

La parte più alta del mantello superiore è rigida e solidale con la sovrastante crosta, insieme alla quale forma un blocco compatto detto **LITOSFERA**. Al di sotto c'è il mantello plastico (**ASTENOSFERA**).

La deriva dei continenti

- L'ipotesi della deriva dei continenti viene proposta organicamente dal geofisico tedesco Alfred Wegener tra gli anni 1919 e 1929 sulla base di una serie di dati in parte già noti:
 - Nel 1620 il geografo Bacone nota una conformità tra le coste dell'Africa e del S. America.
 - Nei primi dell'800 von Humboldt suggerisce che i due continenti fossero stati inizialmente uniti e poi separati da una larghissima valle scavate dalle correnti marine.
 - Nei primi del '900 Taylor tenta di spiegare la deriva dei continenti sulla base della distribuzione delle catene montuose.

LA TEORIA FISSISTA DELLA TERRA.... una teoria statica

E' sostanzialmente il modello della Terra in contrazione sulla quale le catene di montagne si erano formate per diminuzione di volume del corpo terrestre, originariamente fuso, a causa del suo raffreddamento.

I minerali più leggeri erano migrati in superficie formando lo strato di SIAL composto da silicati di Alluminio (principali componenti delle rocce granitiche e metamorfite acide).

I minerali più pesanti erano sprofondati in basso formando il SIMA composto da rocce basiche come basalti, gabbri e peridotiti (formati da silicati di Magnesio).

I continenti e gli oceani avevano mantenuto la medesima posizione per tutta la storia geologica.

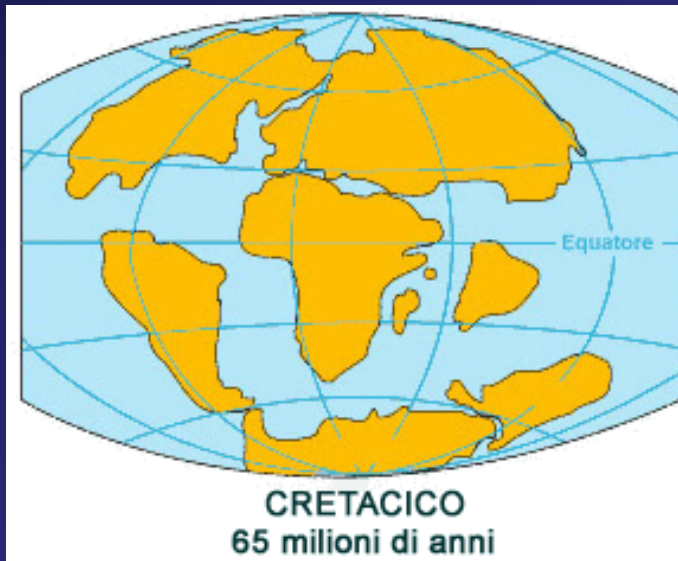
Si ammetteva che gli oceani erano stati generati per sprofondamento di vaste zone della superficie terrestre, così come qualche zona degli oceani poteva riemergere per formare terre emerse.

Le argomentazioni di Wegener a favore della deriva dei continenti

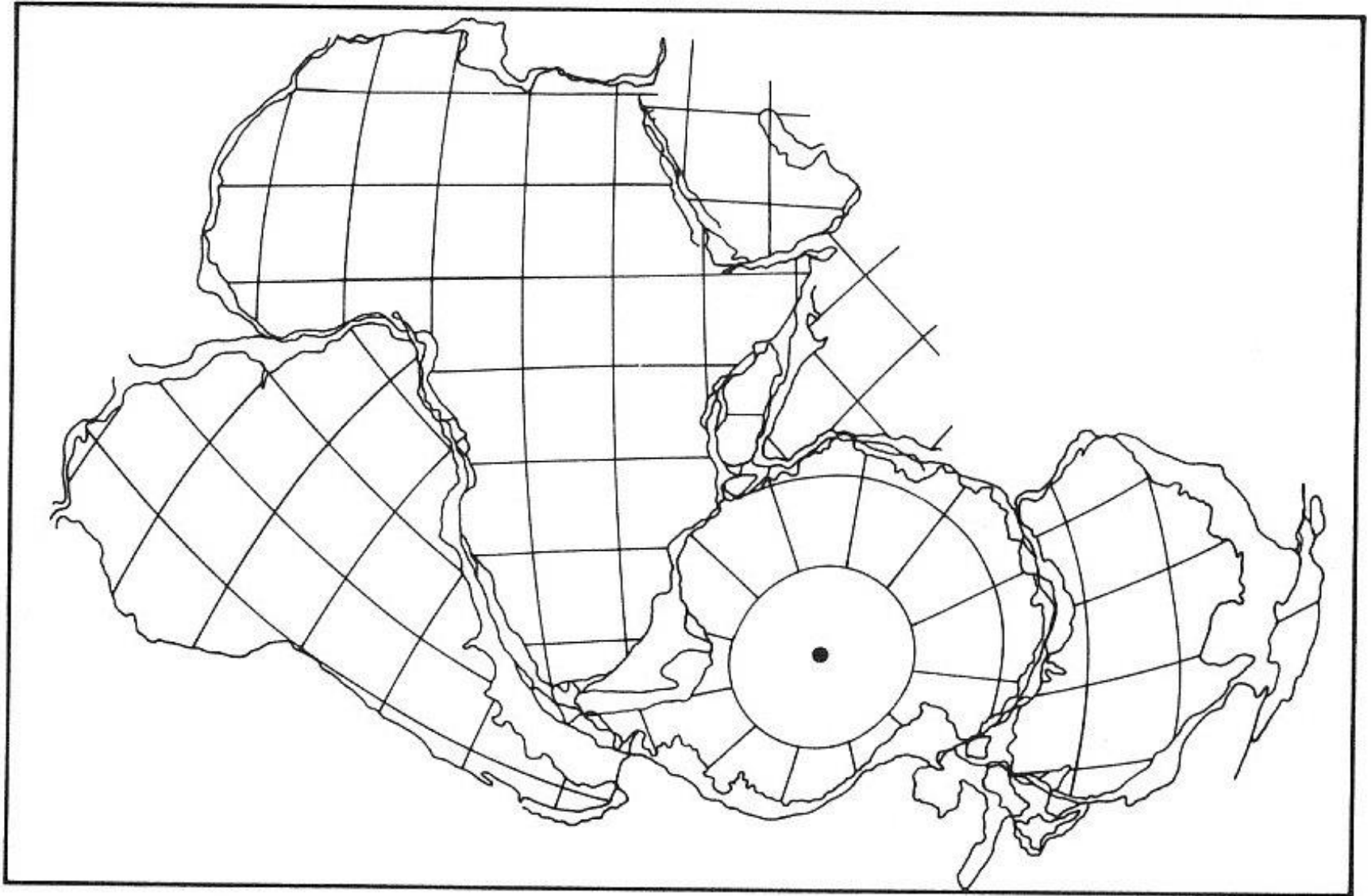
Tra il 1910 ed il 1929 A. Wegener elaborò l'ipotesi della deriva portando le seguenti prove:

- Geografiche
- Geologiche
- Paleontologiche
- Paleoclimatiche

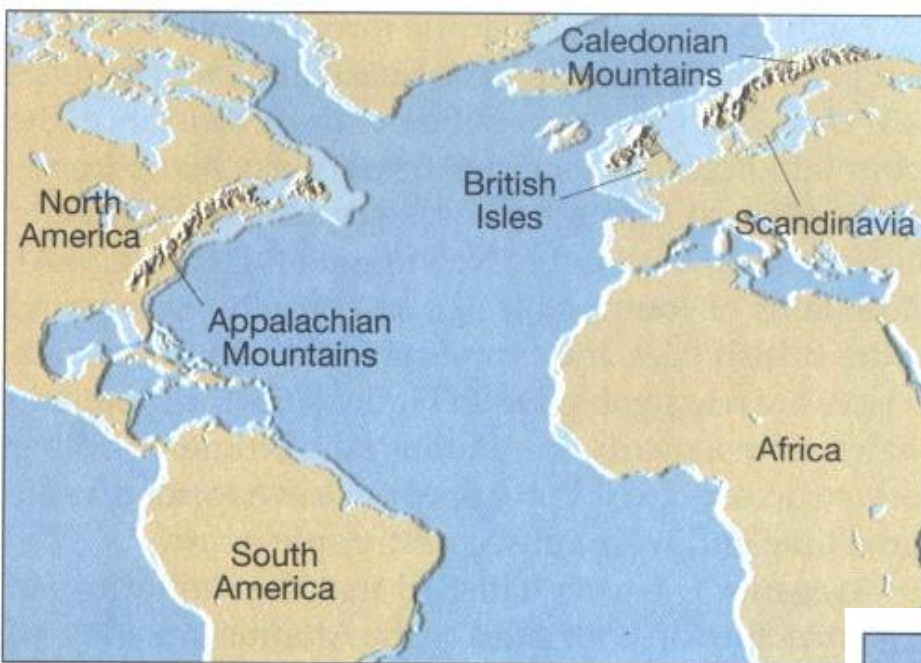
GEOGRAFICHE:



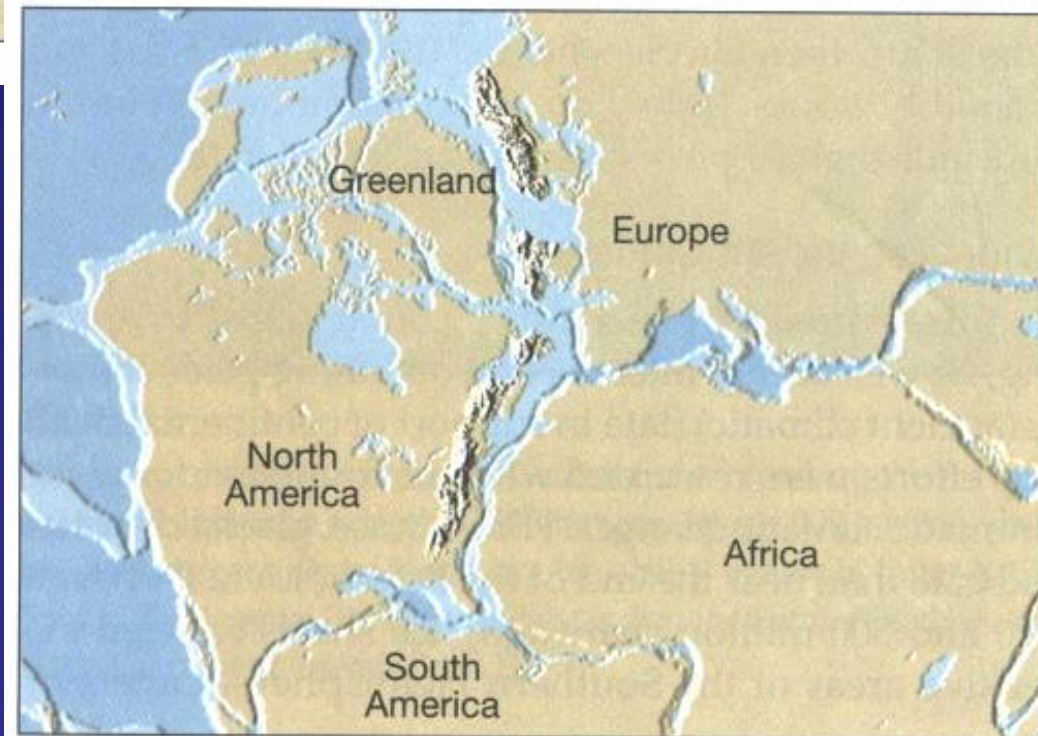
L'incastro dei continenti meridionali da Smith e Hallam, 1970



GEOLOGICHE



A.



B.

Rocce appartenenti a due catene montuose formatesi 470-350 ml di anni fa (catena caledoniana) e 350-200 ml di anni fa (c. ercinica) si trovano in: Groenlandia, Scandinavia, Isola di Terranova e costa Atlantica USA, UK, Europa Centrale.. e in Marocco....e in Carnia...

PALEONTOLOGICHE

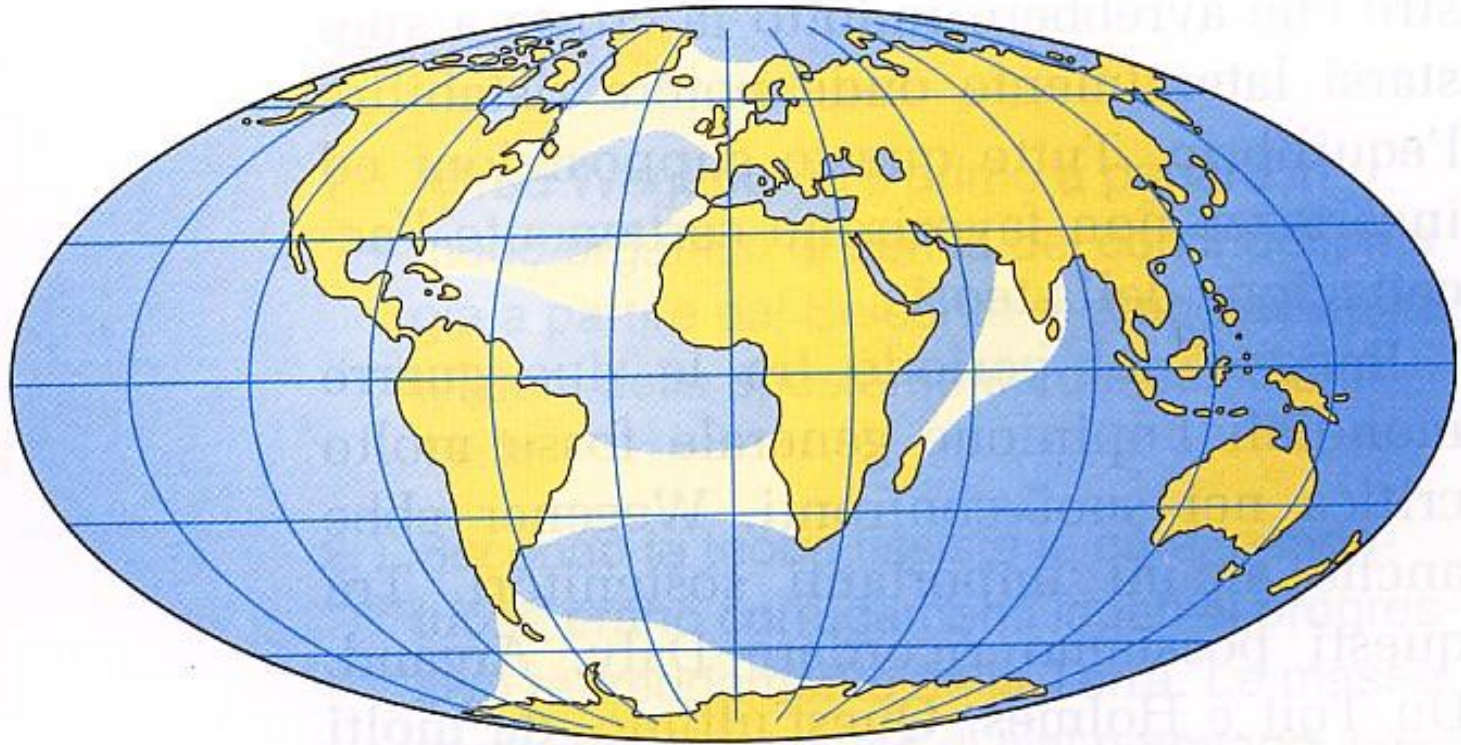
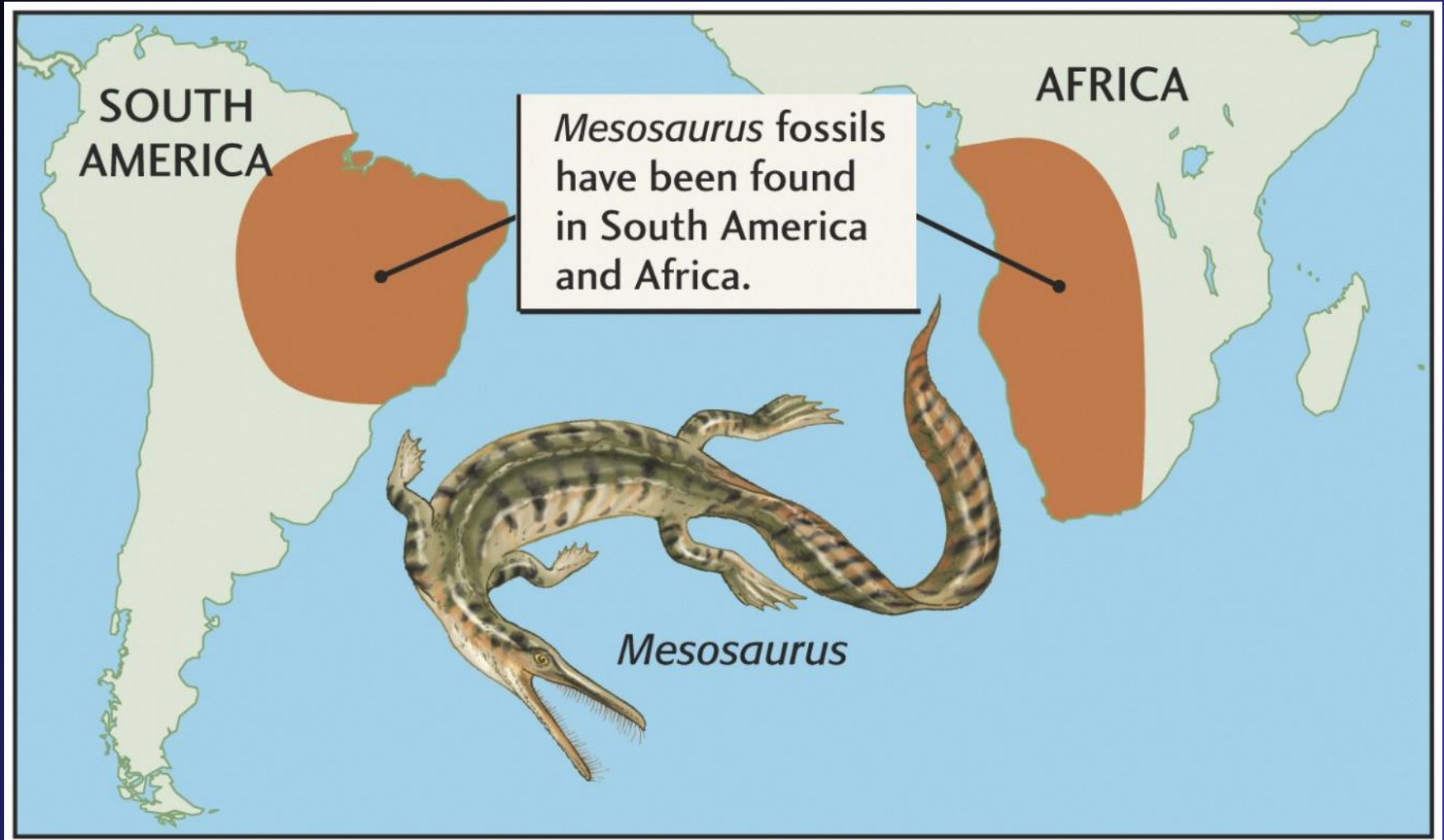


Figura 11.5. Rappresentazione dei cosiddetti ponti continentali, ipotizzati per spiegare secondo le teorie fissiste la distribuzione in continenti diversi di specie animali e vegetali simili. La spiegazione della presenza di specie affini su continenti attualmente separati da vasti oceani è molto più semplice, se si accetta l'ipotesi di una antica unione dei continenti in un unico grande blocco.

Prove paleontologiche



NB:fossile di ambiente lacustre e salmastro.
Non è un fossile marino..!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!

PALEO CLIMATICHE

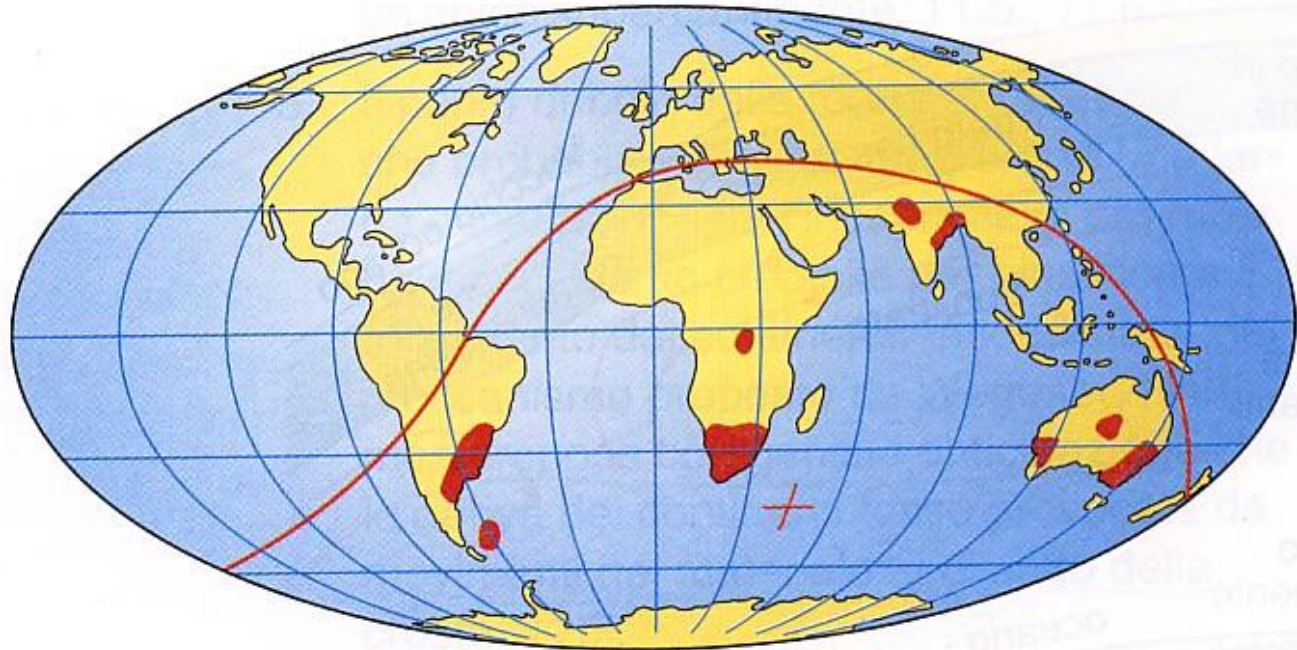
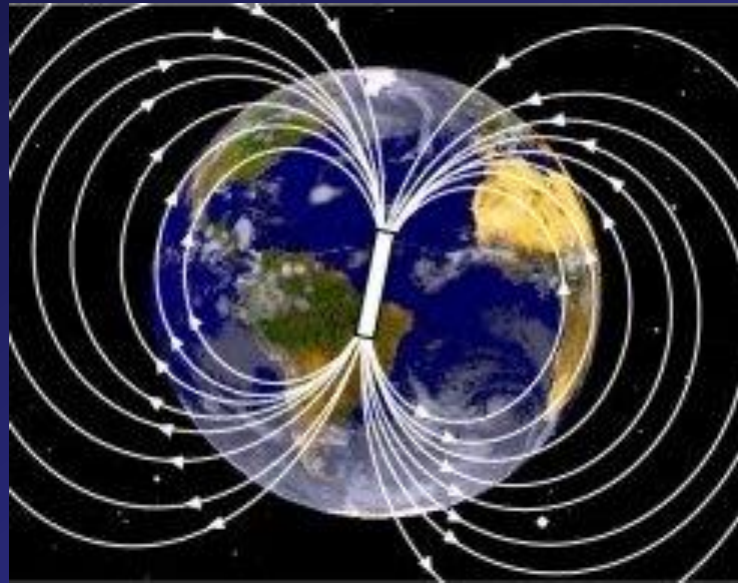


Figura 11.6. Le aree in rosso indicano gli affioramenti di antichi depositi di rocce sedimentarie di ambiente glaciale. I depositi rappresentati risalgono ai periodi carbonifero e permiano. Nella figura sono indicati l'equatore (linea rossa) e il polo sud (crocetta) nelle posizioni più favorevoli per giustificare l'espansione glaciale, se i continenti si fossero trovati sempre nella stessa posizione di oggi. Anche se assumessimo questa diversa posizione del polo, buona parte dell'emisfero meridionale sarebbe stata ricoperto dai ghiacci. È molto più probabile che fossero i continenti ad essere spostati vicini al polo.

MAGNETISMO e PALEOMAGNETISMO TERRESTRE

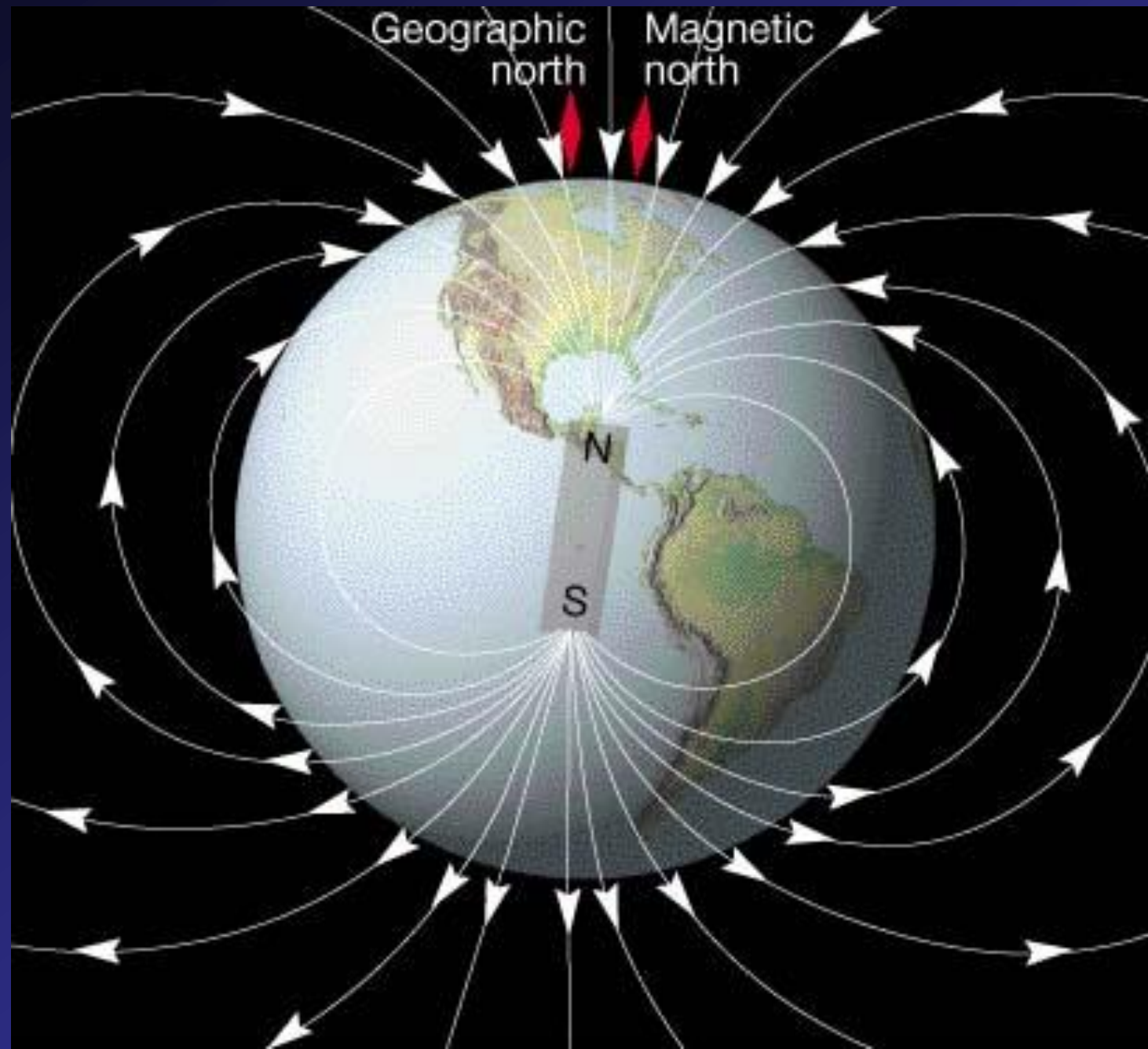


Il campo magnetico terrestre (cmt)

CARATTERISTICHE:

- simile a un dipolo magnetico situato al centro della terra con asse inclinato di 11° .
- attualmente con il polo positivo verso l'emisfero australe.
- il c.m.t. varia nel tempo.

ORIGINE:
circolazione convettiva nel nucleo fluido metallico della Terra



Esempio di migrazione del c.m.t. nel tempo:

Lo spostamento del Nord magnetico nel Canada settentrionale dal 1831 al 2001

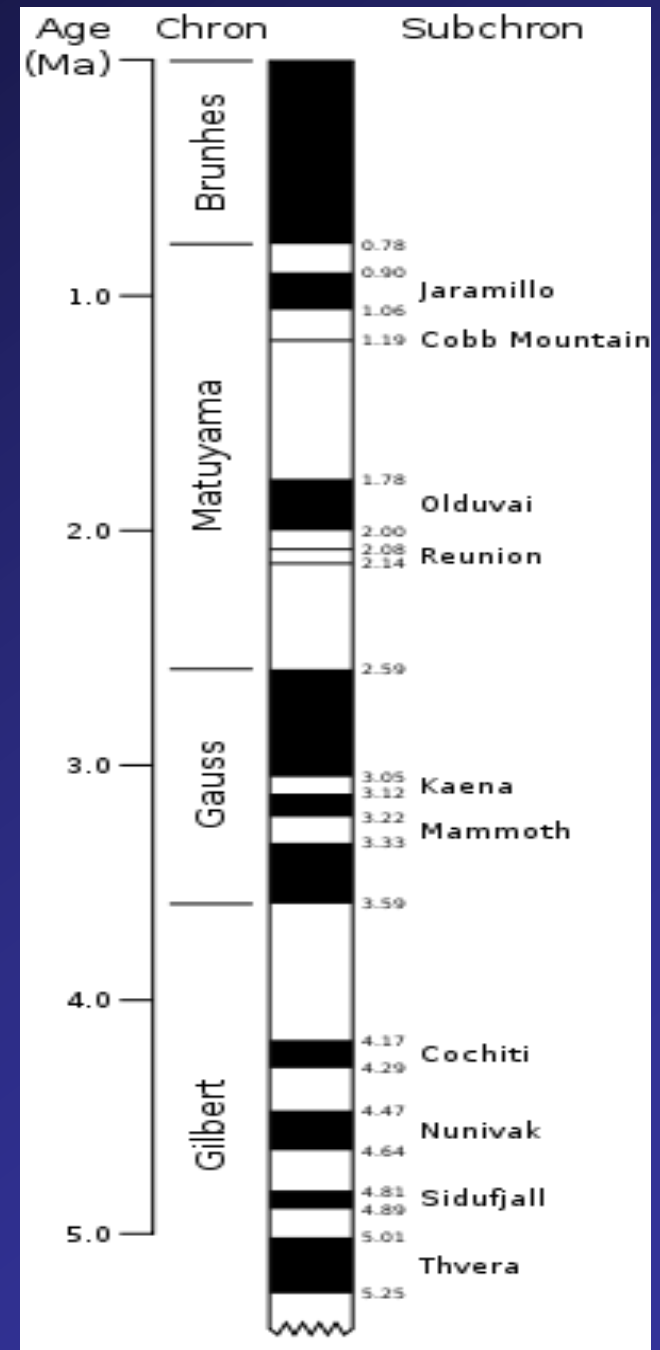


il c.m.t. inverte la polarità nel tempo:

Le inversioni di polarità del campo magnetico terrestre nelle ere geologiche (in figura negli ultimi 5 Ma)

Il c.m.t. ha invertito ripetutamente la polarità nel corso del tempo. Durante questi periodi la polarità del campo è uguale a quella attuale (indicata in nero) o inversa (bianco).

La durata di questi periodi varia tra 0.1 e 1.0 Ma. Si stima che il cambiamento possa avvenire in un tempo compreso tra 1000 e 10.000 anni



Le proprietà magnetiche delle rocce

Sono dovute al contenuto di minerali magnetici come la *magnetite* (Fe_3O_4), che è il minerale magnetico più diffuso in natura.

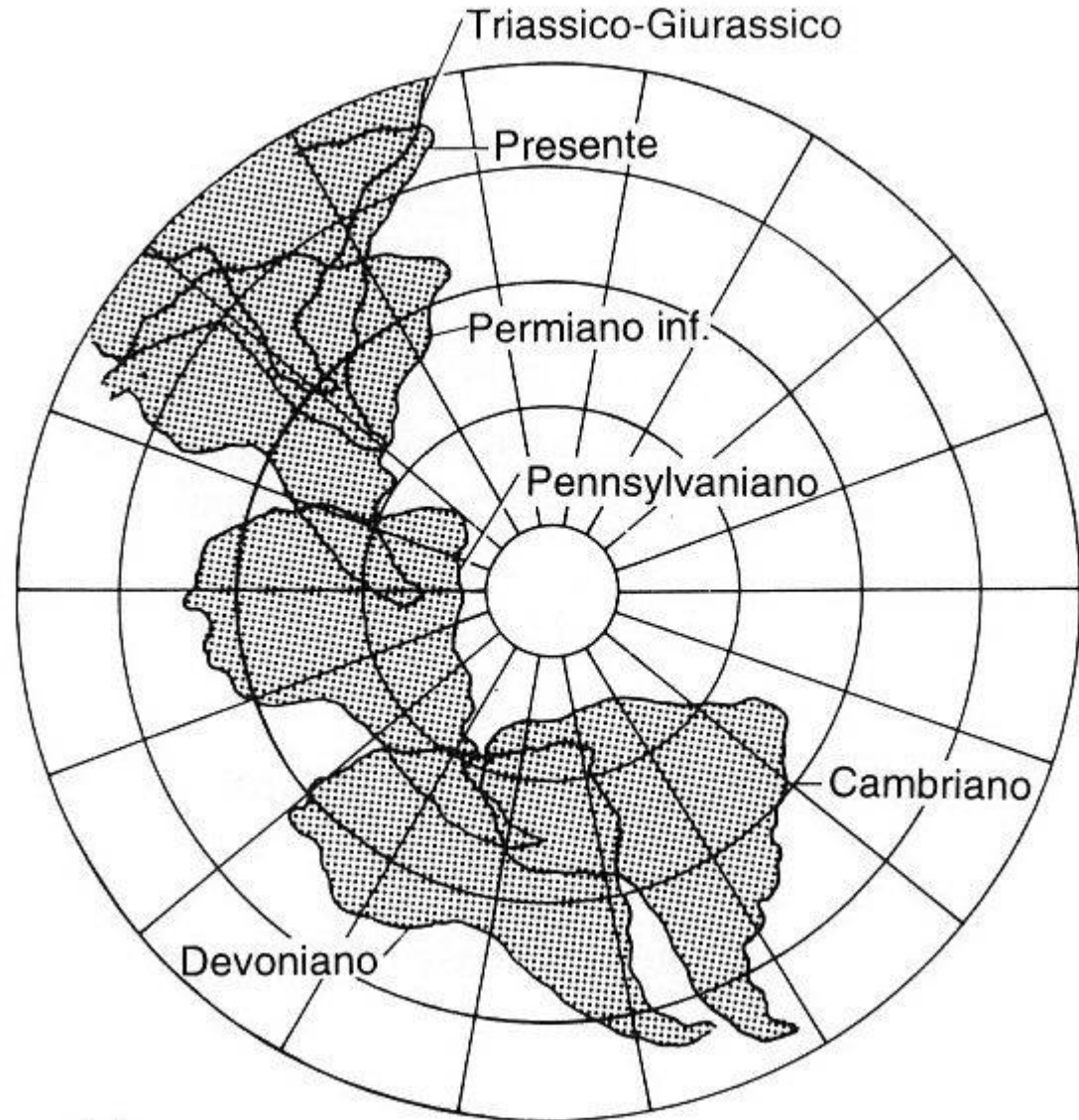
Questi minerali hanno la proprietà di magnetizzarsi se immersi un c.m. esterno (nel nostro caso il c.m.t.). Questo fenomeno prende il nome di *magnetizzazione indotta*.

Le rocce che in natura presentano alti contenuti di magnetite sono i basalti oceanici, cioè rocce magmatiche effusive ricche di minerali di ferro e magnesio.

Il parametro che determina la proprietà magnetica di un materiale è detto **suscettività magnetica** (k) e rappresenta la capacità del materiale di essere magnetizzato da un campo magnetico esterno (H).

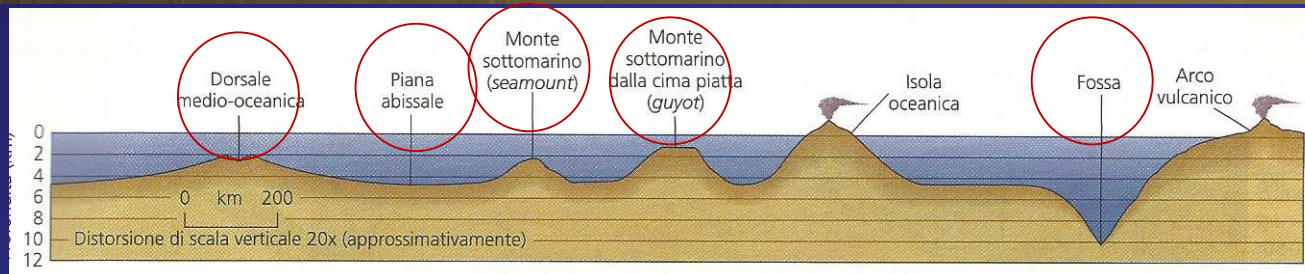
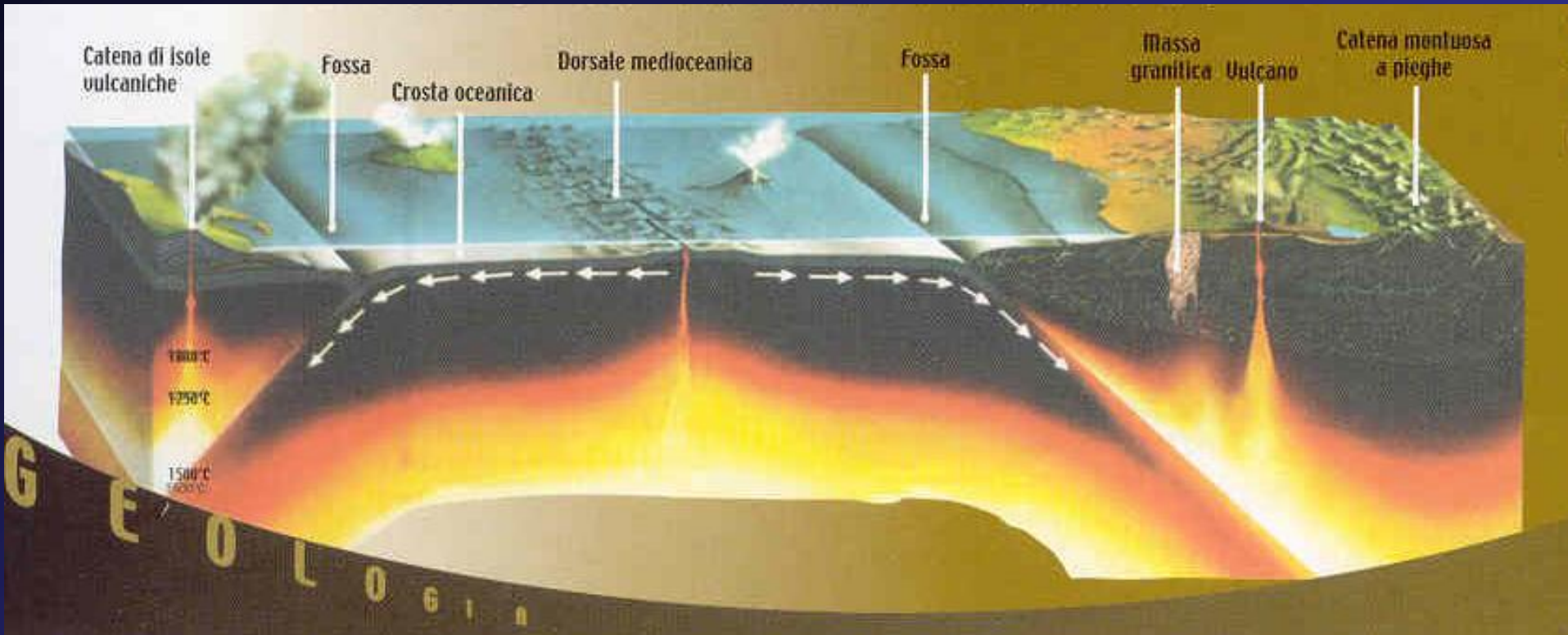
Ricostruzione del movimento relativo del Sud America rispetto al polo Sud sulla base dei dati paleomagnetici.

Il polo viene tenuto fisso



(a)

elementi morfologici dei fondi oceanici



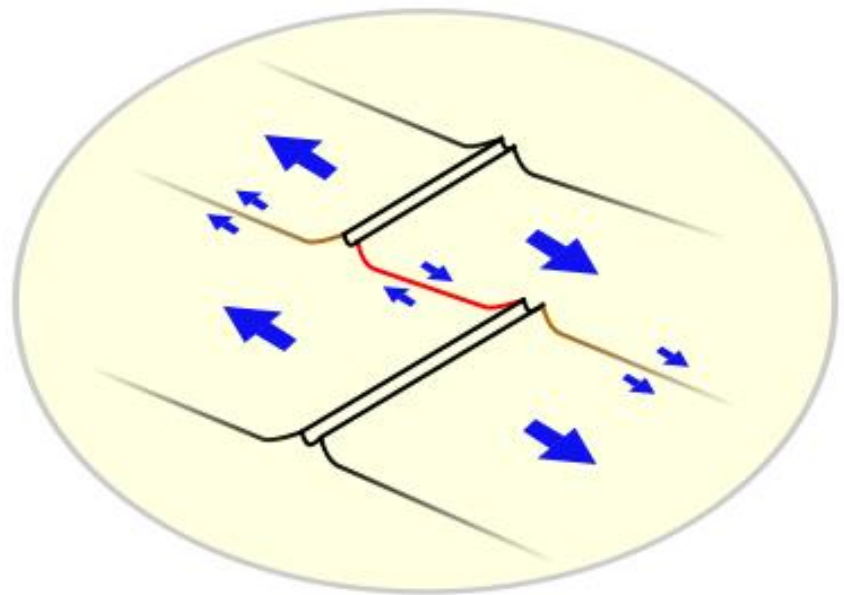
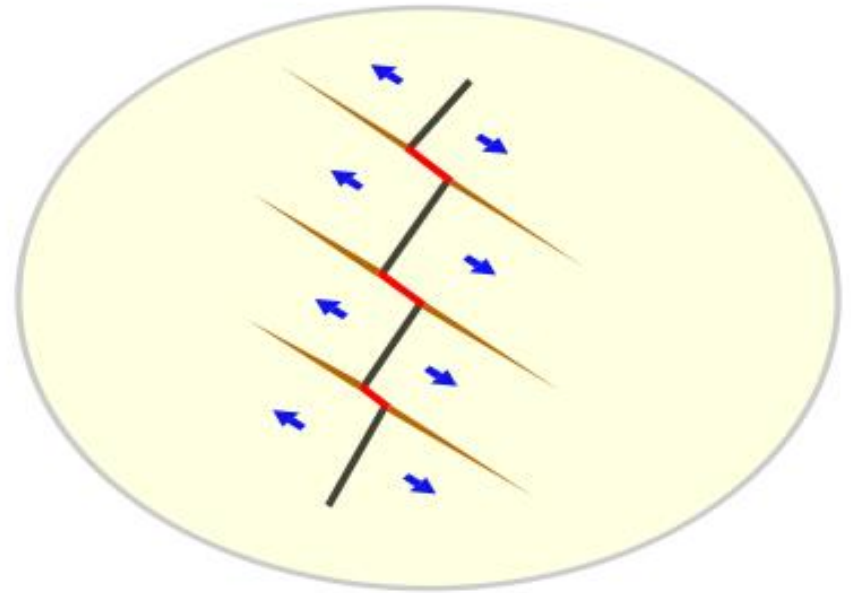
DORSALI OCEANICHE

Strutture morfologicamente in rilievo nelle quali avviene la generazione di nuova litosfera oceanica



La cresta della dorsale può essere piatta o avere una fossa (fossa assiale)

Le dorsali sono caratterizzate da un tipo particolare di faglie trasversali che sono state scoperte solamente con l'esplorazione sistematica dei fondi oceanici. Sono le cosiddette **faglie trasformi**



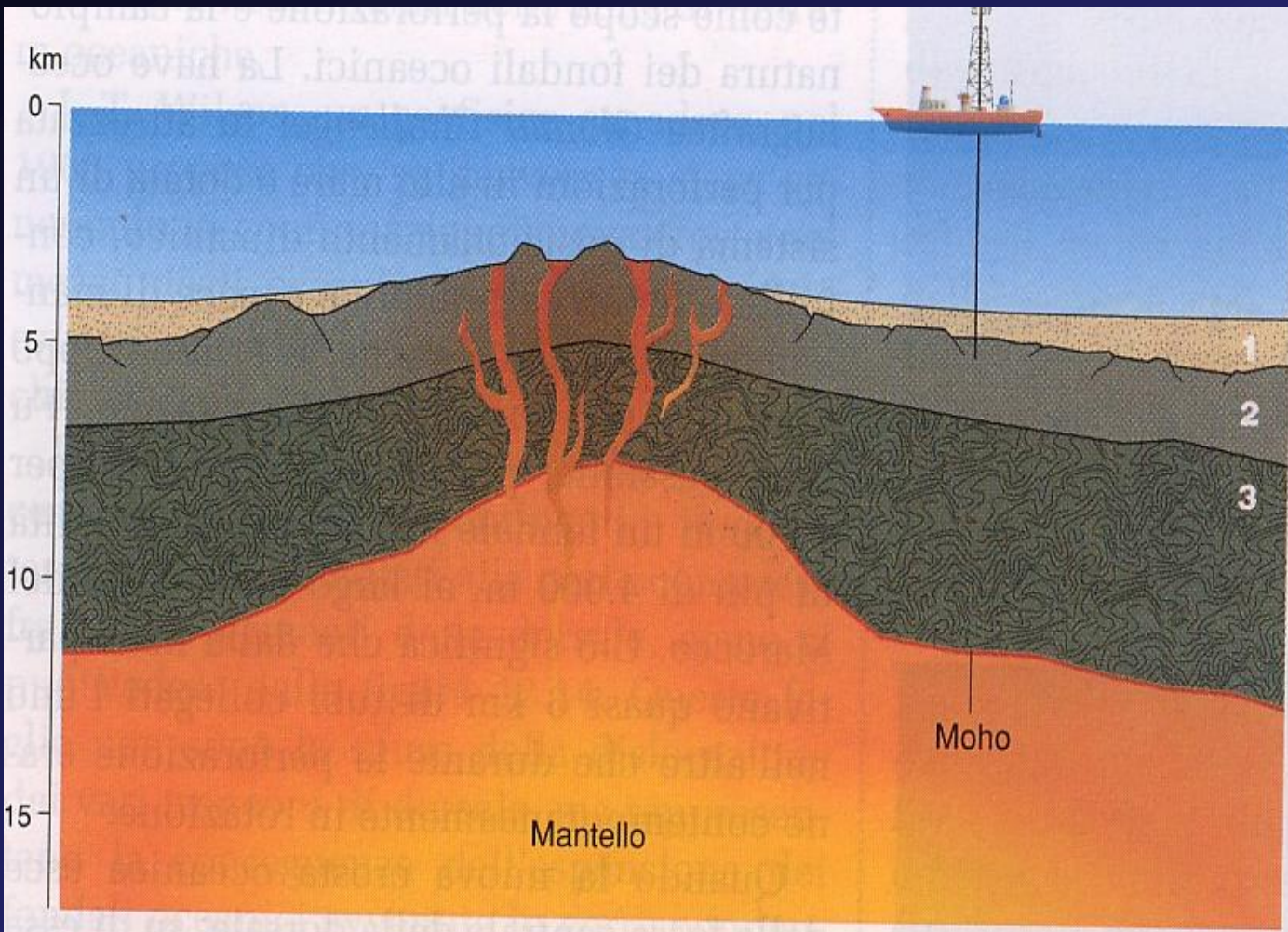
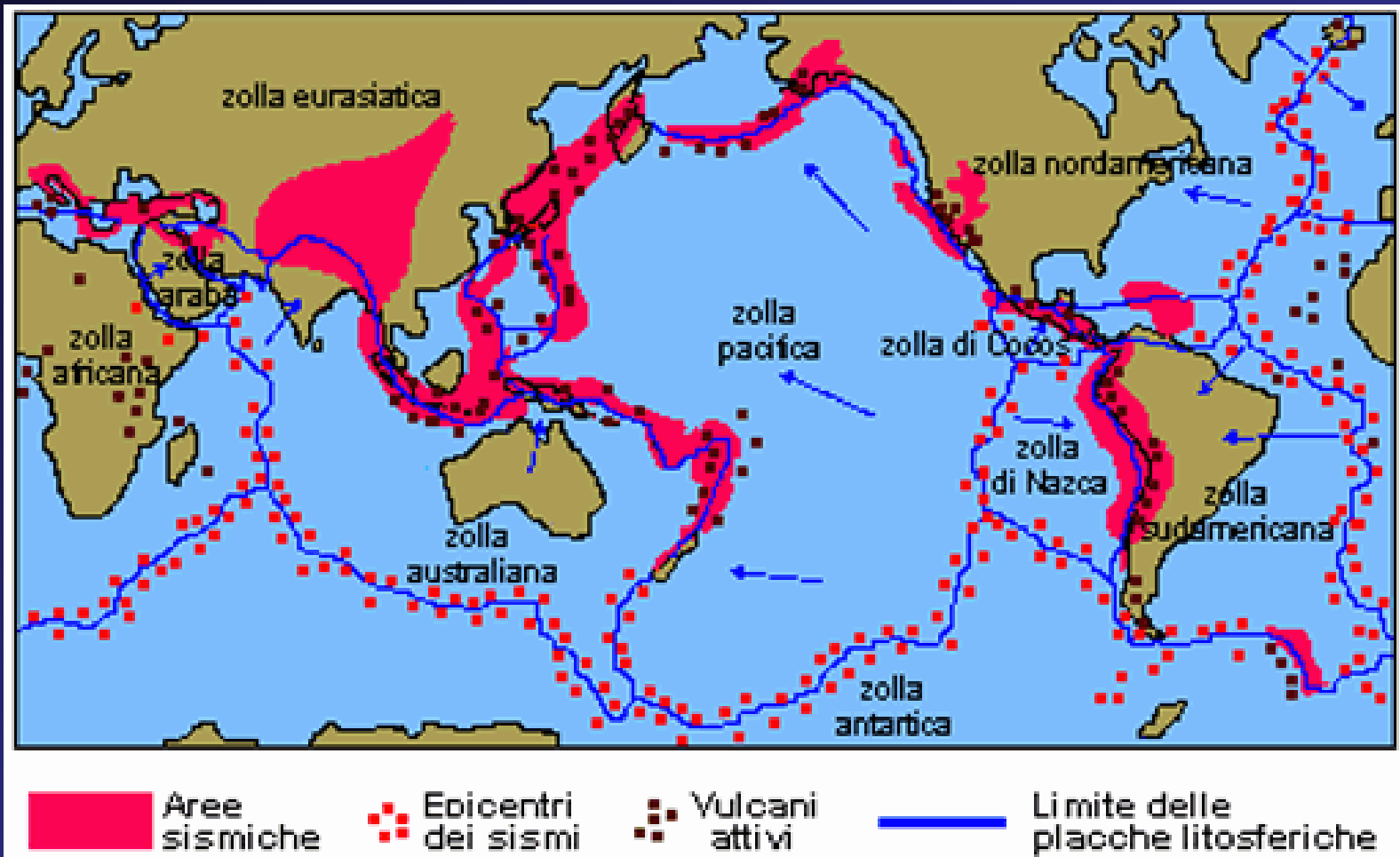


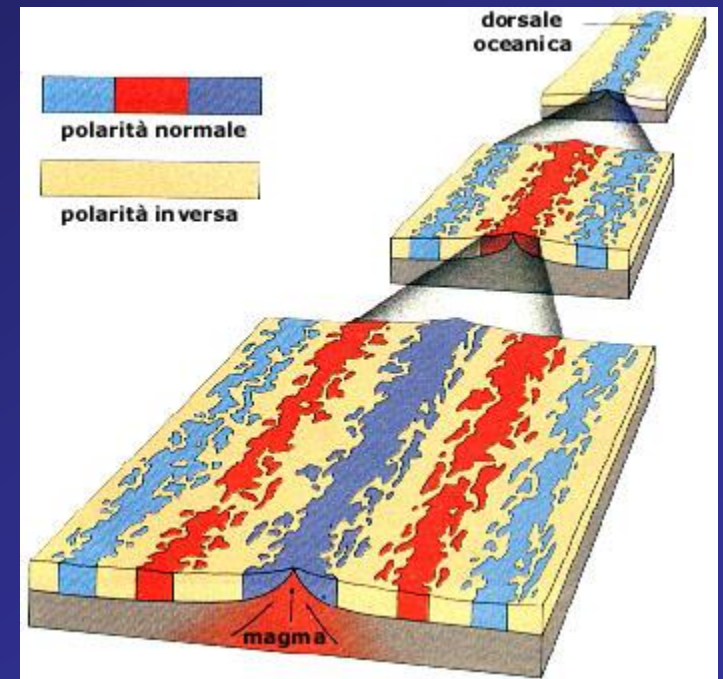
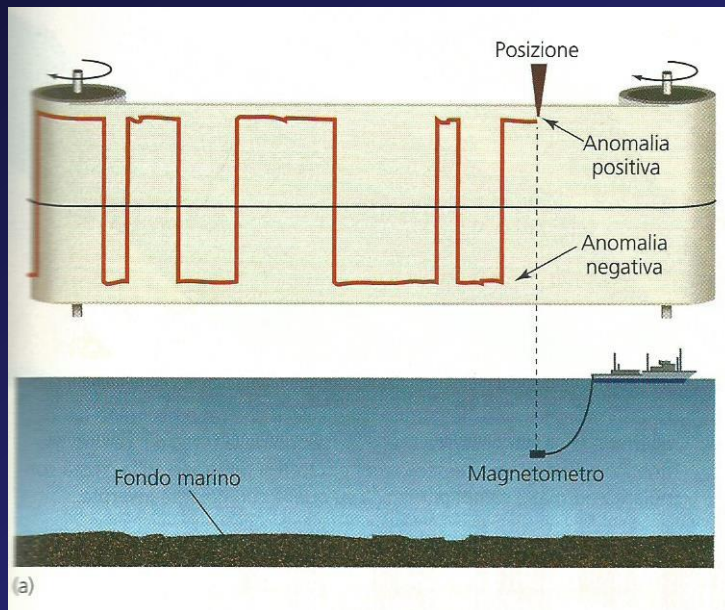
Figura 12.17. La crosta oceanica è costituito da uno strato di sedimenti (1), da uno strato di basalto (2) e da uno strato di gabbro (3). Lo strato di sedimenti aumenta di spessore man mano che ci si allontana dalla dorsale.

Nel 1940 Hugo Benjoff tracciò la posizione dei sismi profondi ai margini dell'Oceano Pacifico. La sua carta indica una catena di sismi che oggi è conosciuta come "Anello di fuoco del Pacifico" ed a partire da essa gli scienziati hanno tracciato la distribuzione dei vulcani e dei sismi nel mondo.

L'analisi sistematica dei sismi profondi permise di comprendere che essi non avvenivano casualmente sopra la superficie terrestre, ma erano concentrati lungo vere e proprie linee, localizzate sulla crosta terrestre e corrispondenti al sistema mondiale delle dorsali e delle fosse oceaniche.



LE ANOMALIE MAGNETICHE E L'ESPANSIONE DEI FONDI OCEANICI



Anomalie magnetiche della dorsale medio-Atlantica a sud dell'Islanda

In nero le anomalie positive corrispondenti ad una polarizzazione del campo normale (in bianco quelle di campo inverso)

Notare la disposizione a strisce parallele speculari rispetto all'asse della dorsale

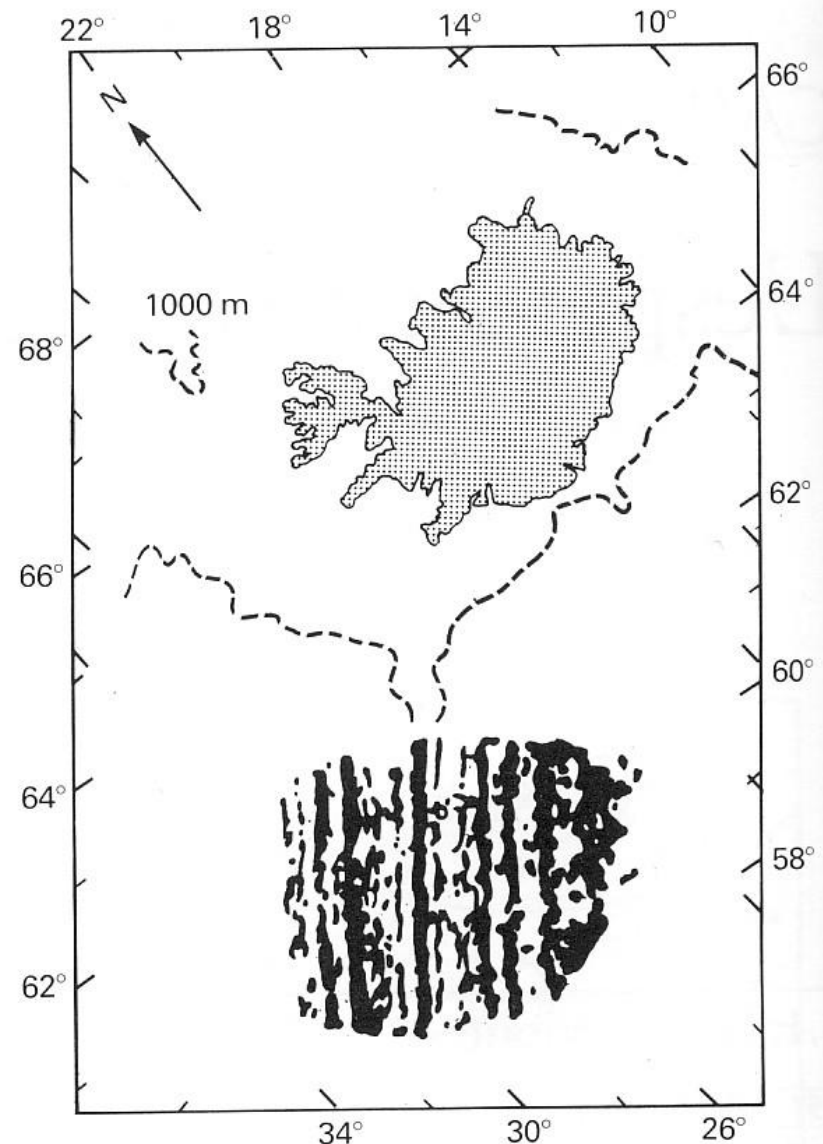


Figura 4.2 Lineazioni magnetiche sui lati della Dorsale Medio-atlantica a Sud dell'Islanda. Anomalie positive in nero (secondo Heirtzler *et al.*, 1966, in *Deep Sea Research*, **13**, p. 428, col permesso di riproduzione della Pergamon Press Ltd).

La formazione delle bande simmetriche, di età geologica crescente radialmente dalla dorsale, è conseguenza dell'inversione di polarità nel tempo geologico e dell'espansione del fondale.

Figura 4.6 Espansione del fondo marino e creazione delle lineazioni magnetiche secondo l'ipotesi Vine e Matthews (ridisegnato da Bott, 1982a, con permesso di riproduzione della Edward Arnold Ltd).

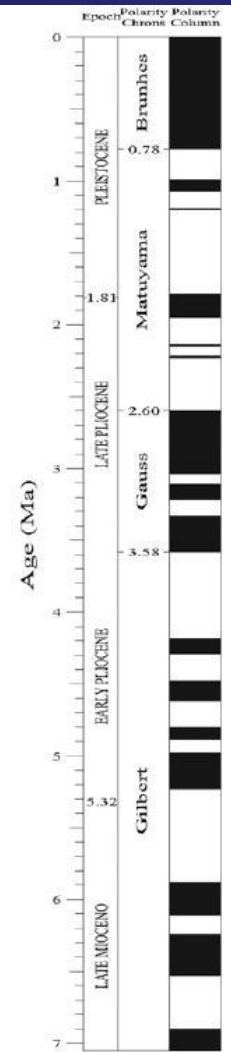
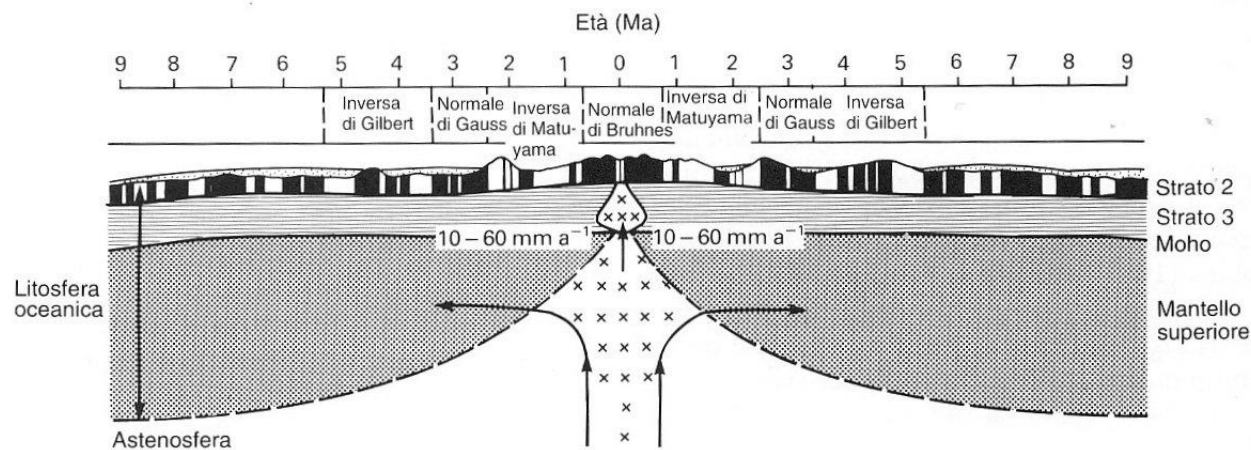


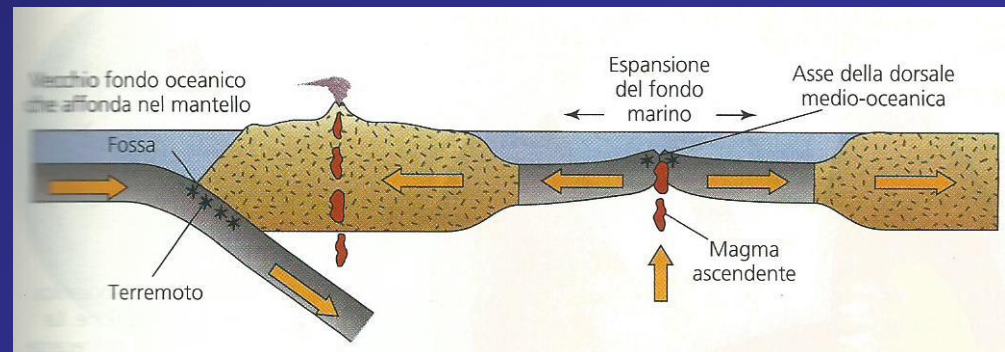
Fig. 10. Geomagnetic polarity chrons and subchrons from late Miocene to Pliocene time (Ogg, 1995). Normal-polarity chrons are shown in black and reversed-polarity chrons are white.

L'espansione dei fondi oceanici

Nel 1962, Harry Hess propose un'idea per spiegare la topografia del fondale oceanico e l'attività che esiste lungo le dorsali e le fosse, suggerendo che nuova crosta oceanica si origina dalle *rift* (spaccature) delle dorsali oceaniche ed il fondale e la roccia sottostante sono formati proprio dal magma che risale dalle profondità della Terra. Questo spiegherebbe perché il sistema della dorsale è composto da rocce basaltiche, cioè da rocce di origine vulcanica.

Hess propose, inoltre, che il fondale muovendosi lateralmente si allontana dalla dorsale e sprofonda in una fossa lungo il margine del continente.

Nel modello di Hess, le correnti convettive nell'astenosfera spingono il fondale oceanico dalle dorsali alle fosse; tuttavia queste correnti dovrebbero spostare anche i continenti poiché sia i continenti sia l'oceano fanno parte della stessa litosfera.



La teoria dell'espansione dei fondali sviluppata da Hess ebbe successo dove Wegener fallì. I continenti furono considerati parte di placche che si muovono sulla "soffice" e plastica astenosfera. Inoltre, il movimento di allontanamento del fondale dalla dorsale, contribuì anche a spiegare la distribuzione dei sismi e dei vulcani scoperta da Benioff nel 1940: quando la litosfera sprofonda a livello delle fosse nell'astenosfera, si originano sismi e vulcani poiché le placche oceaniche dense (fatte da rocce basaltiche) vengono spinte sotto le placche continentali meno dense (fatte di rocce costituite per lo più di materiale granitico). L'immersione delle placche di subduzione, motiva la distribuzione dei sismi e dei terremoti.

FOSSE DI SUBDUZIONE

Strutture morfologicamente depresse lungo le quali avviene la subduzione della litosfera oceanica

Distribuzione dei sismi in un sistema arco-fossa:

Gli ipocentri dei terremoti sono distribuiti secondo una fascia sismica inclinata dalla fossa verso l'arco, detta "piano di Benioff"

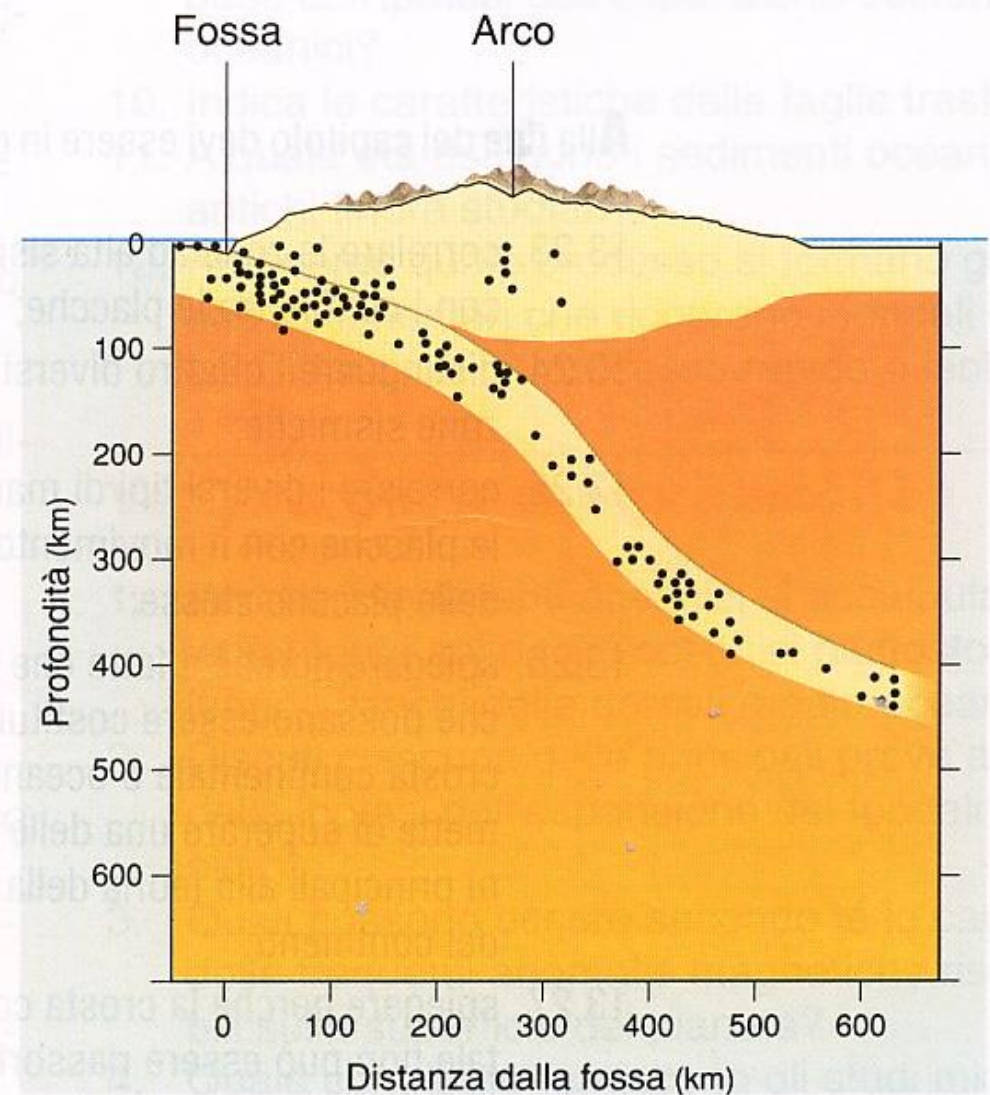
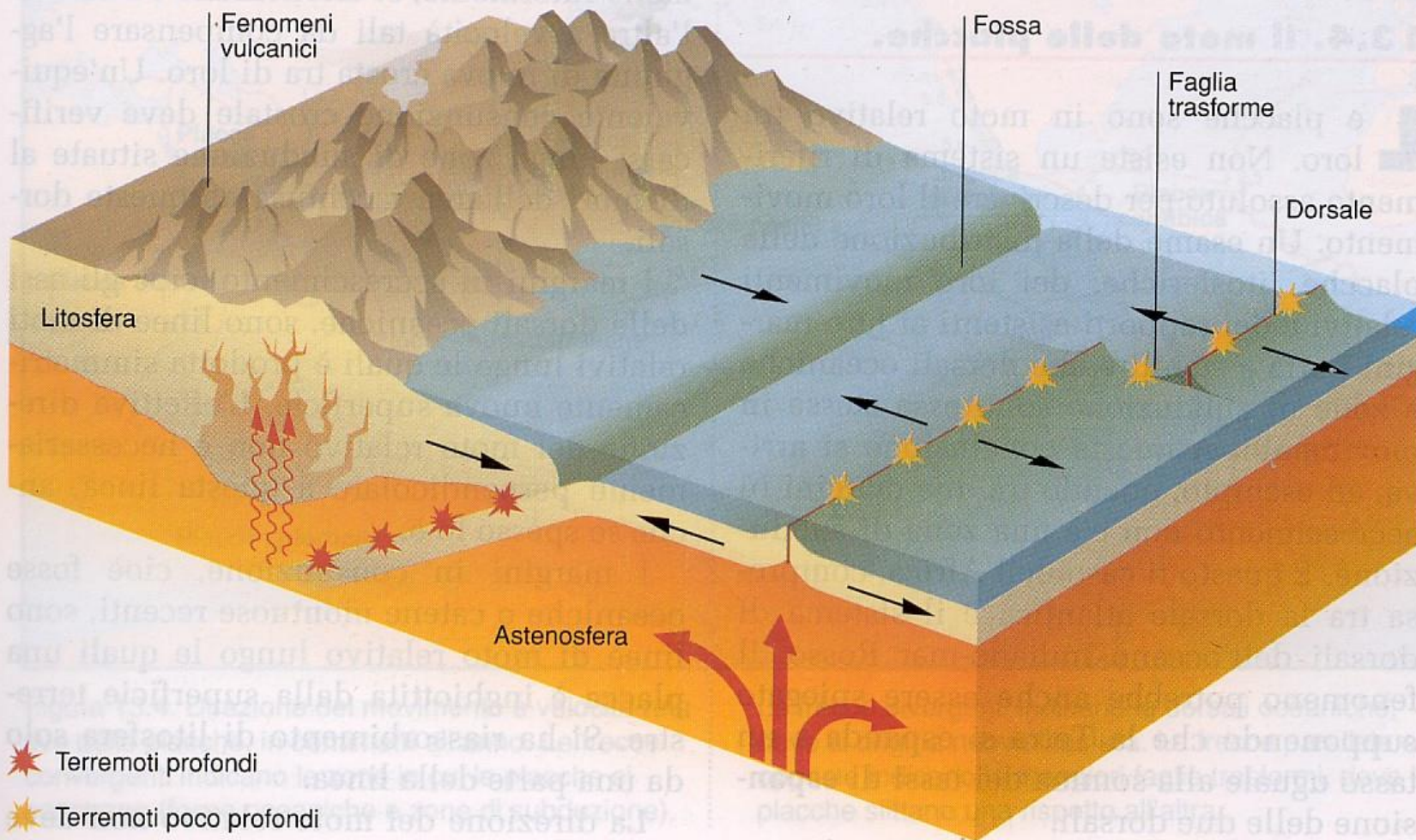


Figura 13.1. Sezione verticale attraverso l'arco insulare Izu-Bonin nel Pacifico occidentale, che mostra la distribuzione degli ipocentri dei terremoti (punti neri) registrati nel periodo dal 1954 al 1969. La fascia sismica indicata in colore è il cosiddetto piano di Benioff.

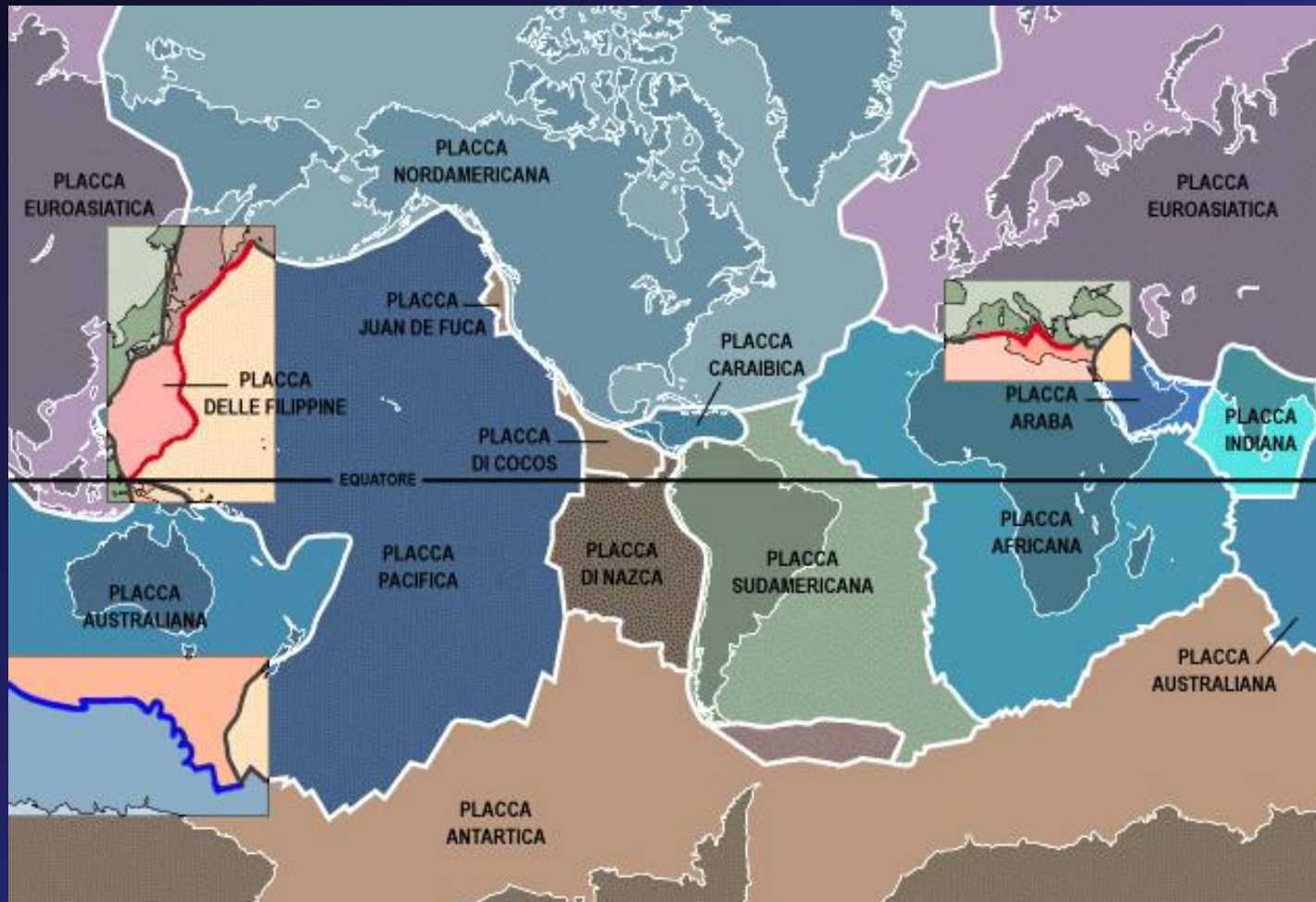
Margini di placca, sismi, dorsali di espansione, faglie trasformi e fosse oceaniche



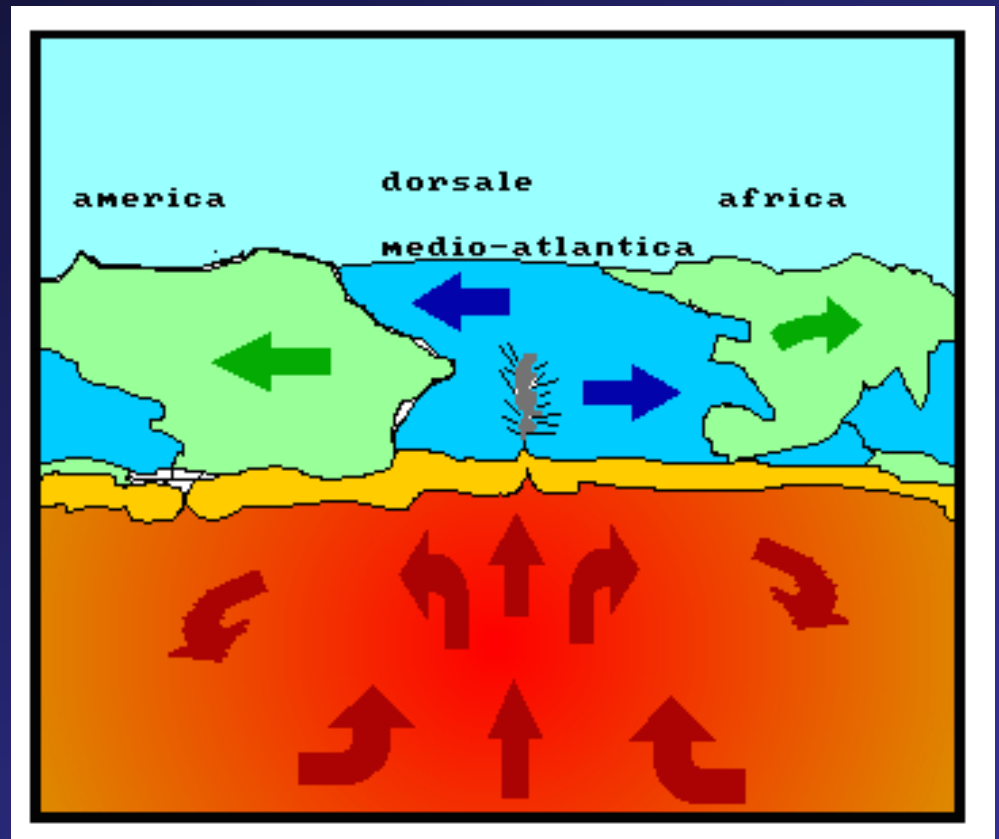


Nel 1965, le idee della deriva dei continenti e dell'espansione dei fondali furono integrate nel concetto di Tettonica a placche da Tuzo Wilson.

La tettonica divide lo strato superficiale della Terra in dodici placche litosferiche distinte, ognuna di circa 45-65 miglia.

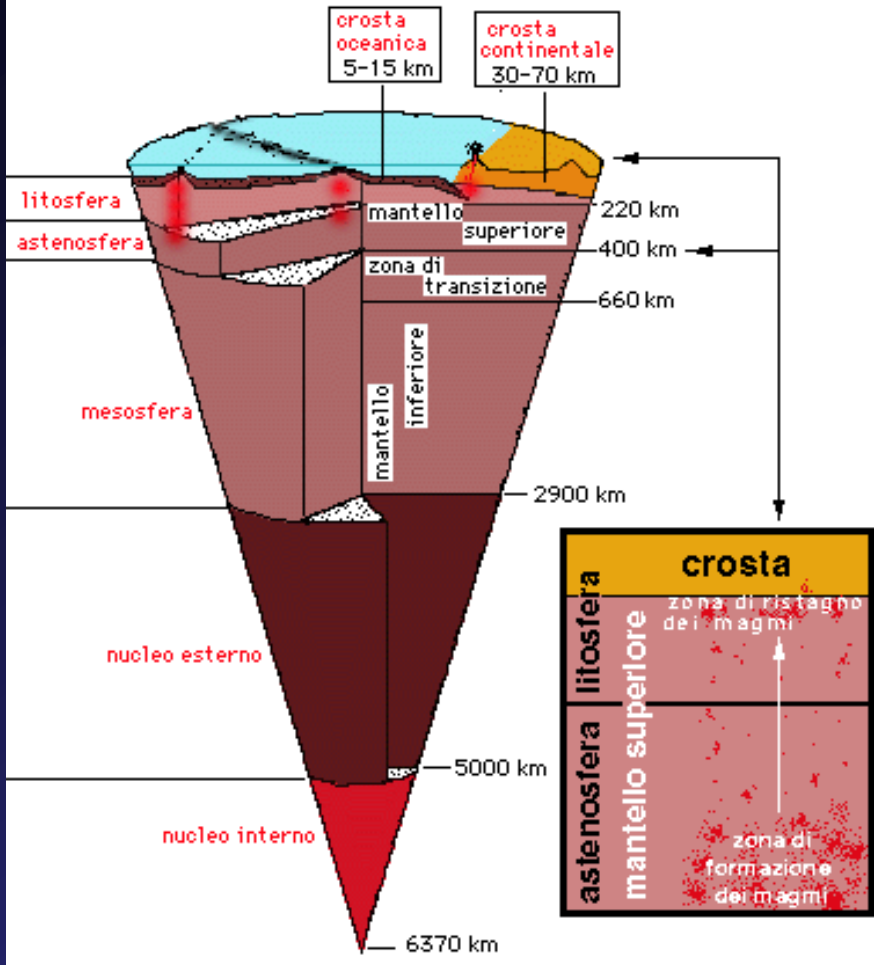


Queste placche fluttuano sulla sottostante astenosfera che, riscaldata dall'interno della Terra e divenuta plastica, si espande, diventa meno densa e si solleva. Incontrando la litosfera devia e trascina le placche lateralmente finché si raffredda e si condensa deviando nuovamente per completare il ciclo.



Wilson fu il primo ad utilizzare il termine placche, ma la formulazione teorica completa ed il suo sviluppo furono opera del geofisico americano Jason Morgan

STRUTTURA INTERNA DEL GLOBO TERRESTRE



Ve lo ricordate????

Se immaginiamo di sezionare la Terra, è possibile riconoscere un sottilissimo strato esterno detto CROSTA TERRESTRE , al di sotto del quale si trovano MANTELLO e NUCLEO.

La crosta terrestre è lo strato più esterno, quello su cui noi camminiamo e su cui si svolgono le attività degli organismi viventi. E' composto da materiali solidi: le rocce.



Il passaggio dalla crosta al mantello è segnato dalla discontinuità di Mohorovicic' (legata al cambiamento di velocità delle onde P in prossimità di questa superficie).

CROSTA TERRESTRE + PARTE SUPERFICIALE DEL
MANTELLO = **LITOSFERA**

La Litosfera si comporta rigidamente se sottoposta a tensioni.

Il MANTELLO ha uno spessore di circa 2900 Km. E' formato da rocce parzialmente fuse che alimentano il magma.

La parte del mantello superiore a contatto con la litosfera forma l'ASTENOSFERA (che ha un comportamento plastico).

Il passaggio da mantello a nucleo è segnato dalla discontinuità di Gutenberg.

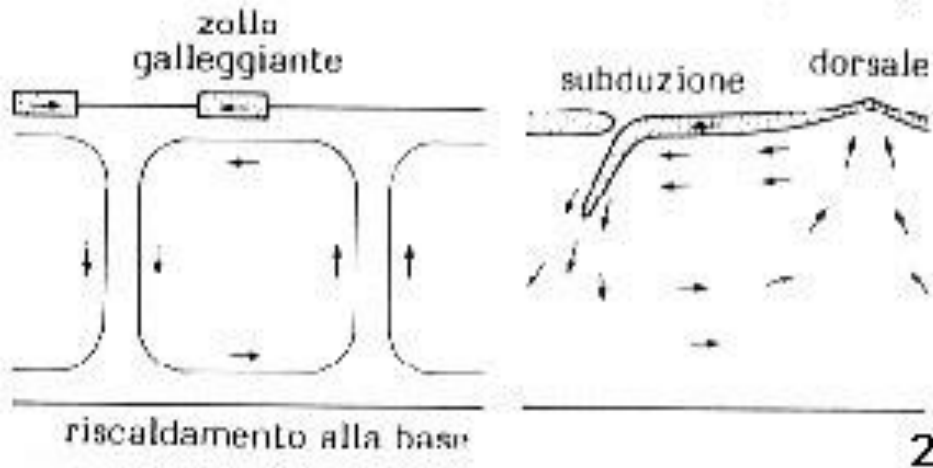
Il nucleo ha uno spessore di circa 3470 Km ed è composto da una parte esterna liquida e da una parte interna solida.

Nel passaggio dalla crosta al nucleo si osserva un progressivo aumento della densità dei materiali, della pressione e della temperatura.

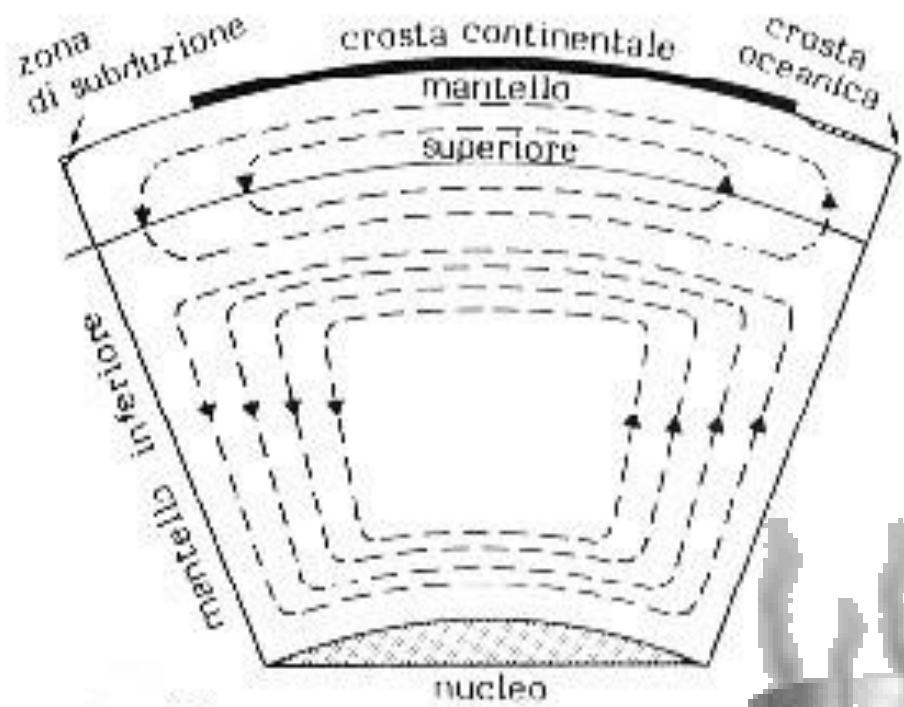


Nel mantello, che ha un comportamento plastico, avverrebbero fenomeni di CONVEZIONE tipici dei fluidi. Se riscaldiamo un fluido esso si espande diventando meno denso rispetto al materiale circostante e tende quindi a salire. Il materiale più freddo tenderà invece a scendere instaurando così un circolo che prende il nome di CELLA CONVETTIVA.

Queste correnti sono responsabili della DERIVA DEI CONTINENTI e della TETTONICA DELLE PLACCHE e forniscono magma ai vulcani e alle dorsali oceaniche.



i moti convettivi presenti nel mantello (pare in tutto il mantello!!!) determinano la risalita del magma verso la litosfera (più caldo e quindi più leggero) e del suo ritorno verso l'astenosfera (più freddo e quindi più pesante).



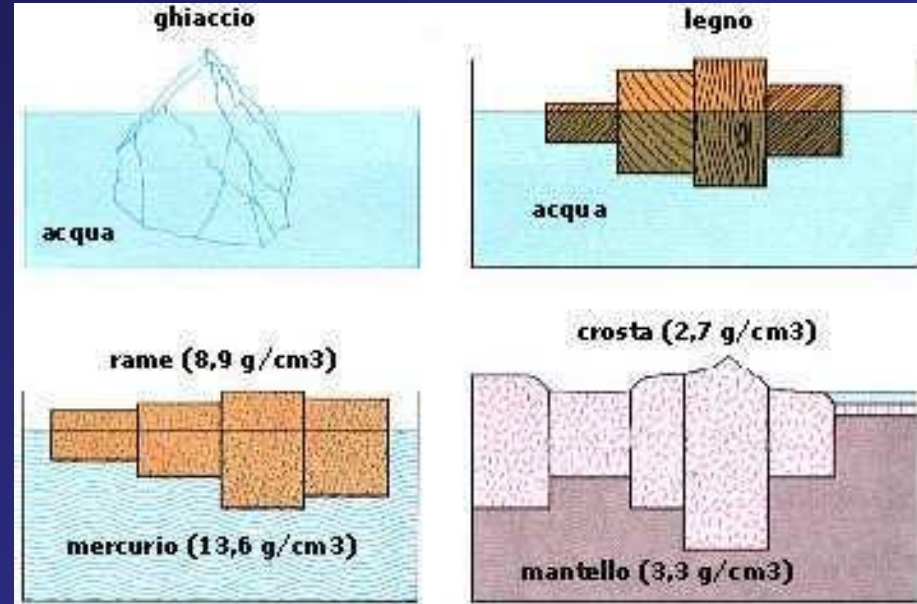
Questi moti convettivi stabiliscono nel mantello un movimento ciclico nei materiali fluidi responsabile del lento spostamento delle zolle.

Il movimento delle zolle è molto lento, dell'ordine di pochi centimetri l'anno.



ISOSTASIA

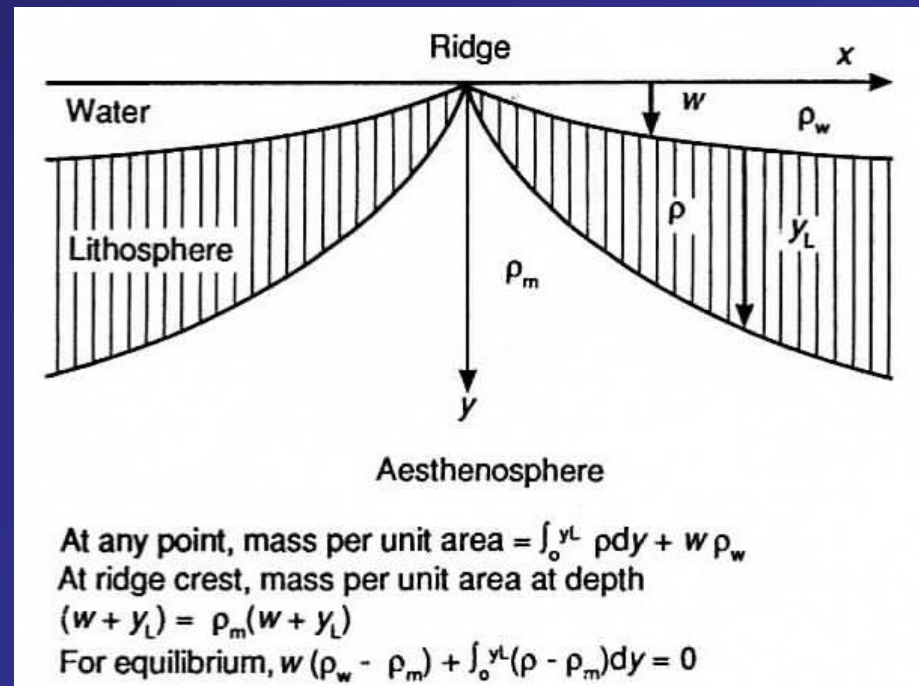
Tutta la litosfera in genere galleggia sul mantello che in realtà non è un substrato compatto e rigido, ma anzi risulta avere un comportamento plastico che permette un certo movimento al di sopra di essa. Quindi dovrà esistere una sorta di equilibrio tra il mantello e la crosta, altrimenti quest'ultima affonderebbe. Verso la fine del 1800 venne enunciato da Dutton il principio dell'isostasia secondo la quale le masse rocciose sono in equilibrio al di sopra della massa del mantello, cioè in pratica queste masse di crosta galleggiano sul mantello come farebbe un pezzo di legno sull'acqua, e dipendendo dalla densità di questo, cioè il suo peso, questo pezzo di legno sporge più o meno dall'acqua

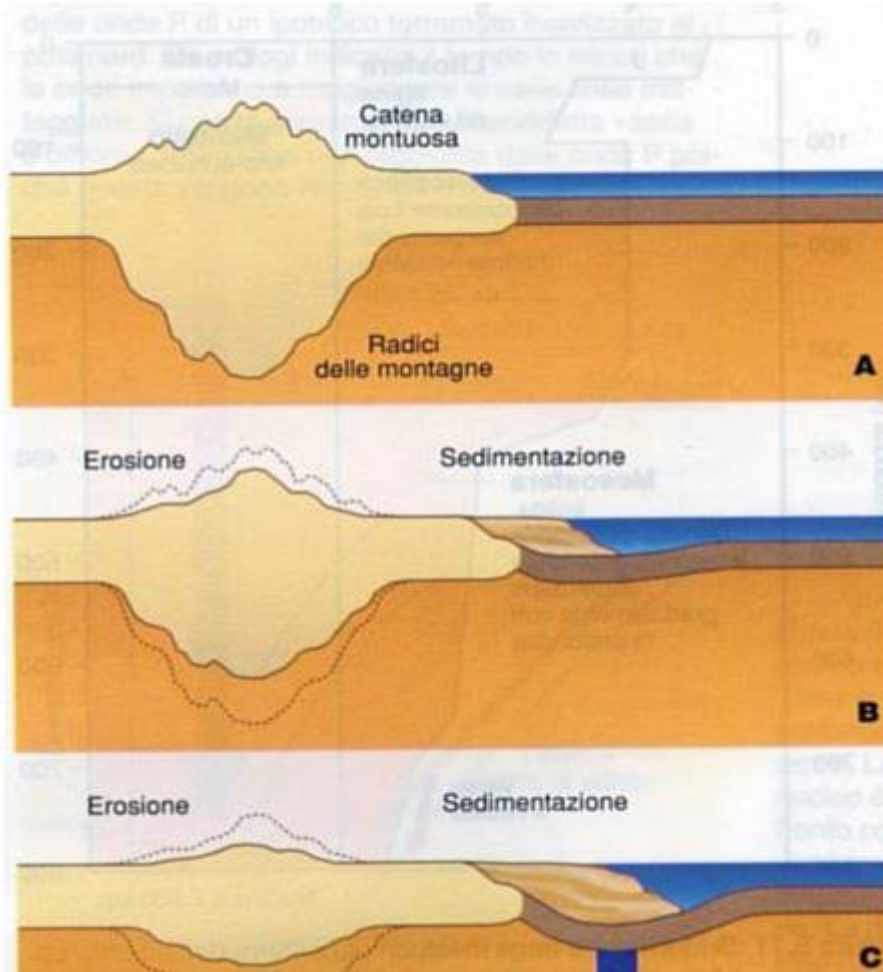


L'isostasia è l'applicazione del principio di Archimede al "galleggiamento" dei blocchi crostali sul sottostante mantello.

Profondità del fondo oceanico in funzione dell'età

Man mano che la litosfera si raffredda allontanandosi dalla dorsale, essa aumenta di densità (SI RAFFREDDA) ed aumenta il carico litostatico sul mantello sottostante. Questo assorbe lo spostamento grazie al suo comportamento plastico (viscosità), causando una subsidenza che vede l'abbassamento del fondale oceanico. Il principio dell'isostasia (*) richiede che ogni colonna litosferica sia compensata a qualsiasi distanza dalla cresta. Con questo principio è possibile calcolare la profondità del fondo oceanico in funzione dell'età della roccia, noto che sia il coefficiente di espansione (contrazione) termica della litosfera.





PS: l'equilibrio isostatico viene raggiunto anche quando le catene montuose vengono erose o quando i ghiacciai che insistono su un'area continentale fondono (per es. area scandinava)

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...

Isostasia e spiagge sollevate in Patagonia

Sabbie eoliche

Depositi di spiaggia con conchiglie

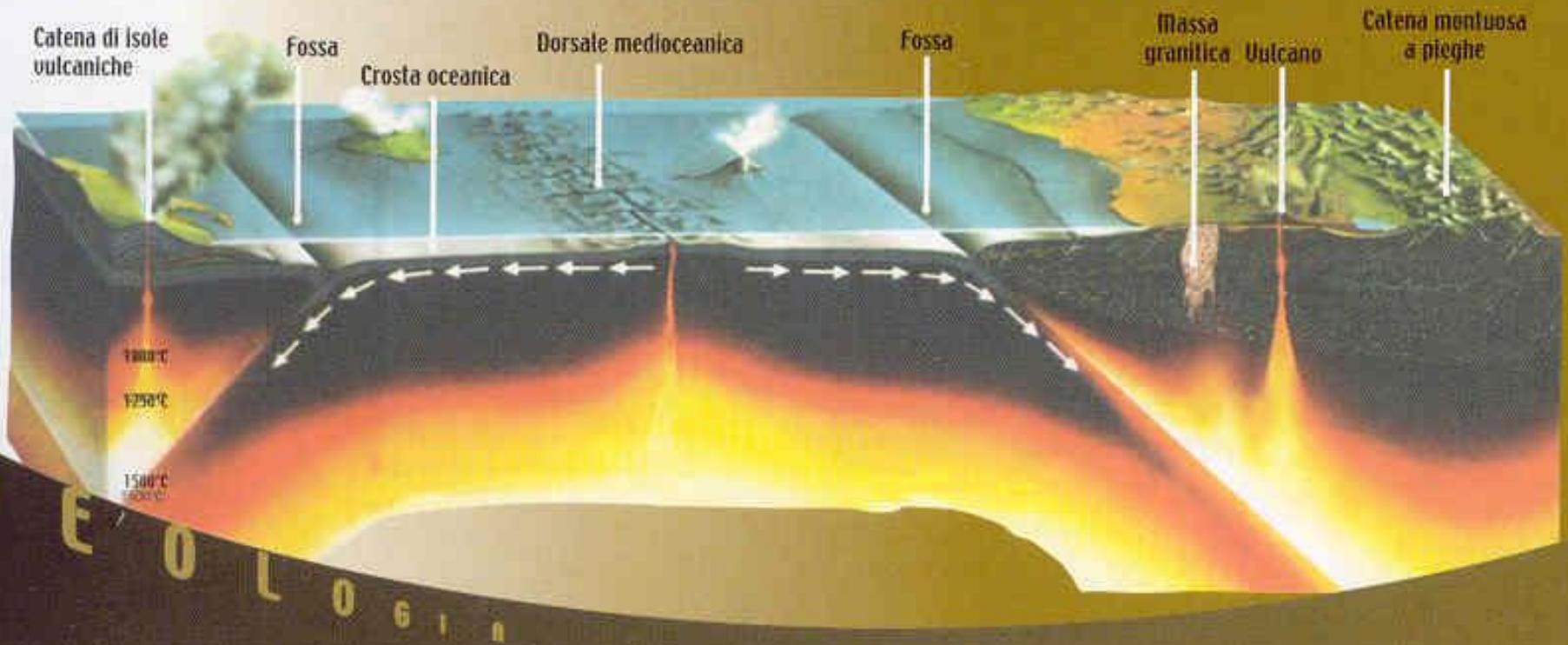
Fanghi glaciali

NB: 6-8 m sul livello del mare



LA CROSTA TERRESTRE E' IN CONTINUO MOVIMENTO, IN CONTINUA EVOLUZIONE

LA FORZA SOTTO LA CROSTA TERRESTRE



Tutti i margini tra le placche coincidono con le principali zone sismicamente attive della Terra.

TRE TIPI DI MARGINE

- DIVERGENTI
- CONVERGENTI
- TRASFORMI

TRE TIPI DI MOVIMENTO

- ALLONTANAMENTO
- SCONTRO
- SCORRIMENTO

ALLONTANAMENTO...delle placche



SI FORMA NUOVA CROSTA

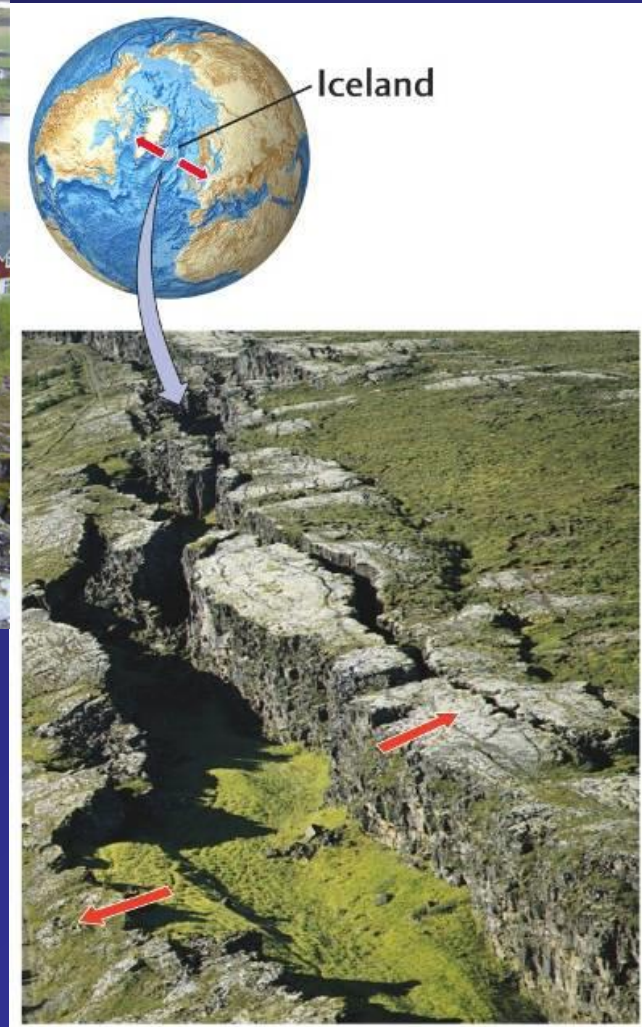
Lo spazio che si forma tra le due zolle che si allontanano, lascia posto alla fuoriuscita del magma proveniente dal mantello che giunto in superficie solidifica formando nuova crosta e determinando per esempio l'espansione dei fondali oceanici. Questo allontanamento porta alla formazione delle cosiddette dorsali oceaniche (es. dorsale medio-atlantica).

I margini di queste zolle vengono detti *margini di accrescimento o costruttivi* (perché si forma nuova crosta terrestre) o *margini divergenti* (poiché lungo questi margini le zolle divergono, cioè si allontanano)

Limiti divergenti : Caratterizzati da meccanismi distensivi, bassa sismicità, ipocentri superficiali.

Dorsale medio atlantica: allontanamento 1 cm anno -> espansione 2 cm/anno

Pacifico orientale: allontanamento 5 cm/anno -> espansione 10 cm/anno



Islanda: l'unico punto al mondo dove è possibile vedere in superficie una dorsale attiva

NB probabilmente è anche un punto caldo (Hot Spot)

004 14:32 07/20/88 8 5.0



PILLOWS- lava a cuscini

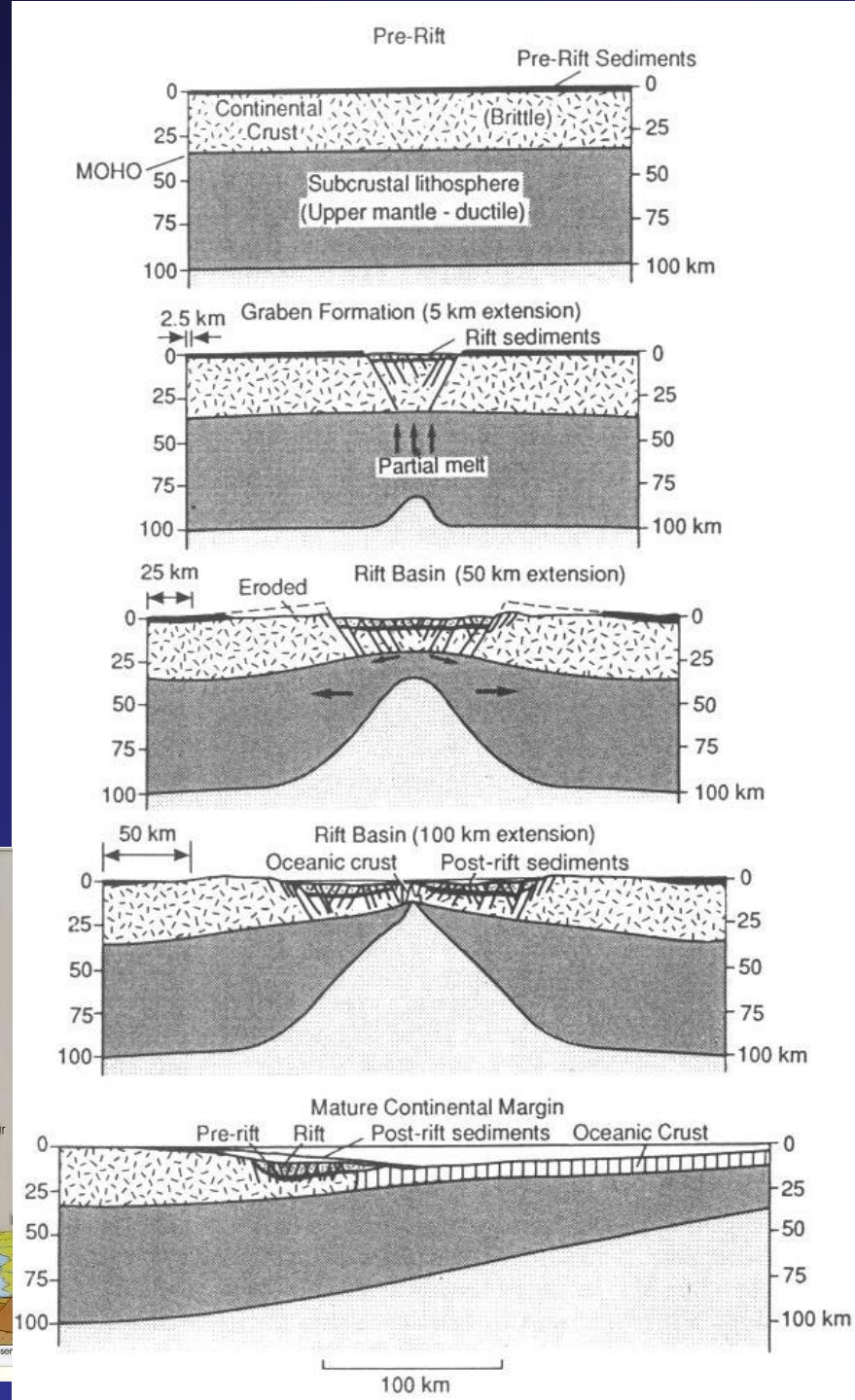
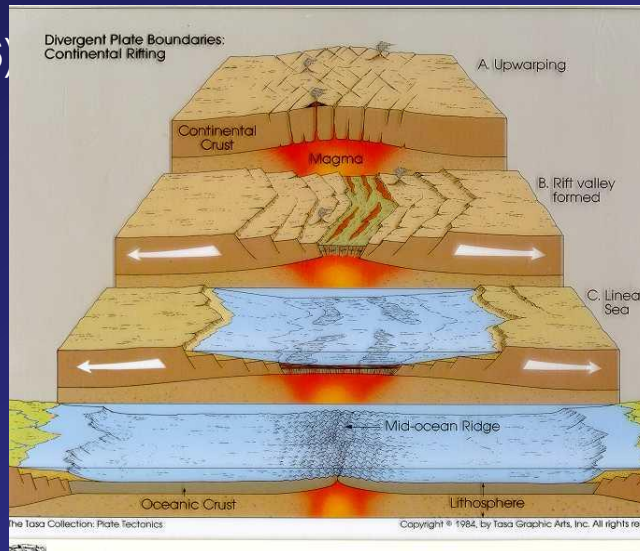


Il **rifting continentale** è causa della lacerazione della litosfera.

Se la divergenza continua per tempi geologici molto lunghi, è causa della formazione di una dorsale e di un oceano.

Il bacino prodotto dal rifting iniziale viene smembrato in due bacini e l'oceano che va ampliandosi determina la formazione di due margini continentali coniugati. Tali margini sono detti "**passivi**".

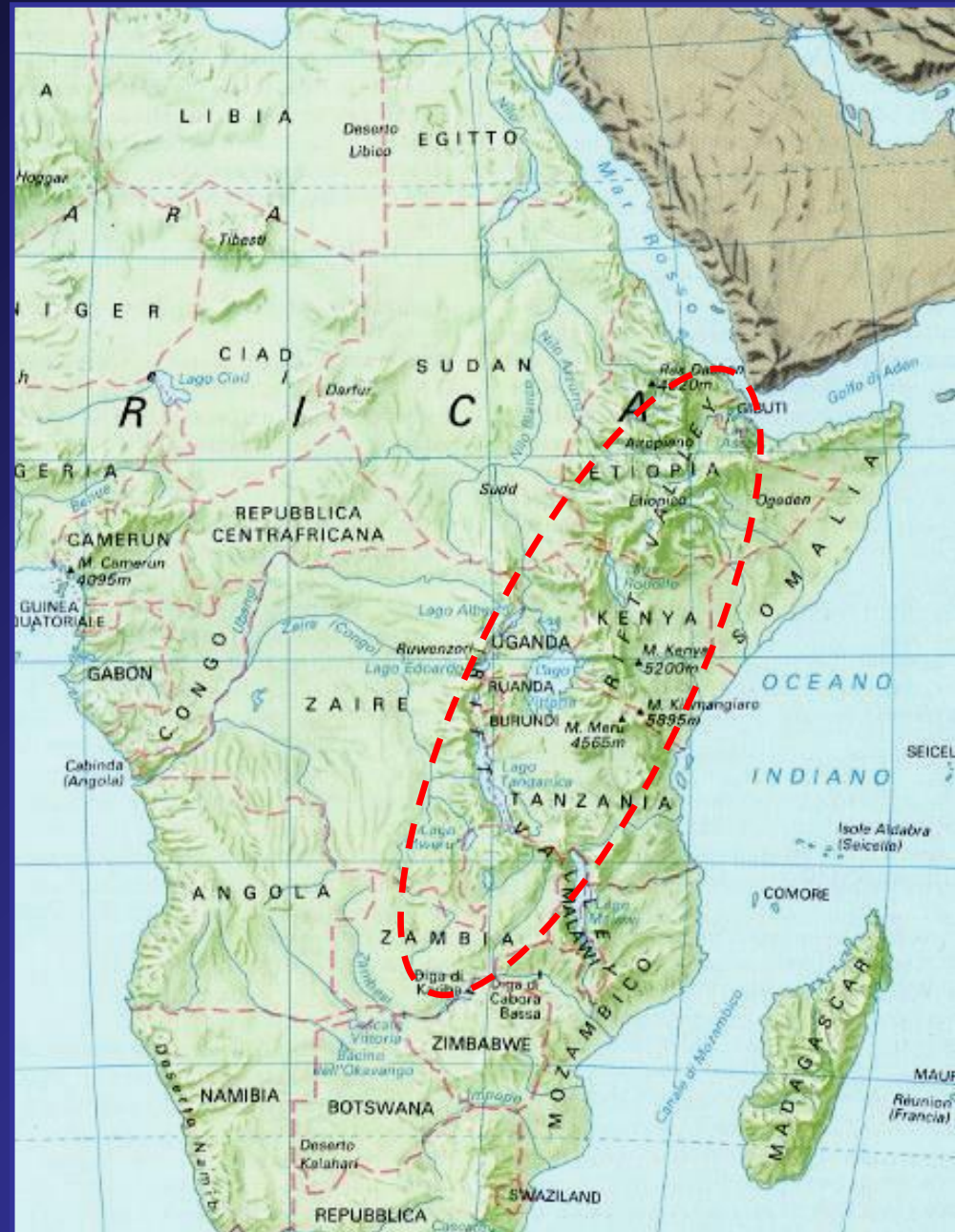
(da Salveson, 1976)

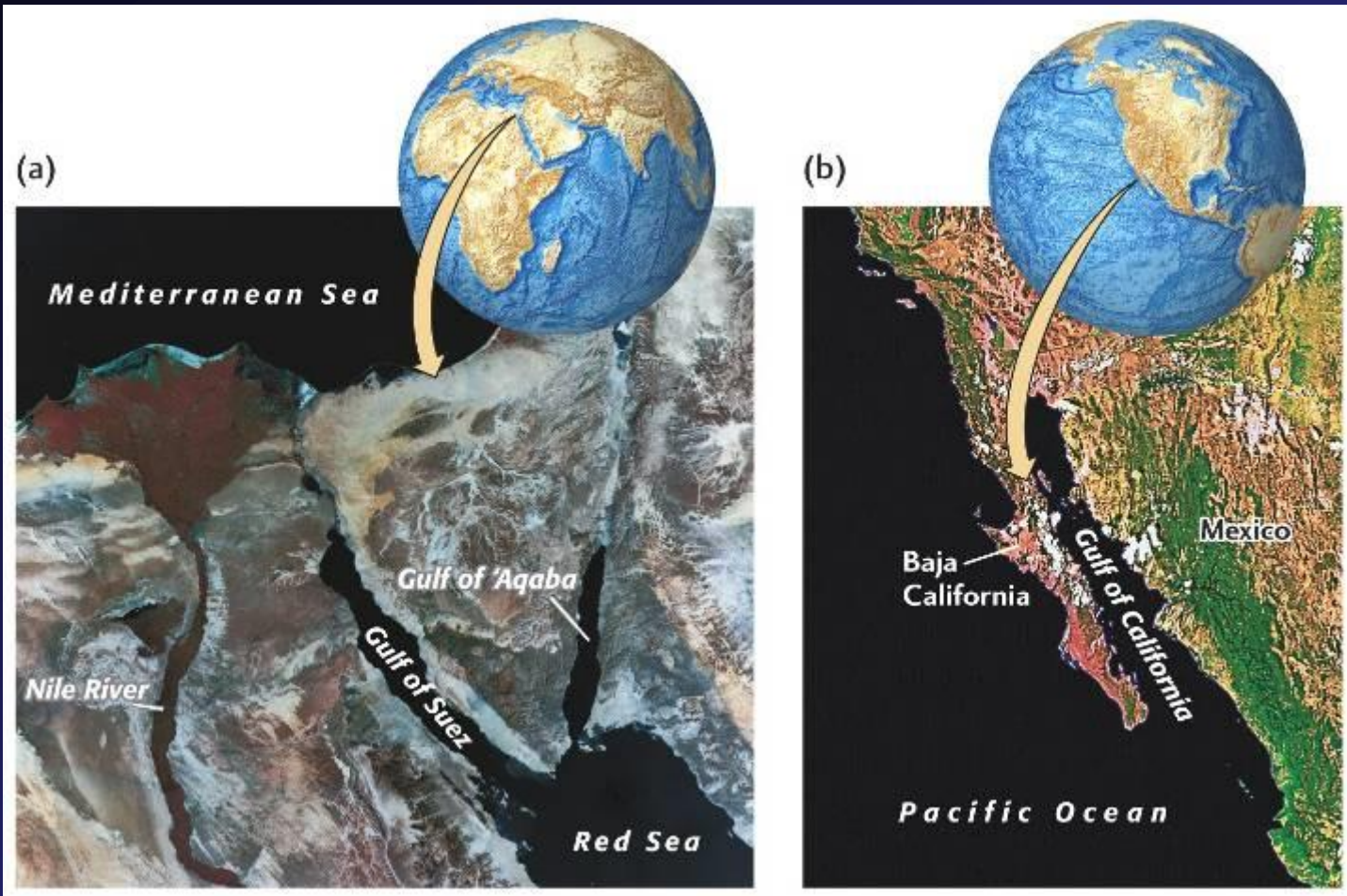


Africa orientale:
the Great Rift
valley.

Lago Tanganika:
1480 m di
profondità.

Vulcani:
Kilimangiaro





Mar Rosso e Baja California: due rift vally attive, ma ad uno stadio iniziale. Ci sono anche zone di espansione fermate.. Valle del Reno, Mare di Ross (Antartide)

SCONTRO...tra placche

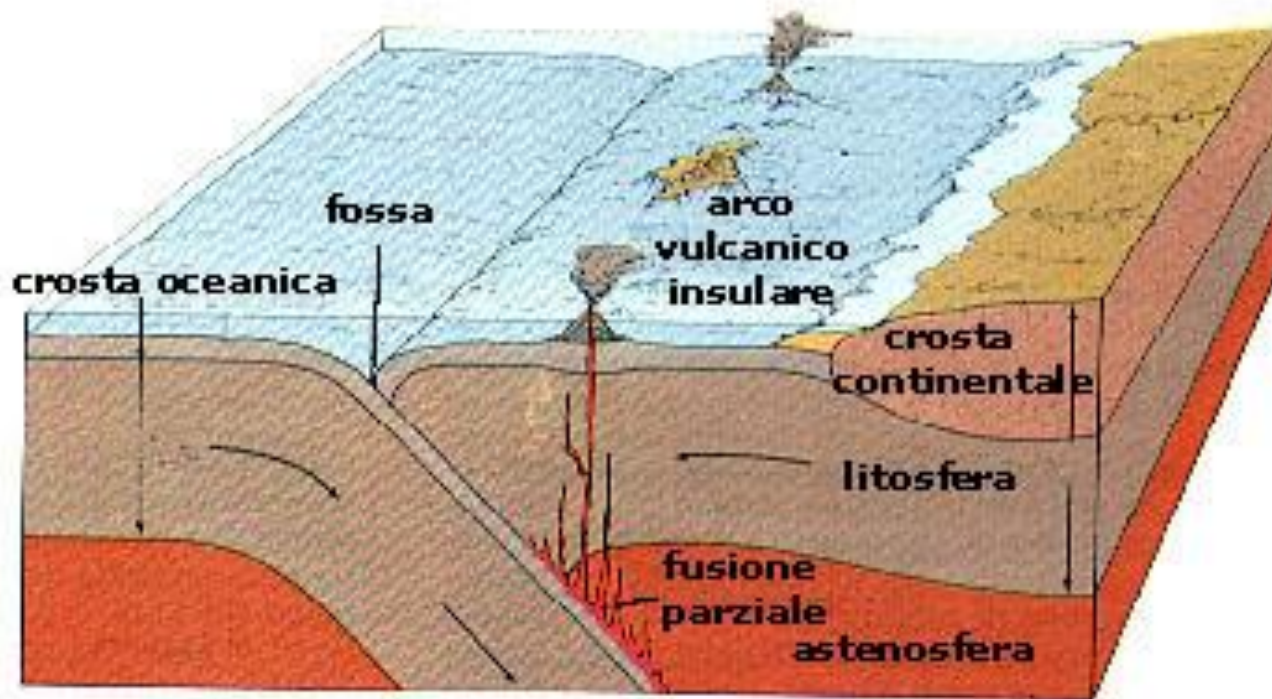
LA LITOSFERA VIENE
CONSUMATA

SI FORMA UNA CATENA
MONTUOSA

Margini *convergenti* o *distruttivi*

Limiti convergenti : caratterizzati da meccanismi compressivi, sismicità elevata, ipocentri superficiali, intermedi e profondi.

Possono verificarsi tre diversi
tipi di scontro



SCONTRO TRA DUE ZOLLE OCEANICHE:

La subduzione, in questo caso, avviene in pieno oceano e si formano archi vulcanici insulari e profonde fosse oceaniche (ad es. la fossa delle Marianne profonda 11.000 m).

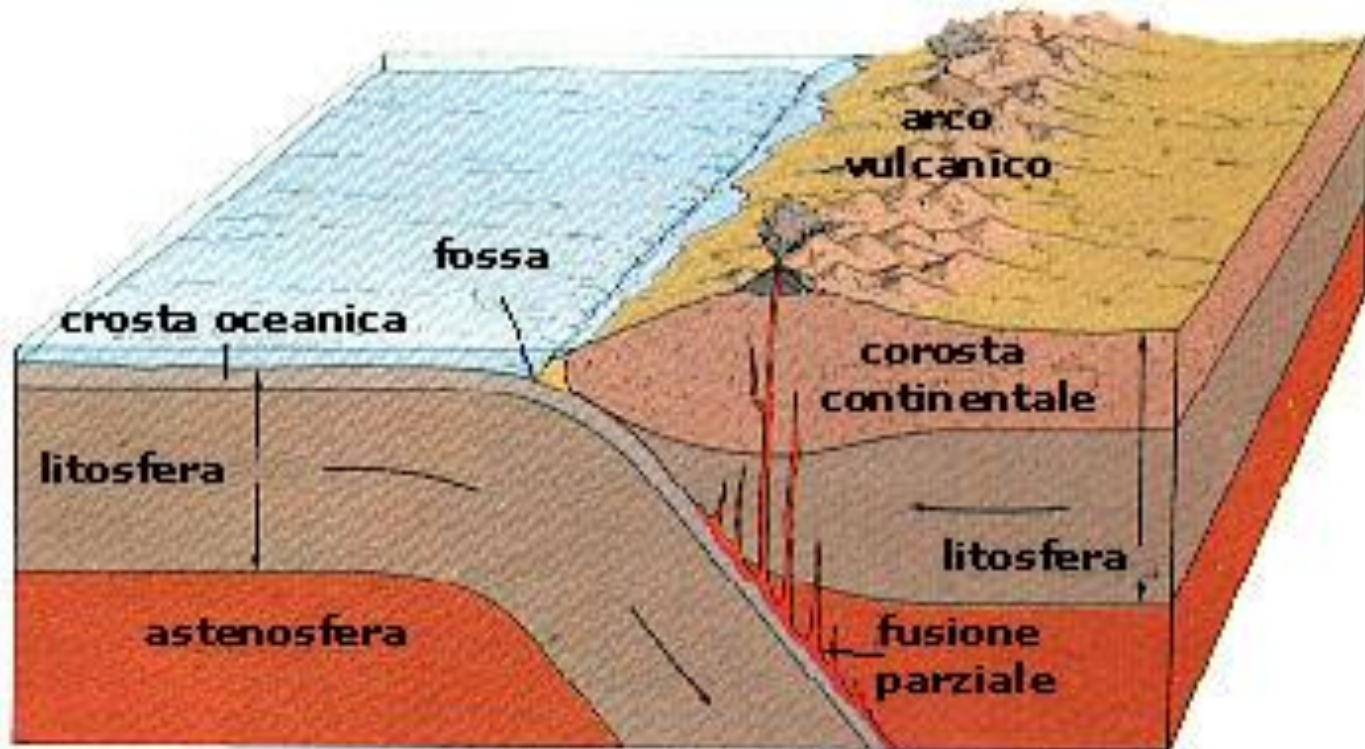
Il processo di subduzione causa la fusione parziale della litosfera subducente e la formazione di un sistema di arco insulare oceanico.

Il margine è detto "attivo" poiché è sede di attività sismica e magmatica.

La subduzione
oceano-oceano
causa la formazione
di archi magmatici
insulari

Il Giappone, le
Marianne, le Filippine,
le Aleutine, le Antille,
parte dell'arcipelago
dell'Egeo ed altri ancora
sulla Terra, sono tutti
esempi di **archi
magmatici insulari**.



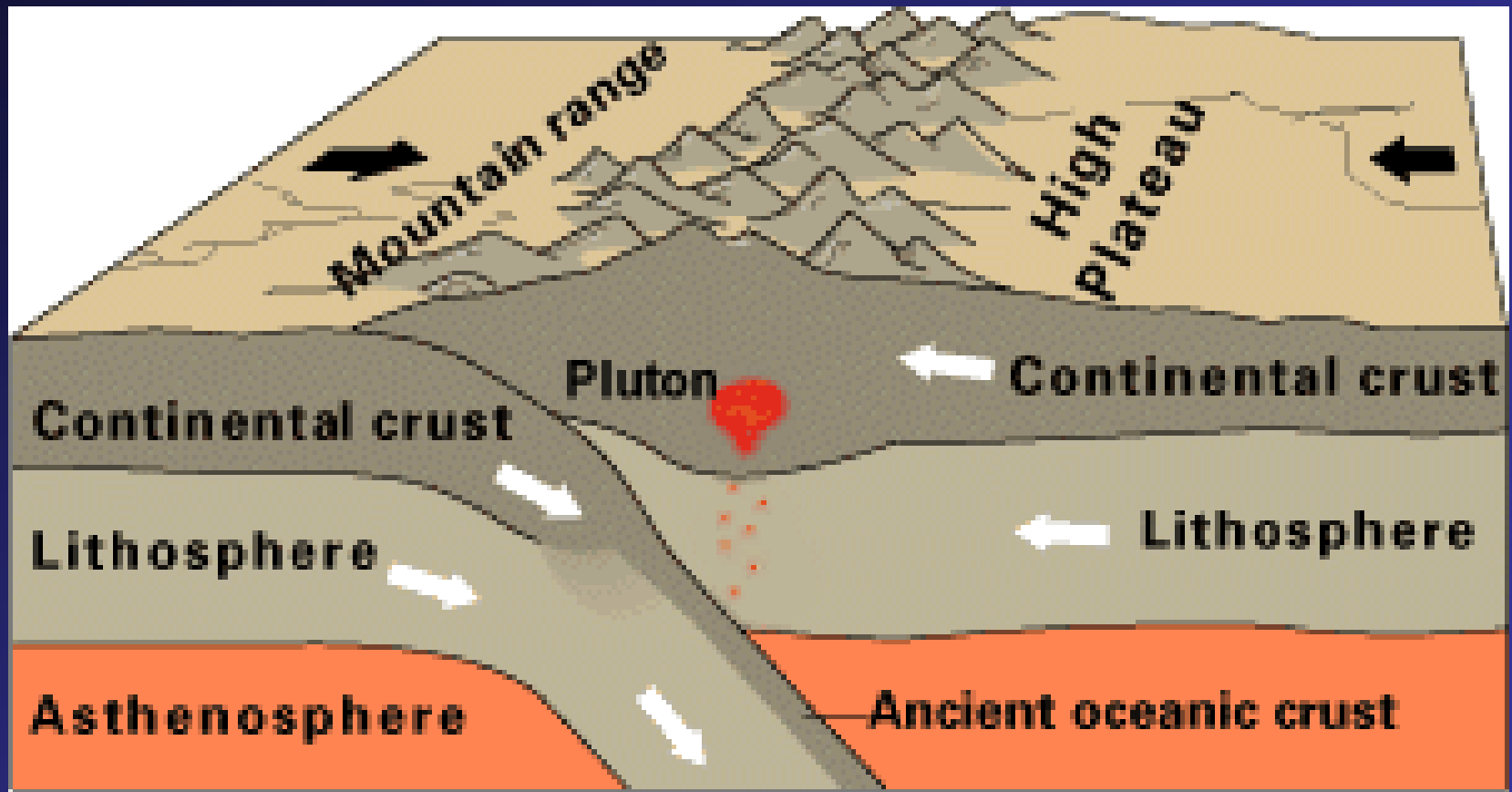


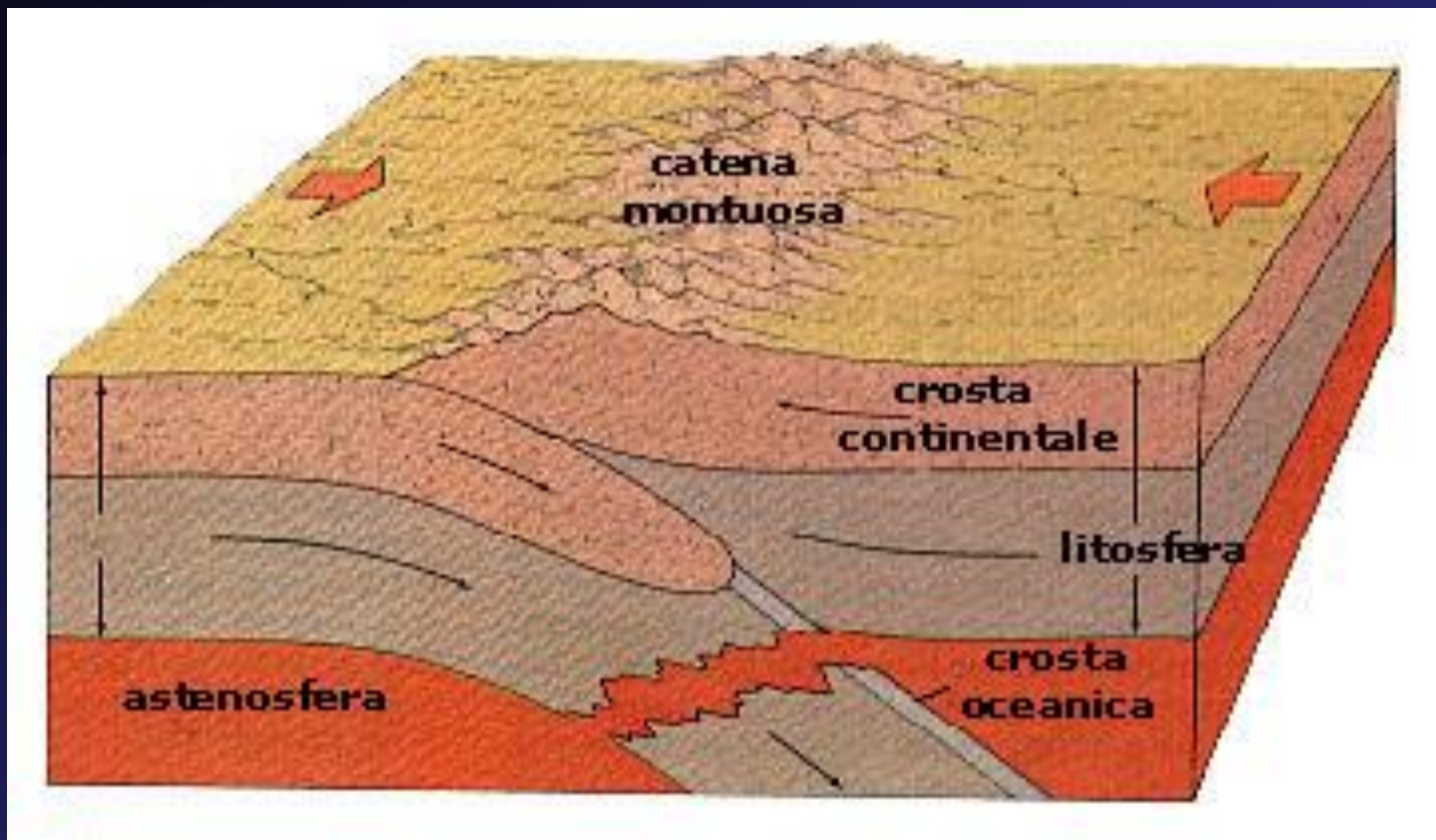
SCONTRO TRA UNA ZOLLA CONTINENTALE ED UNA OCEANICA:

La zolla oceanica, più densa, si flette sotto la zolla continentale e ritorna nel mantello (processo di subduzione). Parte della crosta terrestre viene distrutta, nell'astenosfera la crosta oceanica fonde e il materiale fuso risale in superficie formando dei vulcani sulla crosta continentale (arco magmatico continentale). Le Ande sono l'esempio più significativo di questo tipo di convergenza tra placche litosferiche. Si forma inoltre una fossa oceanica.

L'evoluzione finale di un processo di convergenza fra placche litosferiche porta alla collisione continentale con elisione dell'oceano interposto e formazione di una catena orogenica. I due continenti , prima separati, ora formano un unico blocco. Il margine formato è detto di "tipo alpino-himalayano".

Nonostante la subduzione venga a cessare, gli sforzi convergenti nelle due litosfere permangono e sono causa di sismicità di magnitudo anche elevata.

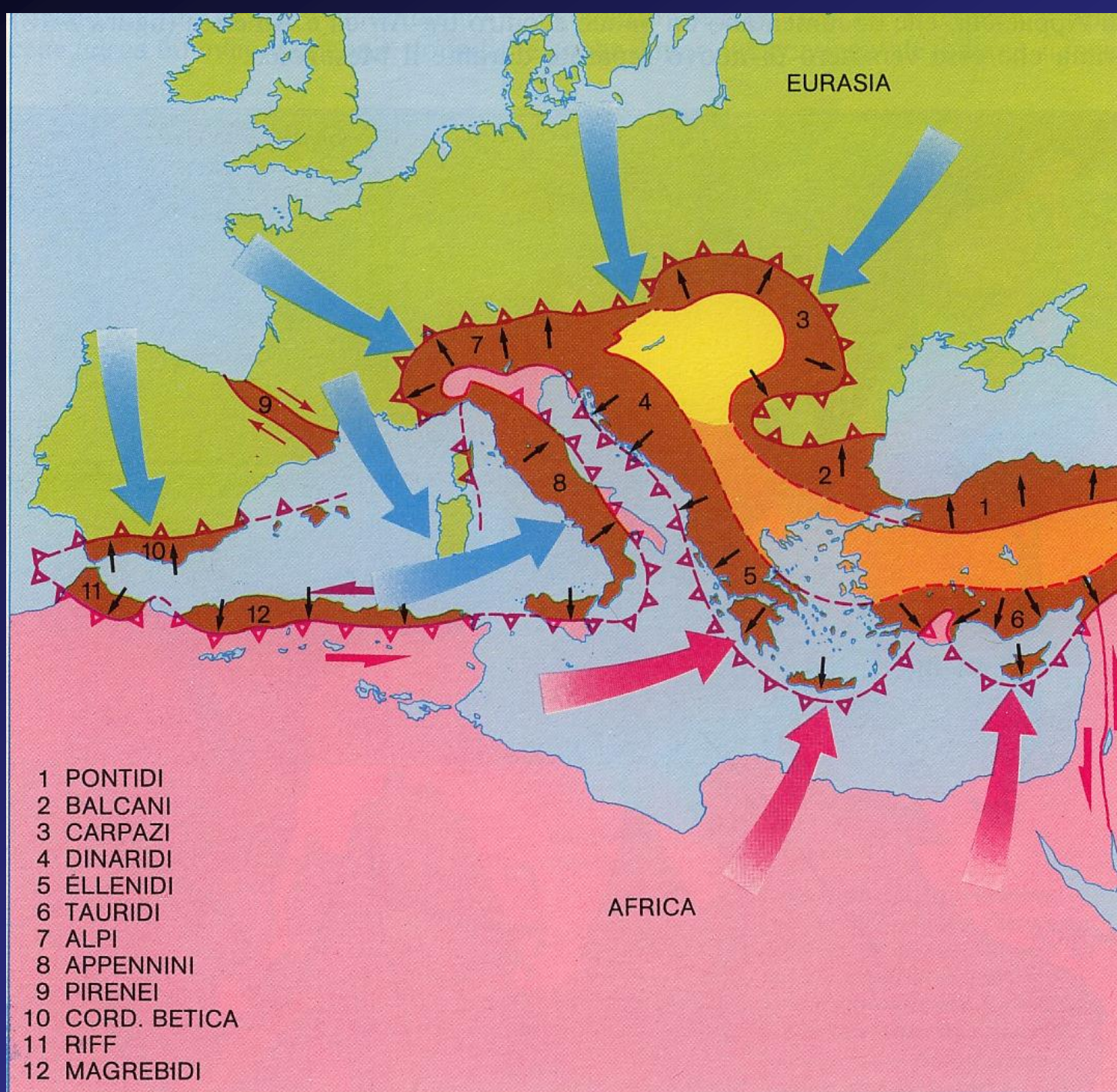




SCONTRO TRA DUE ZOLLE CONTINENTALI:

In questo caso si assiste al processo di orogenesi in cui la litosfera si può corrugare e sollevare fino a formare una nuova catena montuosa (le Alpi e l'Himalaya sono esempi di catene montuose formatesi per questo fenomeno e, in particolare, le Alpi si sono originate dall'impatto tra la zolla africana e quella eurasiatica mentre l'Himalaya per l'impatto tra la zolla indo-australiana e quella eurasiatica).

Le catene orogeniche dell'area mediterranea



SCORRIMENTO...delle zolle

I margini di placca soggetti allo scorrimento si dicono *margini conservativi*.

Non si crea né
si distrugge
litosfera

Attriti e fratturazione delle rocce in profondità. Terremoti e risalita di materiale fuso sono normalmente i fenomeni legati a questo tipo di movimento

Limiti trasformati o conservativi : caratterizzati da meccanismi trascorrenti, sismicità da bassa ad elevata, ipocentri superficiali

Le *faglie trasformati* sono le fratture che si formano quando due zolle scorrono l'una accanto all'altra in direzioni opposte (famosa è la faglia di Sant'Andreas in California dovuta allo scorrimento, in direzioni opposte, della zolla del Pacifico accanto a quella nord-americana)

Limiti di placca e Margini continentali

Mentre i primi delimitano le placche litosferiche in movimento reciproco, i secondi rappresentano i bordi delle masse continentali.

A seconda dell'attività sismica e vulcanica che li caratterizza, i margini continentali si distinguono in:

Margini continentali passivi (o di tipo atlantico) *(non coincidono con i limiti di placca divergenti che sono le dorsali)*

Sismicità e fenomeni vulcano-magmatici quasi inesistenti

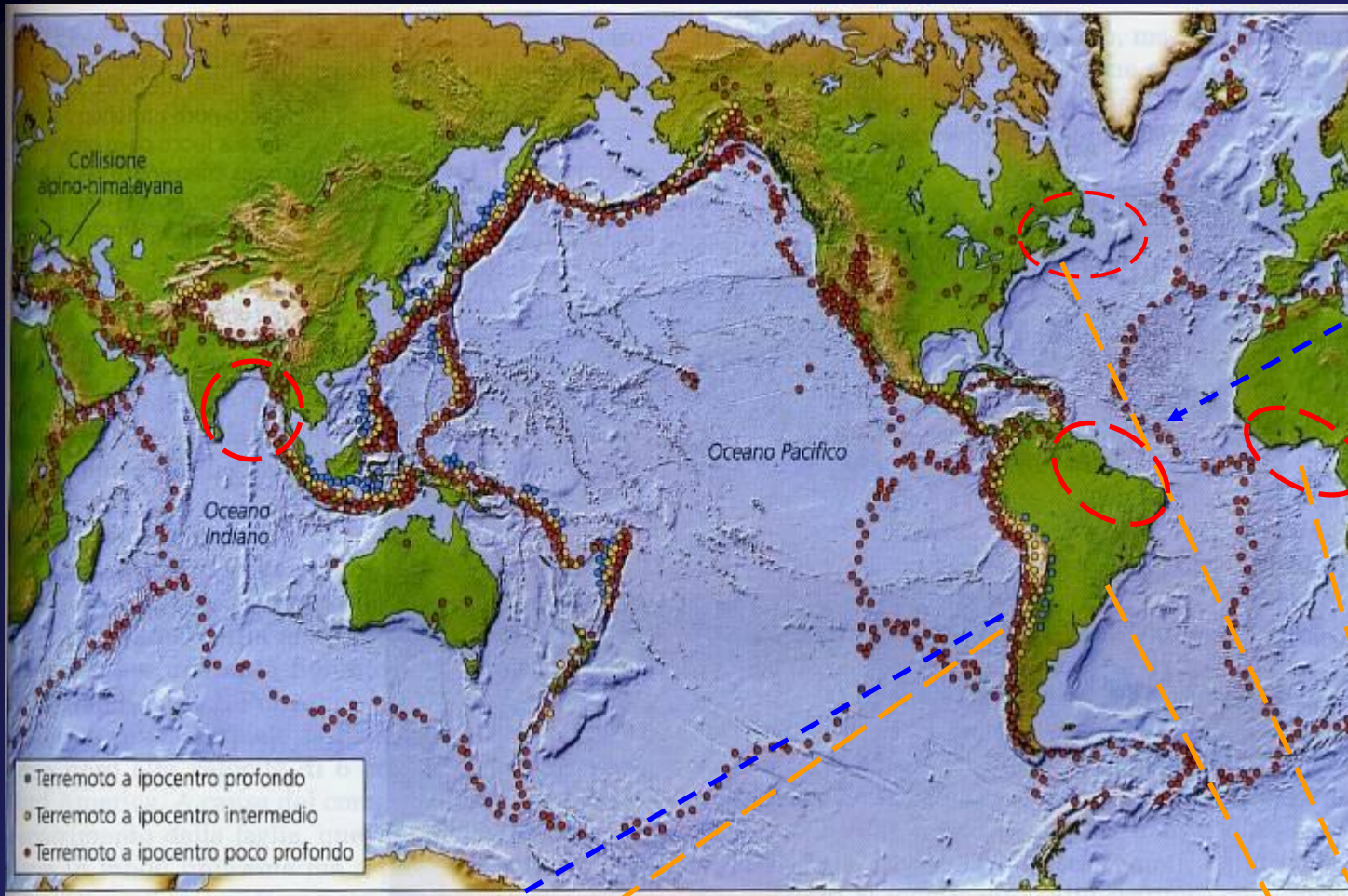
Margini continentali attivi o convergenti *(possono coincidere con i limiti di placca convergenti)*

Forte sismicità ed attività magmatica

Margini continentali trasformati o trascorrenti *(possono coincidere con i limiti di placca trasformate)*

Sismicità di intensità in genere elevata, assenza di magmatismo

**non confondere margine del
continente con margine delle
placche**



Solo margine di
placca

Margine di placca coincidente con margine del continente

Piattaforma estesa, delta,

Solo margine
del continente

Margine passivo

- Si forma lungo il continente che borda un oceano in espansione: esempio tutti i margini dell'Atlantico
- man mano che il margine si allontana dalla dorsale la litosfera si raffredda,
- lungo il margine passivo si accumulano i sedimenti, le piattaforme continentali sono ampie e progradanti