a quello terrestre (*magnetizzazione termoresidua o termica rimanente*, TRM).
- Le **rocce clastiche** (derivate dalla cementazione di sedimenti) possiedono una *magnetizzazione residua detritica o detritica rimanente* (DRM) se includono minerali ferromagnetici.

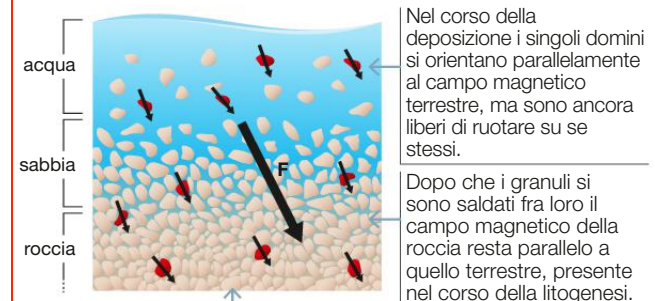
## Il magnetismo termoresiduo (TRM)

Un frammento di roccia viene scaldato a 700 °C in assenza di campo esterno. I domini magnetici sono orientati casualmente. Se invece la roccia è sottoposta a un campo esterno  $F$ , l'orientazione dei domini magnetici genera un campo magnetico  $M$  parallelo a  $F$ .



Se la roccia viene fatta raffreddare sotto il punto di Curie, tale magnetizzazione permane nel tempo anche se il campo esterno cambia orientazione.

## Magnetizzazione residua detritica o detritica rimanente (DRM) da parte di un sedimento



Nel corso della deposizione i singoli domini si orientano parallelamente al campo magnetico terrestre, ma sono ancora liberi di ruotare su se stessi.

Dopo che i granuli si sono saldati fra loro il campo magnetico della roccia resta parallelo a quello terrestre, presente nel corso della litogenesi.

Dalla decantazione dei granuli alla compattazione del sedimento l'orientazione dei clasti magnetici ( $\searrow$ ) è guidata dal campo magnetico terrestre ( $F$ ).

# Le prove del movimento dei continenti

## Prove geomorfologiche

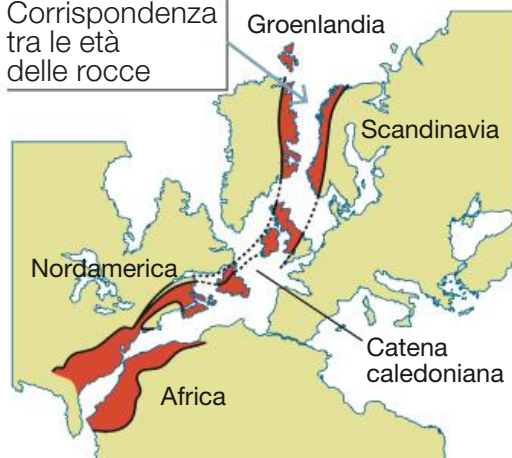
Corrispondenza delle linee di costa



L'osservazione di un atlante geografico evidenzia una caratteristica morfologica delle aree continentali: i margini delle terre emerse, in molti casi, combaciano tra loro come se le terre si fossero staccate da un'unica massa continentale. Per esempio, la costa dell'Africa occidentale e quella orientale del Sudamerica collimano in modo abbastanza preciso, così come fanno i margini del Mar Rosso o quelli del Golfo Persico.

## Prove geologiche

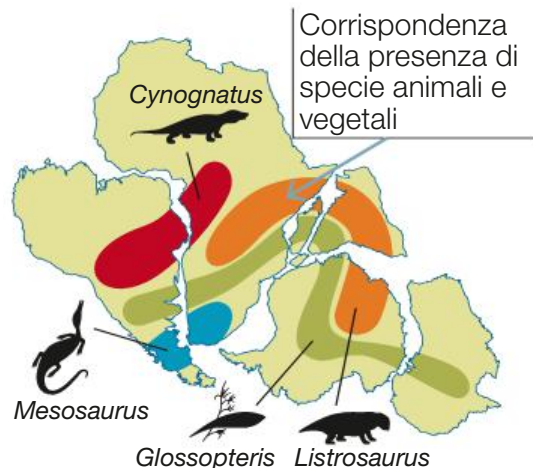
Corrispondenza tra le età delle rocce



Catene montuose oggi appartenenti a continenti diversi (come i monti della Norvegia, della Groenlandia e del Canada) hanno rocce dello stesso tipo e della stessa età, come se un tempo avessero costituito un unico sistema montuoso; simili concordanze si rilevano anche in certe rocce magmatiche del Brasile e dell'Africa occidentale.

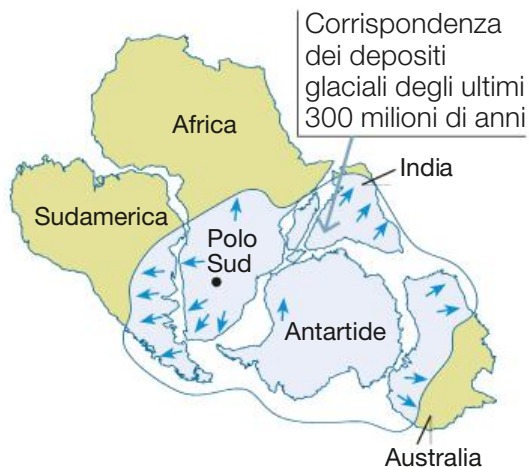
# Le prove del movimento dei continenti

## Prove paleontologiche



In Sudamerica, Africa, Madagascar, India, Australia e Antartide sono stati rinvenuti fossili di felci del medesimo genere *Glossopteris*. In Brasile e in Africa sud-occidentale, inoltre, i ricercatori hanno trovato fossili di *mesosauri*, antichi rettili acquatici. In nessun caso tali organismi avrebbero potuto attraversare le distese oceaniche che oggi separano i luoghi in cui ne sono stati ritrovati i resti.

## Prove paleoclimatiche



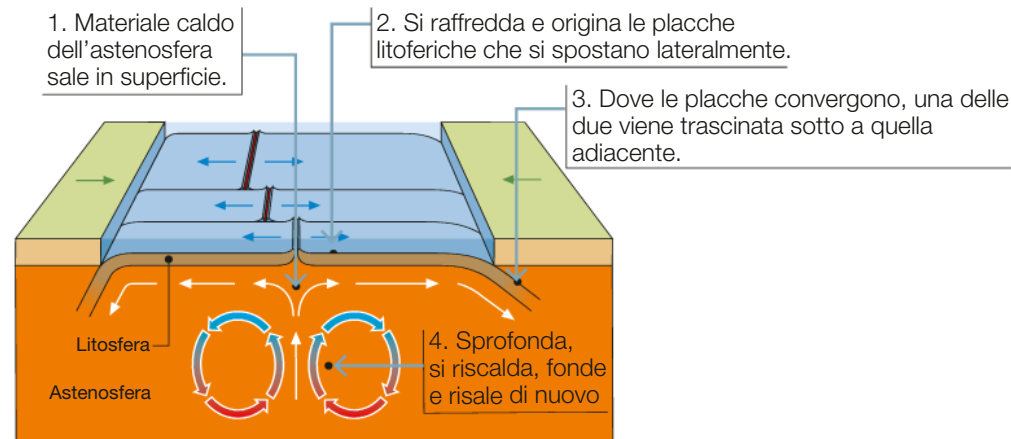
Il modellamento della superficie terrestre operato dagli agenti esogeni costituisce una traccia indelebile del clima del passato. Un esempio è l'erosione glaciale che genera valli e rilievi caratteristici. Oggi, in zone tropicali, vi sono rocce che hanno subito una erosione tipicamente glaciale, come se un tempo si fossero trovate a latitudini ben maggiori.

# Le prove del movimento dei continenti

- Nel **1912**, il geologo e meteorologo tedesco **Alfred Wegener** tentò di spiegare questi singolari aspetti delle terre emerse proponendo l'affascinante *teoria della deriva dei continenti*.
- La **teoria della deriva dei continenti** sostiene che nel passato geologico le terre emerse erano congiunte in un unico immenso continente, la **Pangea**, circondato da un unico oceano (**Panthalassa**).
- I continenti attuali si formarono con la frammentazione di Pangea, poi si allontanarono l'un l'altro «galleggiando» sugli strati inferiori più densi, come enormi zattere alla deriva, per assumere infine le posizioni odierne.

# Le prove del movimento dei continenti

La **teoria dell'espansione dei fondali oceanici** di Henry Hess sostiene che la litosfera oceanica si muove orizzontalmente trascinata dalle masse sottostanti dell'astenosfera, a loro volta in continuo movimento.



Il ciclo con cui la litosfera si genera e si distrugge è continuo, alimentato dai moti dell'astenosfera sottostante da cui la litosfera è trascinata.

# Le prove del movimento dei continenti

Quale fenomeno determina il movimento dell'astenosfera?

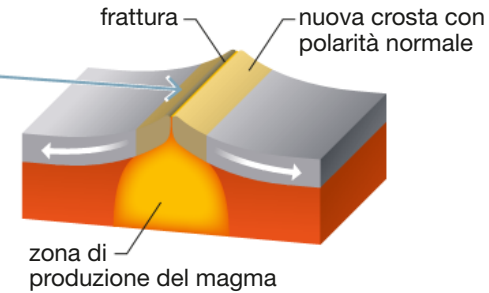
- L'astenosfera, pur essendo in massima parte solida, nei lunghissimi tempi geologici si comporta come un fluido che riceve calore dal suo interno e lo trasmette all'esterno mediante **moti convettivi**.
- Le masse più calde risalgono verso la superficie con moti ascensionali (alle dorsali) mentre le masse più fredde sprofondano verso il basso (nelle fosse); fra le une e le altre, le masse rocciose sono trascinate orizzontalmente. Il risultato è un circuito il cui **movimento è lentissimo, ma incessante**.

# Le prove del movimento dei continenti

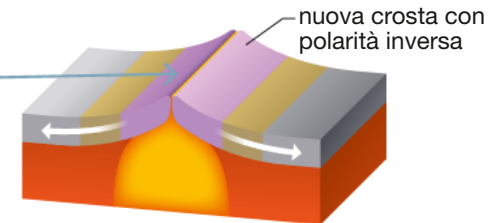
Il modello di Hess è confermato dalle seguenti prove:

- le rocce equidistanti dalla dorsale hanno uguale età, segno che si sono formate contemporaneamente;
- le rocce hanno lo stesso stato di magnetizzazione, cioè mostrano che si sono raffreddate quando il campo magnetico terrestre aveva la stessa polarità;
- si riscontra che le inversioni di polarità di cui la roccia è testimone hanno un andamento orizzontale uguale a quello che generalmente la roccia presenta verticalmente.

La lava solidifica nel campo magnetico terrestre. Si deposita e viene spinta ai due lati della rift valley da nuova lava.



Quando il campo magnetico si inverte, anche la nuova lava, dove emerge, presenterà una magnetizzazione inversa.



La nuova lava sarà spinta ai due lati della dorsale da ulteriore lava e così via.

