

LA DINAMICA INTERNA DELLA TERRA

La Terra è un pianeta “vivo”

questa espressione è dovuta al fatto che sulla superficie della Terra e al suo interno sono avvenute continue trasformazioni che ne hanno mutato profondamente l'aspetto; fenomeni spesso violenti e devastanti quali i fenomeni vulcanici e sismici studiati sono una manifestazione delle forze che agiscono al suo interno.

Alla base della vitalità geologica della Terra è la sua immensa energia dovuta al calore presente al suo interno; causato in maggior parte dal decadimento radioattivo di alcuni elementi chimici quali il torio e l'uranio.

- La teoria più recente che consente di inserire in un quadro coerente i fenomeni più evidenti della dinamica della Terra, quali vulcani e terremoti appunto, è **la teoria della tettonica delle placche**. Questa teoria ha preso spunto dall'ipotesi della deriva dei continenti, formulata nel 1915 dallo scienziato tedesco Alfred Wegener (1880-1930), il quale immaginò che anticamente tutti i continenti dovevano trovarsi riuniti in un unico grande continente detto Pangea, circondato da un unico grande oceano: la **Panthalassa**, per separarsi poi secondo un meccanismo noto come **deriva dei continenti**, fino ad assumere la posizione attuale. La teoria di Wegener fu però inizialmente abbandonata e solo all'inizio degli anni '60 a seguito di una migliore conoscenza dei fondali oceanici, rese possibili dai mezzi e dalle nuove tecnologie presenti sulle navi oceanografiche, hanno fatto rinascere l'interesse per le idee di Wegener, che sono state rielaborate, ampliate e sviluppate fino alla rielaborazione della **Tettonica delle placche**.

Prima di addentrarci nella teoria della tettonica delle placche bisogna precisare la struttura interna della terra e descrivere alcune importanti strutture presenti sulla sua superficie come le dorsali e le fosse oceaniche.

struttura interna della Terra:

La Terra, sulla base di studi effettuati principalmente dall'analisi delle onde sismiche, convenzionalmente è suddivisa in gusci concentrici di diverso spessore e caratteristiche: crosta, mantello e nucleo.

La **crosta** rappresenta il guscio più esterno. Il suo spessore varia con una media di 6 km sotto gli oceani, costituiti da rocce basaltiche con densità di circa 3 g/cm^3 , e 35 km sotto i continenti (costituiti prevalentemente da rocce granitoidi con densità inferiore ($2,7 \text{ g/cm}^3$) e supera i 60 km sotto le grandi catene montuose.

Alla base della crosta si individua il **mantello** che si divide in due strati: mantello superiore, fino a una profondità di circa 700 km e mantello inferiore fino a 2900 km. La densità del mantello aumenta con la profondità.

L'insieme della crosta e della parte più superficiale del mantello, fino alla sottostante astenosfera viene definito **litosfera**; questa porzione ha un comportamento abbastanza uniforme di tipo rigido, tipico di solidi con temperature lontane da quella di inizio fusione.

Al disotto della litosfera, è presente, una zona parzialmente fusa (circa il 10%) a comportamento plastico detta **astenosfera**, che si estende tra i 70 e i 250 km di profondità.

A circa 2900 km di profondità si trova il **nucleo**, che arriva fino a circa 6370 km di profondità e che è formato in gran parte da una lega ferro-nichel. Anche il nucleo è diviso in due strati: uno esterno liquido e uno interno solido.

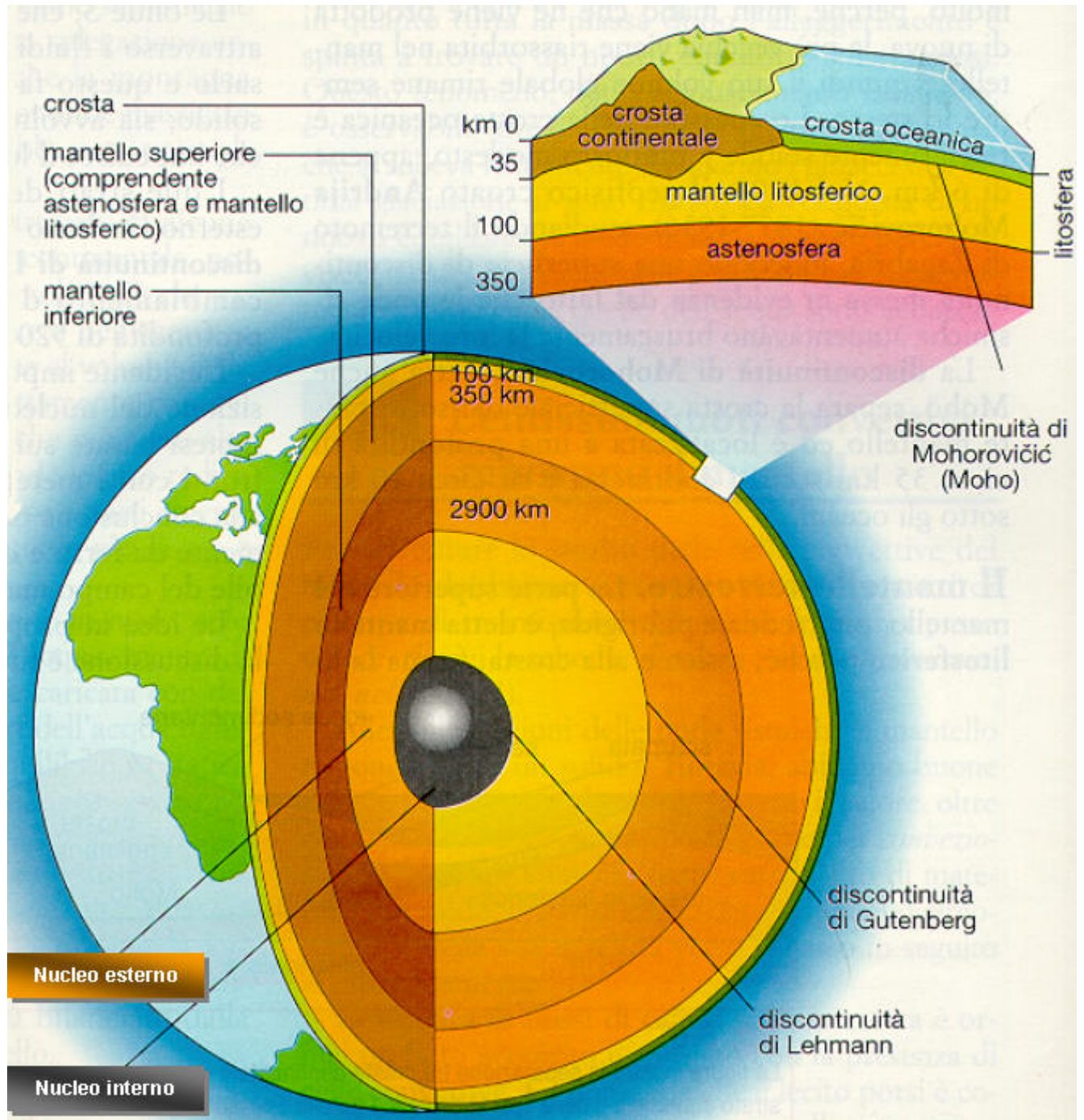


immagine presa dal sito:

www.tecnicocavour-vc.it/PASQUINO_TETTONICA.htm

- **dorsali oceaniche:** sono rilievi sottomarini la cui larghezza raggiunge i 1500 Km e che si elevano circa di 2-3000 m rispetto i fondali adiacenti. Le rocce che costituiscono le dorsali sono più “giovani” rispetto alle rocce che formano i continenti; risalgono infatti a 150-200 milioni di anni fa rispetto ai 4 miliardi di anni con cui vengono datate quelle continentali. Le creste delle dorsali presentano una fossa centrale, profonda alcune centinaia di metri e larga qualche decina di km, a cui viene dato il nome di Rift Valley; questa zona è molto particolare in quanto associata a un'intensa attività sismica ed eruttiva
- **fosse abissali oceaniche,** sono depressioni del fondo oceanico lunghe migliaia di km, relativamente strette, con profondità da oltre 5.000 a più di 10.000m (Es. la Fossa delle Marianne). Queste depressioni presentano a una certa distanza, parallelamente alla fossa, attività vulcanica di tipo esplosivo e una forte sismicità; in particolare se la fossa è ai margini di un continente, questo presenta lungo il margine oceanico una catena vulcanica (Ande, parallele alla fossa Perù-Cile); se la fossa è in pieno oceano sono presenti parallelamente ad essa un arco di isole vulcaniche (Isole Marianne-fossa delle Marianne).

Alla fine degli anni '60 si giunse alla formulazione di una teoria globale sull'evoluzione del pianeta:

teoria della tettonica delle placche:

Secondo questa teoria la Terra, delimitata da un involucro rigido, la **litosfera**, galleggia sulla sottostante **astenosfera**, che si comporta come uno strato plastico.

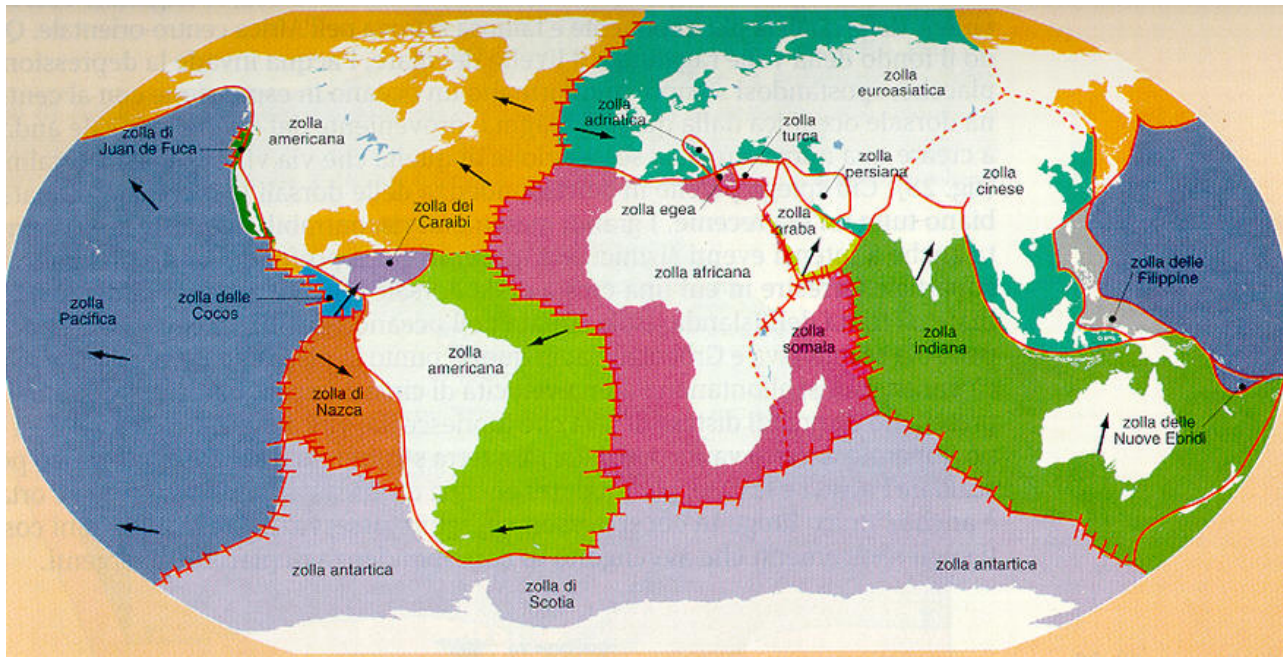
- La litosfera non è però un guscio continuo, ma è suddiviso in una serie di zolle o placche di dimensioni notevoli, incastrate come i pezzi di un puzzle; queste zolle hanno uno spessore variabile, maggiore in corrispondenza dei continenti e minore sotto gli oceani.

- Le zolle si muovono passivamente sull'astenosfera, ma i blocchi non vanno semplicemente alla deriva: si accrescono in corrispondenza delle dorsali e vengono in parte distrutti a livello delle fosse oceaniche.

- Ai margini delle zolle vengono localizzate le attività vulcaniche e sismiche.

- I limiti delle zolle non coincidono con i margini dei continenti, alcune zolle sono prevalentemente continentali, altre sono oceaniche e altre ancora comprendono sia aree continentali che oceaniche.

- Le placche principali sono in tutto una dozzina: Nord America - Sud America - Eurasia - Africa - Arabia - India - Antartide - Pacifico - Filippine - Nazca - Cocos - Somalia.



Le zolle possono presentare tre tipi fondamentali di margini a seconda che essi nel loro movimento divergono (si allontanano), convergono (si avvicinano fino a collidere) o sono trascorrenti (scivolano l'uno rispetto all'altro).

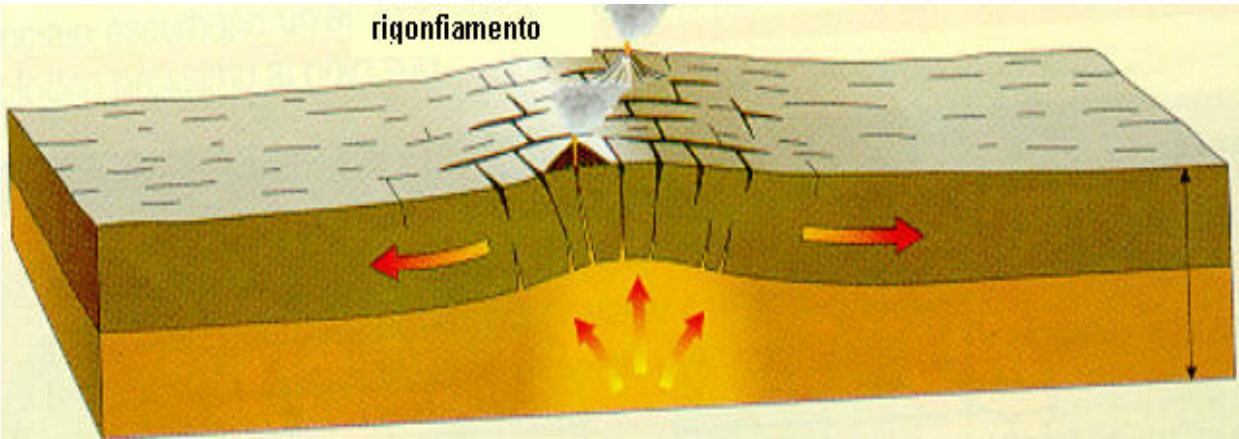
I MARGINI DELLE ZOLLE:

MARGINI COSTRUTTIVI O DIVERGENTI

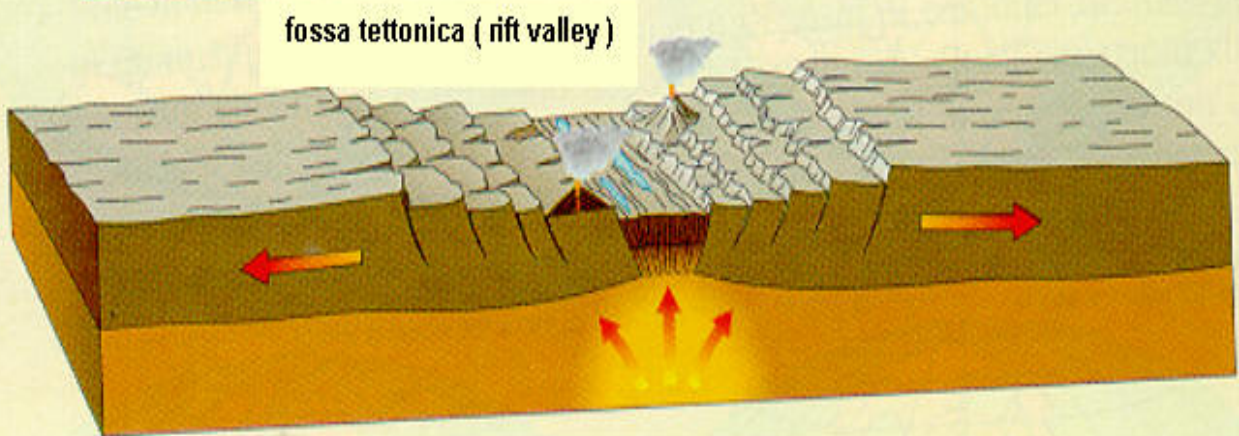
I margini costruttivi sono quelli di due zolle che si allontanano, cioè sono divergenti. Questi margini sono situati ai lati delle dorsali oceaniche, lungo le quali si costruisce nuova litosfera col magma che fuoriesce dalla rift centrale, da questo fenomeno deriva il loro nome (margini costruttivi). Un esempio di questi margini lo si ha lungo la dorsale medio-atlantica che ha separato l'America dall'Europa e dall'Africa.

Anche un blocco continentale che si "spacca in due" crea margini costruttivi: a causa della risalita di materiale caldo dal mantello la crosta continentale si inarca, va incontro a tensione, si spacca e si formano profonde fratture, RIFT VALLEY O FOSSE TETTONICHE, le più note sono quelle della Rift Valley africana. Il perdurare del processo di espansione provoca ulteriore allontanamento dei due margini e risalita di lave a formare una prima crosta oceanica alla base della depressione che viene invasa dalle acque dei mari adiacenti: si forma un oceano allo stadio giovanile (Mar Rosso); la fase successiva porta allo stadio di maturità con un oceano ampliato come l'Oceano Atlantico il cui fondale si accresce secondo il meccanismo di espansione.

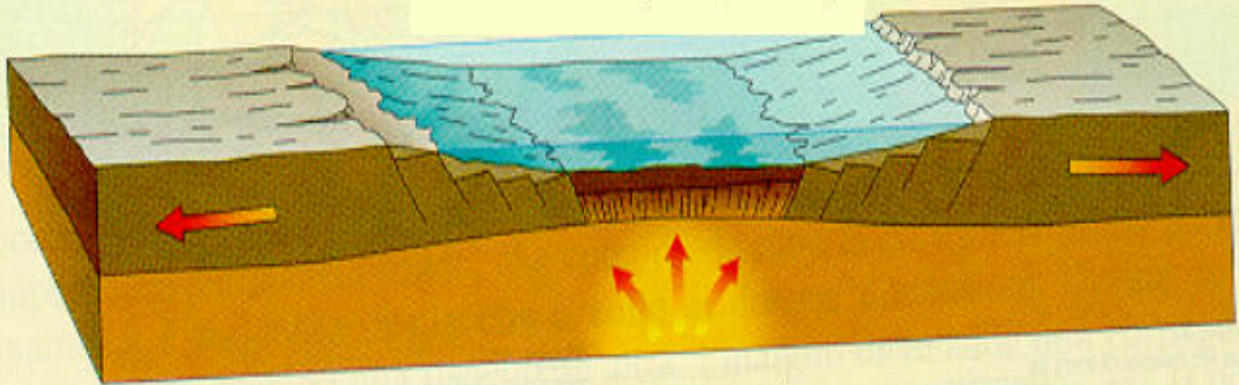
rigonfiamento



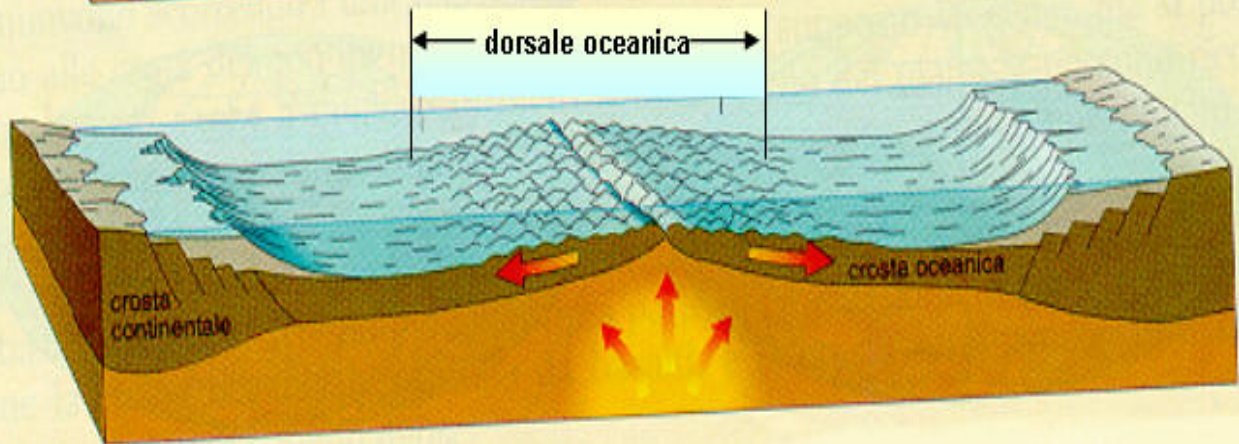
fossa tettonica (rift valley)



Braccio di mare (poco profondo)



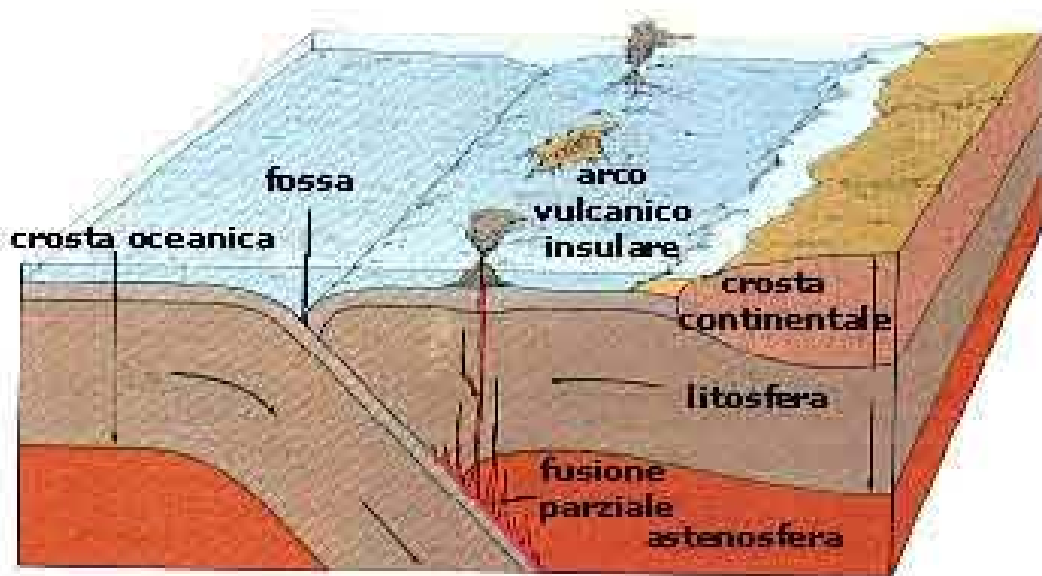
dorsale oceanica



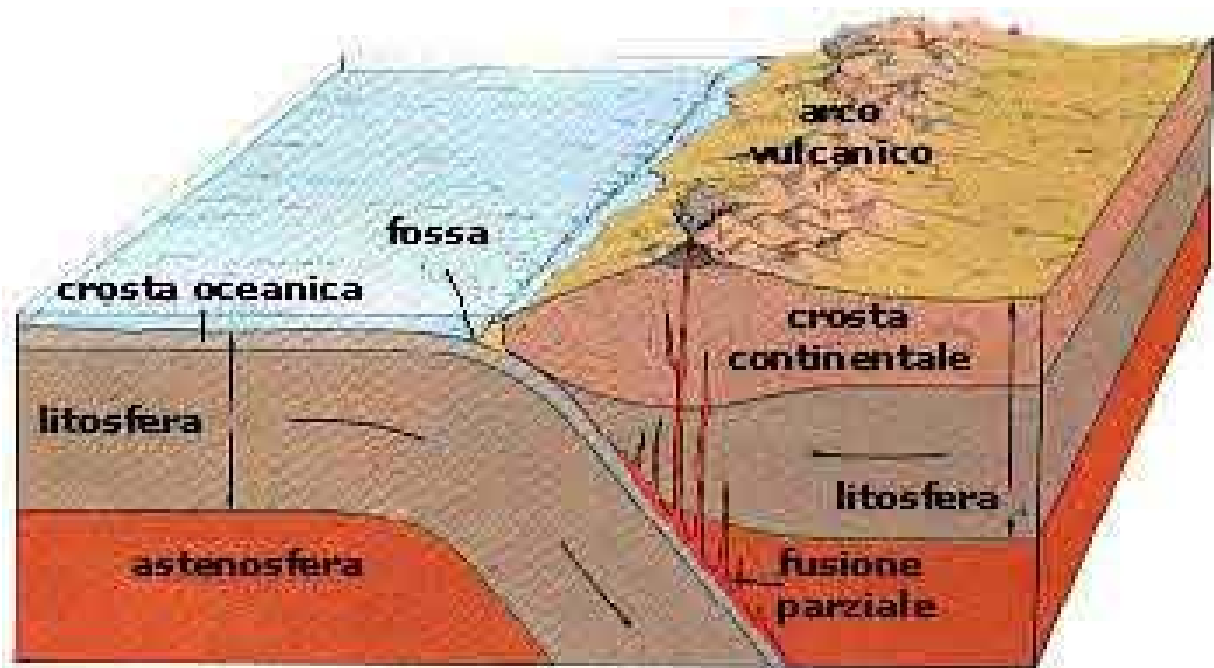
marginii distruttivi o convergenti

I marginii distruttivi sono quelli di due zolle che collidono, si possono verificare diverse situazioni:

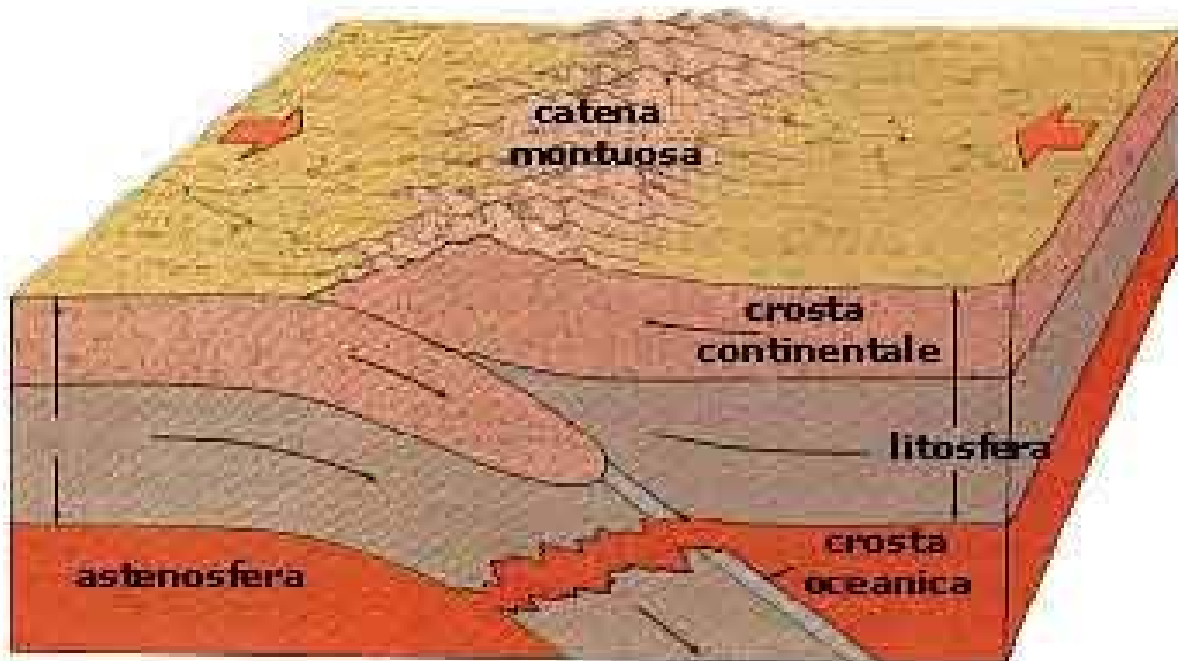
- 1) **una zolla oceanica si scontra contro un'altra zolla oceanica**, il margine di una delle due si infila sotto quella dell'altra, (fenomeno di subduzione) e si forma una fossa in pieno oceano. I magmi prodotti dalla parziale fusione della zolla infossata risalgono attraverso la litosfera dell'altra e danno origine a un vulcanesimo sottomarino. Quando i vulcani riescono ad emergere dall'acqua formano delle isole, che nel loro insieme prendono il nome di arco vulcanico (SISTEMA ARCO-FOSSA). Le Filippine e il Giappone sono un esempio di arco vulcanico insulare.



- 2) **una zolla continentale si scontra con una oceanica**, in questo caso la zolla oceanica essendo più pesante tende a sprofondare sotto quella continentale, secondo un piano inclinato di 45° (PIANO DI BENJOFF, zona dove avvengono frequenti terremoti). Il margine oceanico crea una fossa oceanica, con la parziale fusione della crosta sprofondata; questo genera la formazione di numerosi vulcani (arco vulcanico) sia nel mare che sui margini del continente. Al tempo stesso il margine continentale viene sollevato da quello oceanico, questo provoca prima pieghe e poi corrugamenti montuosi (Cordigliera delle Ande). Le Montagne Rocciose sono un esempio tra lo scontro della zolla Pacifica e quella Nordamericana.



3) **una zolla continentale si scontra con un'altra zolla continentale**, in questo caso nessuna delle due zolle s'infossa (questo perché l'astenosfera sottostante è più densa) ma si assiste a una saldatura tra le due zolle; in seguito per le forti compressioni le zolle si deformano, si accavallano dando origine alle catene montuose. Alcuni esempi sono : le Alpi (scontro tra la zolla africana e quella euro-asiatica), la catena dell'Himalaya (scontro tra la zolla indiana e quella asiatica), Monti Urali (che separano Asia dall'Europa).



Orogenesi e cicli orogenetici

La formazione di una catena montuosa secondo la teoria della tettonica a zolle può avvenire quindi secondo due principali modalità:

- quando c'è subduzione di litosfera oceanica lungo un margine continentale, come è avvenuto per le Ande;
- quando due continenti entrano in collisione, come è avvenuto per le Alpi o per la catena himalayana.

Le Alpi, in particolare si sono formate circa 50 milioni di anni fa, quando il continente africano era in moto verso nord, in direzione di quella che è oggi l'Europa, e la Tetide, il mare allora esistente, cominciava a chiudersi. Le rocce vulcaniche e sedimentarie, che costituivano il fondale oceanico della Tetide furono piegate, spinte a ridosso dei continenti, si accavallarono in modo più o meno caotico, fino a sollevarsi per dare origine a tutte le catene montuose circum-mediterranee.

margini conservativi o trasformati

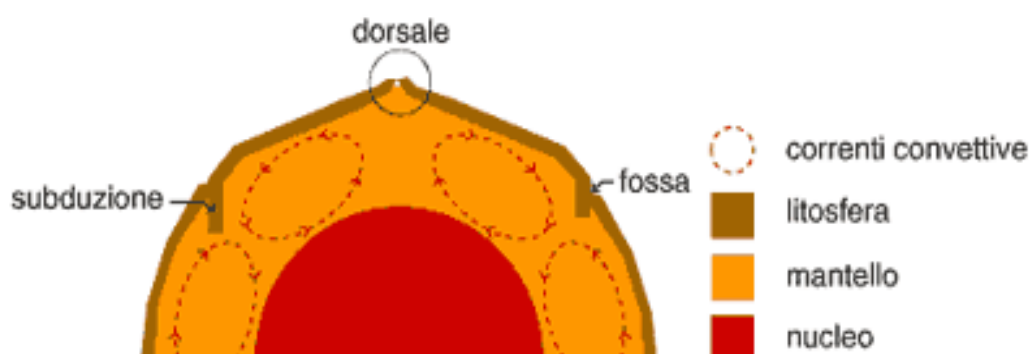
Sono quelli dove le zolle scorrono l'una rispetto all'altra senza che si verifichi subduzione o formazione di nuova crosta. In zone che presentano questi margini si formano faglie trasformi, simili a quelle delle dorsali.

Lungo questi margini ci sono violenti terremoti, un esempio sono le coste della California, dove la nota faglia di Sant'Andrea è un piano di slittamento. (La giunzione tripla è l'unione di tre placche).

Il motore delle placche

Il problema del motore che fa muovere il complesso meccanismo delle placche non è ancora chiaro nei dettagli. L'ipotesi oggi più diffusa è che esista un sistema di celle convettive, all'interno del mantello:

le differenze di temperatura tra le diverse parti dell'astenosfera hanno prodotto moti convettivi (risalita di materiale caldo e discesa di materiale freddo) nei materiali che la costituiscono, e, qualche decina di milioni di anni fa, potrebbero essersi innescate vere e proprie celle di convezione. Il loro lentissimo movimento (pochi centimetri l'anno) è sostenuto dal calore prodotto in continuazione dal decadimento degli isotopi radioattivi e da quello che proviene dalle parti profonde del pianeta. Enormi volumi di rocce profonde, allo stato fuso o semifuso, più calde, meno dense e più leggere dei materiali sovrastanti, risalgono verso la superficie, mentre le rocce più vicine alla superficie, più fredde, più dense e più pesanti, tendono a scendere per riscaldarsi e risalire di nuovo, con un meccanismo che assomiglia a quello che si instaura in una pentola quando si riscalda dell'acqua.



L'attendibilità dell'ipotesi dell'espansione dei fondali oceanici venne confermata da una serie di scoperte dovute alle tecnologie di cui erano attrezzate le navi oceanografiche:

- **l'età delle rocce**, la quale va aumentando a mano a mano che ci si allontana dalle dorsali.
- **presenza di anomalie magnetiche** sui fondi oceanici: le navi oceanografiche che percorrevano i mari presentavano sensibili magnetometri, capaci di registrare il campo magnetico terrestre; in particolare le rocce al momento della loro formazione acquistano un magnetismo conforme al campo magnetico terrestre, e quest'ultimo presenta un'inversione periodica. Il fatto che la crosta oceanica non si sia formata tutta insieme è dimostrato dalla registrazione della presenza di bande di diverso colore, disposte con una certa regolarità e simmetria ai lati della dorsale. Il diverso colore si forma quando la nuova roccia deposta ha un magnetismo diverso da quella formatasi in precedenza.

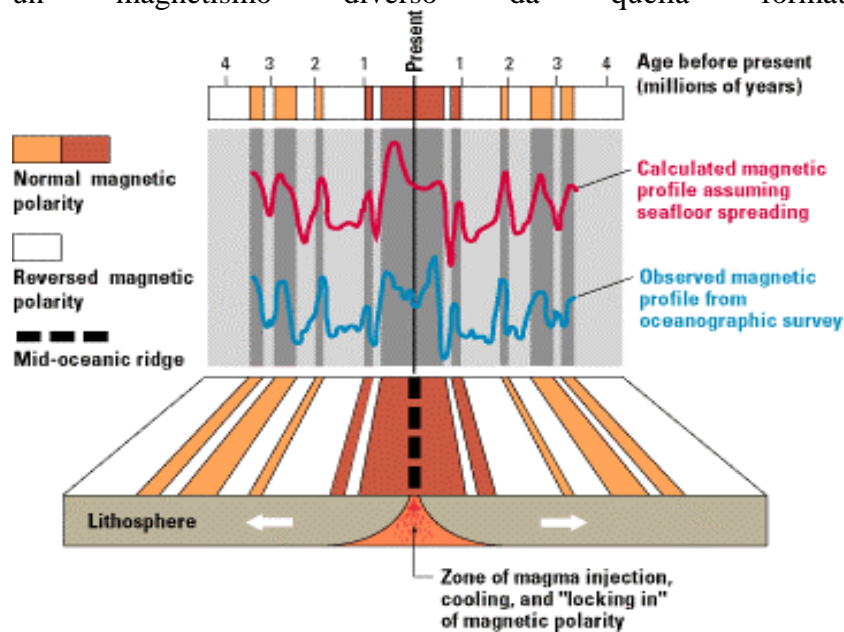


Figura 10 Il profilo magnetico osservato del fondale oceanico del Pacifico (blu) è comparato con quello calcolato basandosi sulle variazioni del campo magnetico negli ultimi 4 milioni di anni assumendo un movimento costante del fondo (rosso). L'evidente somiglianza di questi due profili fornì una delle prove in supporto all'ipotesi dell'espansione dei fondali oceanici.

Perché la Terra si comporta come un magnete?

Il fenomeno fisico che dà origine al campo magnetico terrestre è ancora sconosciuto. Per tentare di spiegarlo sono state formulate ipotesi diverse.

Tra le più recenti ne ricordiamo due:

La seconda interpretazione si basa sul fatto che cariche elettriche in movimento generano un campo magnetico (effetto Oersted) e viceversa. Per fornire un flusso elettrico sufficiente per creare il campo geomagnetico, l'interno della Terra dovrebbe avere una conducibilità alta come quella dei metalli e l'unica parte della Terra che potrebbe forse avere una tale conducibilità è il nucleo. D'altra parte, perché si mantenga un campo magnetico per un periodo di tempo geologicamente lungo, deve sempre essere presente una tensione elettrica, cioè una forza elettromotrice. Il nucleo terrestre, quindi, oltre che come buon conduttore di corrente elettrica deve funzionare come generatore di corrente.

Perché ciò si realizzi è necessario che il nucleo sia formato da un materiale che si lasci attraversare facilmente dalla corrente, come lo sono i metalli, che il materiale del nucleo sia allo stato liquido e che sia mantenuto in agitazione, perché è questo continuo rimescolamento che crea l'energia per mantenere il campo. Viste queste considerazioni, se ne deduce che il nucleo della Terra deve essere di metallo e di metallo allo stato fuso. Questo metallo è probabilmente il ferro, ossia il metallo più diffuso nell'Universo.

Che il campo magnetico terrestre sia prodotto da una barra magnetica o da cariche elettriche in movimento nel nucleo ha scarsa importanza ai fini pratici. Essenzialmente si tratta di un *campo dipolare* che non coincide con l'asse di rotazione.

Al campo dipolare, comunque preponderante, si sovrappongono gli effetti di componenti diverse: esiste cioè un campo irregolare, non dipolare e variabile da regione a regione sulla superficie terrestre, che modifica l'andamento delle linee di forza (che sono nella realtà più complesse rispetto al modello teorico di un semplice campo dipolare).

Queste variazioni possono avere varie cause infatti il campo magnetico può variare da luogo a luogo, in rapporto a fattori cosmici e solari e a cause interne collegate con l'origine stessa del campo magnetico.

Le variazioni nel tempo possono essere del tutto irregolari o manifestarsi in modo periodico. Le variazioni a lungo periodo (secolari) sembrano dovute a variazioni di velocità di rotazione della Terra che provocano movimenti di deriva della massa fluida del nucleo terrestre. Le variazioni a breve periodo (diurne e annuali) sono in funzione della latitudine e dell'altezza del Sole sull'orizzonte: alle latitudini medie, per esempio, il vettore campo magnetico descrive un'ellisse durante il giorno seguendo lo spostamento del Sole. Altre oscillazioni periodiche sono quelle che seguono il ciclo delle macchie solari. Direttamente connesse con l'attività solare sono anche le variazioni irregolari, quelle cioè prodotte dalle tempeste magnetiche nell'alta atmosfera.

