

LA TEORIA DELLA TETTONICA DELLE PLACCHE

La teoria della tettonica delle placche è una teoria di ampio respiro che in una sintesi unica ci permette di spiegare e di interpretare i fenomeni geologici che avvengono sul nostro pianeta. Essa risulta dalla sintesi di numerose conoscenze, in campi diversi della geologia, che, prese singolarmente, non contribuiscono alla comprensione dei fenomeni geologici, ma che prese insieme e interconnesse tra loro ci hanno fornito un quadro d'insieme abbastanza esaustivo. Il tutto si è svolto in un arco di tempo abbastanza contenuto, circoscrivibile nella prima metà del ventesimo secolo, a riprova di quanto è importante la comunicazione tra le persone che si occupano di uno stesso filone di ricerca. Di seguito trovi una tabella in cui sono riassunte tutte le conoscenze di cui si è fatto cenno, così come sono state acquisite nel corso del tempo. Ad essa seguono una serie di schede di approfondimento sui singoli argomenti. È stata una bella avventura che ti invito a seguire in tutte le sue fasi. Ciao ciao e...Buona lettura.

EVENTI CHE HANNO PORTATO ALLA FORMULAZIONE DELLA TEORIA DELLA TETTONICA DELLE PLACCHE	
Anno	Evento
1900	<p>Iniziamo la nostra storia con l'avvento del nuovo secolo. Quanto se ne sapeva sull'evoluzione biologica del nostro pianeta? Già nella seconda metà del 1700 i geologi Hutton e Lyell avevano formulato un principio fondamentale secondo cui i processi che hanno modellato la terra nel corso del tempo geologico si sono svolti con le stesse modalità ed alla stessa velocità con cui si manifestano attualmente (teoria dell'attualismo contrapposta a quella del catastrofismo).</p> <p>L'esame dei reperti fossili raccolti in varie parti del pianeta aveva messo in luce similitudini e differenze tra siti attualmente molto distanti tra loro o molto vicini tra loro: alcune forme fossili erano comuni al sud Africa e al sud America, mentre c'erano forti differenze tra i fossili presenti da una parte all'altra della catena Himalayana.</p> <p>Il geologo Dutton studiando i mutamenti subiti dalla Groenlandia dalla fine dell'ultima epoca glaciale ad oggi aveva appurato l'esistenza di movimenti verticali di aggiustamento isostatico dovuti alla diminuzione del peso della calotta glaciale che insisteva sull'isola. Tali movimenti verticali sono stati ben documentati e misurati, e la domanda nacque spontanea: se avvengono movimenti verticali perché non possono avvenire anche movimenti in orizzontale? Se la crosta continentale è formata da materiali la cui densità oscilla intorno al valore di 2.7 g/cm^3 mentre quella oceanica è formata da materiali la cui densità è superiore a 3 g/cm^3 è ipotizzabile che la prima "galleggi" sulla seconda e che un suo aumento o diminuzione di peso faccia variare la "linea di galleggiamento" innescando quei movimenti verticali che noi chiamiamo "aggiustamento isostatico".</p> <p>Nel mondo scientifico comincia a prendere piede la teoria dell'evoluzione proposta da Darwin, dove si fa esplicito riferimento all'influenza che i mutamenti geologici hanno avuto sull'evoluzione degli esseri viventi</p>
1915	<p style="text-align: center;">Teoria della deriva dei continenti</p> <p>Il tedesco Alfred Wegener, metereologo e geografo, partendo da considerazioni di tipo geografico e paleontologico elabora la teoria della Deriva dei Continenti, mettendo per la prima volta in crisi le ipotesi fissiste che affermavano che la distribuzione dei continenti sulla superficie terrestre era immutata ed immutabile. La sua teoria naufraga miseramente in quanto in essa non era affrontato in maniera esaustiva il problema del motore dei movimenti dei continenti. Però se ne comincia a parlare e tanto scalpore solleva negli ambienti accademici.</p>
1929	<p>Arthur Holmes propone una riedizione della deriva dei continenti di Wegener in cui individua nei moti convettivi del mantello un possibile motore che giustifichi il movimento dei continenti. La sua ipotesi era una vera genialata, tanto che successivamente fu ripresa ed ampliata nella moderna teoria della tettonica delle placche</p>

1930-1945	Il mondo impazzisce. Corsa agli armamenti, ci si prepara alla seconda guerra mondiale. La scienza viene messa da parte, però la tecnologia no. Lo sforzo bellico impone la necessità di procurarsi nuovi strumenti da utilizzare nella guerra: il Radar, lo scandaglio, il sommergibile, le esplorazioni sottomarine, l'aereofotografia, la meteorologia ecc sono tutti campi di studio e di ricerca che vengono finanziati e che forniscono una grossa massa di dati nuovi utili alla conduzione delle operazioni belliche ma che saranno utili, come vedremo, anche nel periodo successivo al termine delle battaglie.
1946-1950	Attraverso l'uso dei dati raccolti durante questi lunghi anni gli scienziati riaprono il discorso sulla mobilità delle strutture che formano la crosta terrestre. Si comincia a ragionare sulle differenze tra crosta oceanica e crosta continentale, sulla loro diversa età e spessori ed i dati raccolti cominciano a suggerire delle nuove domande.
1954	Hugo Benjoff analizzando la profondità degli ipocentri dei terremoti registrati in tempi storici individua un piano immergente al di sotto delle fosse oceaniche e degli archi insulari attivi. Tali strutture si ritrovano in molte zone della terra con una disposizione assai regolare che vede l'aumento della profondità degli ipocentri spostandosi dall'oceano verso il continente
1956	I fisici Blankett, Irving e Runcorn iniziano a studiare il campo magnetico terrestre, scoprendo la sua tendenza a cambiare nel tempo. Si comincia a parlare di paleomagnetismo. I dati che si vanno raccogliendo sull'argomento sembrano confermare le ipotesi mobiliste e condannare quelle fissiste.
1959	Gli scienziati Heezen e Tharp producono per la prima volta una carta dettagliata dei fondi oceanici. Da essa si notano alcune strutture che si ripetono in tutti gli oceani: le dorsali medio oceaniche e le fosse di subduzione.
1962	<p style="text-align: center;">TEORIA DELLA ESPANSIONE DEI FONDI OCEANICI</p> <p>Il geologo H. Hess, utilizzando i dati scaturiti dall'esplorazione dei fondi oceanici, avanza l'ipotesi che i continenti si spostino per effetto della espansione dei fondi oceanici. Tale espansione è controbilanciata nelle fosse dove vecchia crosta oceanica viene trascinata verso l'interno della terra lungo i piani di immersione scoperti da Benjoff. Alla base di tale movimento di espansione dei fondi oceanici ci sarebbe l'attività delle celle convettive presenti nel mantello.</p>
1963	Si completa lo studio della magnetizzazione delle colate basaltiche che formano il fondo dei bacini oceanici e della loro età. Sorpresa!!! I fondi oceanici sono strutture geologiche molto recenti: non esistono fondali oceanici più vecchi di 190 milioni di anni; l'età delle rocce basaltiche dei fondali aumenta spostandosi dalle dorsali medio oceaniche verso le coste; la disposizione delle colate contemporanee è simmetrica rispetto all'asse della dorsale, come pure la disposizione in bande paleo magnetiche. Inoltre lo spessore dei sedimenti depositi sul fondo oceanico aumenta spostandosi dalla dorsale (dove è praticamente inesistente) verso i continenti (dove, in corrispondenza della base della scarpata continentale raggiunge i valori massimi). Basandosi su questi dati Vine e Matthews utilizzano questi dati per confermare la validità della teoria della espansione dei fondi oceanici.
1965	Il geologo T. Wilson individua le faglie trasformi come elementi di rottura della continuità delle dorsali medio oceaniche, e comincia ad intravedere l'ipotesi che queste, insieme alle fosse individuano un sistema di maglie, zolle, placche (chiamale come ti pare) litosferiche in lento movimento tra loro. Nasce l'abbozzo della teoria della tettonica delle placche
1968	L'idea di Wilson viene sviluppata da una larga schiera di geologi che operano in parti diverse del mondo. Il modello viene ampliato con i dati derivanti dalla distribuzione degli ipocentri dei terremoti, dalla tipologia e dalla distribuzione delle manifestazioni vulcaniche. Nuove conferme arrivano dallo studio del paleomagnetismo che costituiscono una prova indipendente della validità della teoria. Nasce la Teoria della tettonica delle placche che in un unico modello ad ampio respiro fornisce una spiegazione sulla situazione geologica del nostro pianeta in una visione contestuale.

Prima di iniziare occorre prendere confidenza e dimestichezza con il fattore tempo. Nell'ambito della teoria infatti il tempo risulta di notevole importanza in quanto tutti i fenomeni connessi con il movimento delle placche avvengono in modo lento ed impercettibile. D'altra parte anche lo stesso Darwin, per quanto attiene ai fenomeni biologici, ha posto l'accento sull'importanza del tempo. Per aiutarti nella comprensione del tempo, ti fornisco una tabella riassuntiva, in cui trovi inquadrati le ere geologiche, i vari periodi e le relative durate.

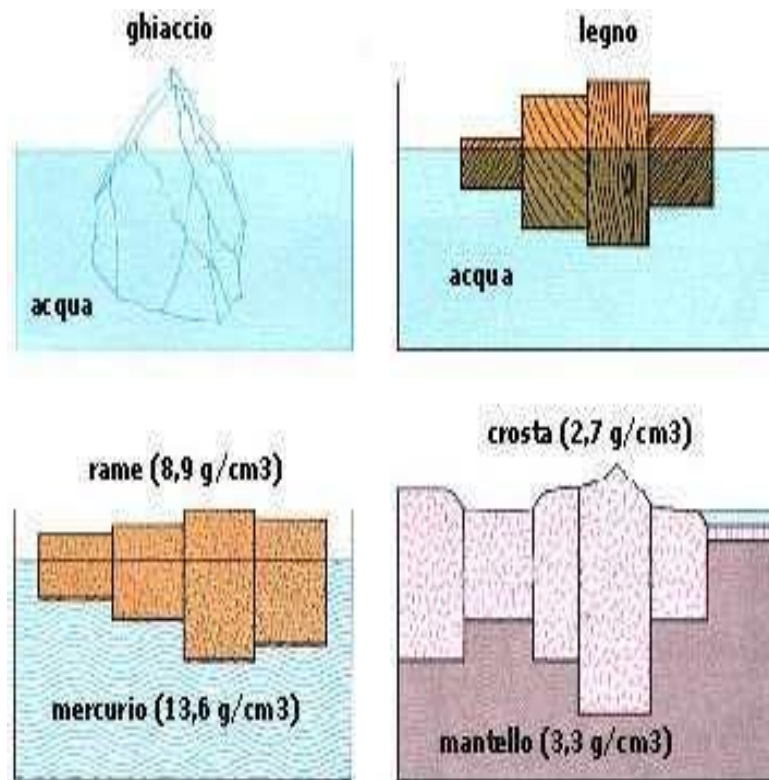
ERE	PERIODI	DURATA
<u>SVILUPPO DELL'UNIVERSO, DELLE GALASSIE E DEL SISTEMA SOLARE</u>		da 13.700 a 4.500 milioni di anni fa
<u>ARCHEOZOICA o PRECAMBRIANA</u>	<u>Adeano</u>	da 4.500 a 3.800 milioni di anni fa
	<u>Archeano</u>	da 3.800 a 1.600 milioni di anni fa
	<u>Algonchiano</u>	da 1.600 a 542 milioni di anni fa
<u>PALEOZOICA o PRIMARIA</u>	<u>Cambriano</u>	da 542 a 488 milioni di anni fa
	<u>Ordoviciano</u>	da 488 a 444 milioni di anni fa
	<u>Siluriano</u>	da 444 a 416 milioni di anni fa
	<u>Devoniano</u>	da 416 a 359 milioni di anni fa
	<u>Carbonifero</u>	da 359 a 299 milioni di anni fa
	<u>Permiano</u>	da 299 a 251 milioni di anni fa
<u>MESOZOICA o SECONDARIA</u>	<u>Triassico</u>	da 251 a 204 milioni di anni fa
	<u>Giurassico</u>	da 204 a 146 milioni di anni fa
	<u>Cretacico</u>	da 146 a 65 milioni di anni fa
<u>CENOZOICA o TERZIARIA</u>	<u>Paleocene</u>	da 65 a 56 milioni di anni fa
	<u>Eocene</u>	da 56 a 34 milioni di anni fa
	<u>Oligocene</u>	da 34 a 23 milioni di anni fa
	<u>Miocene</u>	da 23 a 5,3 milioni di anni fa
	<u>Pliocene</u>	da 5,3 a 1,8 milioni di anni fa
<u>NEOZOICA o QUATERNARIA</u>	<u>Pleistocene</u>	da 1,8 milioni a 11.000 anni fa
	<u>Olocene</u>	da 11.000 anni fa ad oggi

Dutton ed il principio di isostasia

Verso la fine del 1800 venne enunciato da Dutton il *principio di isostasia* in cui si afferma che i blocchi crostali galleggiano sul mantello sottostante grazie ad una spinta dal basso simile alla spinta idrostatica di Archimede; ciò determina uno sprofondamento maggiore dei blocchi litosferici continentali di spessore più elevato e meno densi dei blocchi litosferici oceanici.

Il fenomeno è analogo a quello che si verifica ponendo dei blocchetti di legno di uguale massa, ma di densità differente (quindi anche di volume diverso) in un recipiente di acqua: il blocco più voluminoso affonda nell'acqua tanto più dell'altro, quanto più alta è la parte emersa.

Se i blocchi litosferici non si trovano in *equilibrio isostatico*, tenderanno a raggiungerlo diminuendo o aumentando la parte sommersa, a seconda che la parte emersa subisca un innalzamento o un abbassamento.



È, se vuoi, il principio di Archimede applicato alle masse rocciose che formano la crosta terrestre e che "galleggiano" sul materiale fuso che forma il mantello. Visto che la crosta terrestre si trova sopra e non sotto il mantello, vuol dire che essa è meno densa, quindi più leggera. Se ne aumentiamo il peso essa tenderà ad affondare nel mantello, mentre se ne diminuiamo il peso essa tenderà a sollevarsi, allo scopo di raggiungere una situazione di equilibrio. Le continue trasformazioni che avvengono sulla ed all'interno della crosta terrestre (erosione, trasporto di sedimenti, sedimentazione, iniezione di magmi ecc) fanno sì che tale equilibrio non viene raggiunto, e ciò determina un movimento continuo. Domanda: i movimenti di aggiustamento isostatico che sono diretti lungo una direzione verticale, perpendicolare rispetto alle placche, possono provocare anche degli spostamenti orizzontali o traslatori? Risposta: no. La teoria dell'isostasia ha messo in evidenza la possibilità che la crosta terrestre possa muoversi. Una volta stabilito che ciò è possibile, si deve cercare un motore in grado di causare questi movimenti. Il fatto che una nave galleggi non vuol dire che noi la possiamo utilizzare per spostarci da un posto all'altro; per farlo dobbiamo disporre di un motore abbastanza potente da permetterne il movimento.

WEGENER e la teoria della deriva dei continenti

Alfred Wegener (1880 - 1930) non fu un geologo di professione. Nato a Berlino, studiò a Heidelberg, Innsbruck e Berlino ove si laureò con una tesi di astronomia nel 1905. Prima della guerra mondiale insegnò a Marburgo ove si specializzò in meteorologia. Dal 1924 occupò una cattedra di meteorologia e geofisica a Graz in Austria. A partire dal 1910 si dedicò ad elaborare la teoria della deriva dei continenti.

Fin dai primi anni di studio aveva accarezzato il progetto di esplorare la Groenlandia e, dopo aver imparato ad usare aquiloni e palloni per osservazioni meteorologiche, assieme a suo fratello Kurt nel 1906 stabilì il record mondiale di volo aerostatico ininterrotto di 52 ore.

Fece parte, come meteorologo, di una spedizione danese nella Groenlandia nord-orientale; partecipò con l'esploratore danese J.P. Koch ad una seconda spedizione in Groenlandia, nota per la più lunga traversata a piedi della calotta polare mai effettuata. Morì nel 1930 probabilmente per un attacco cardiaco nel corso di una terza spedizione in Groenlandia da lui guidata.

L'idea della deriva dei continenti, scrive Wegener nella sua trattazione "The Origin of Continent and Oceans", "mi si presentò già nel 1910. Nell'esaminare la carta geografica dei due emisferi, ebbi l'impressione immediata della concordanza delle coste atlantiche, ma ritenendola improbabile non la presi per allora in considerazione.

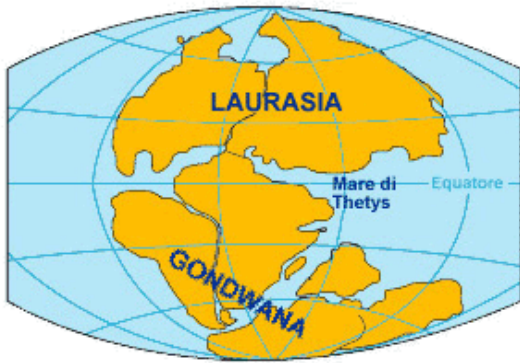
Nell'autunno del 1911, essendomi capitata in mano una relazione su un antico collegamento continentale tra il Brasile e l'Africa, venni a conoscenza dei risultati paleontologici ottenuti, a me ignoti fino allora. Ciò mi spinse a prendere in esame i dati acquisiti nel campo geologico e paleontologico relativi a questa questione: ora, le osservazioni fatte furono così notevoli che si radicò in me la convinzione dell'esattezza fondamentale di quell'idea. Idea che resi nota per la prima volta il 6 gennaio 1912, in una conferenza tenuta alla Società Geologica di Francoforte sul Meno su: "La formazione dei continenti e degli oceani in base alla geofisica".

A questa conferenza ne seguì il 10 gennaio una seconda su: "Gli spostamenti orizzontali dei continenti" che tenni alla Società per il Progresso delle Scienze naturali di Marburgo."

Secondo la sua ipotesi nel Paleozoico e per quasi tutto il Triassico le terre emerse furono raggruppate in un unico, enorme continente che lo stesso Wegener denominò **Pangea** (letteralmente "tutta terra"). Le acque contemporaneamente costituivano un solo sterminato oceano denominato **Panthalassa**. (letteralmente "tutto mare").

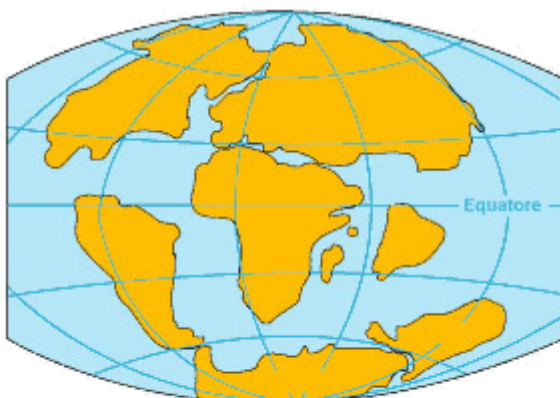


Circa 200 milioni di anni fa la Pangea avrebbe cominciato a frammentarsi lentamente, dapprima in due parti: una a nord dell'equatore chiamata **Laurasia** che comprendeva il Nord America e l'Eurasia attuali e l'altra a sud, chiamata **Gondwana**, circondati entrambi dall'oceano denominato **Thetys**.

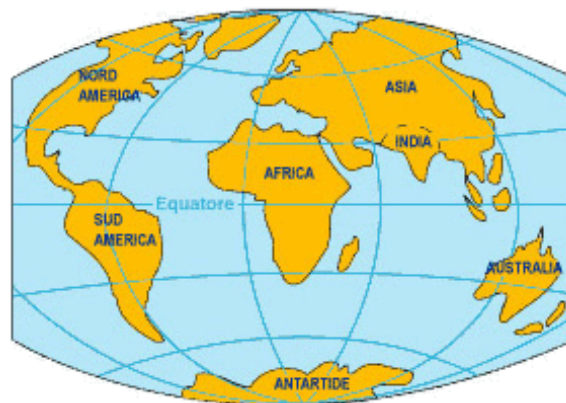


TRIASSICO
200 milioni di anni

Lentamente i due supercontinenti, Laurasia e Gondwana si ruppero in parti più piccole che andarono alla deriva sulla crosta oceanica fluida. La Laurasia andò alla deriva verso il Nord, mentre il blocco America del Sud-Africa si staccò dal blocco Australia-Antartide. Durante il Cretaceo, il Sud America e l'Africa si erano già allontanati, mentre solo nel Neozoico Europa ed America Settentrionale si separarono definitivamente come avvenne per il Sud America e l'Antartide.



CRETACICO
65 milioni di anni

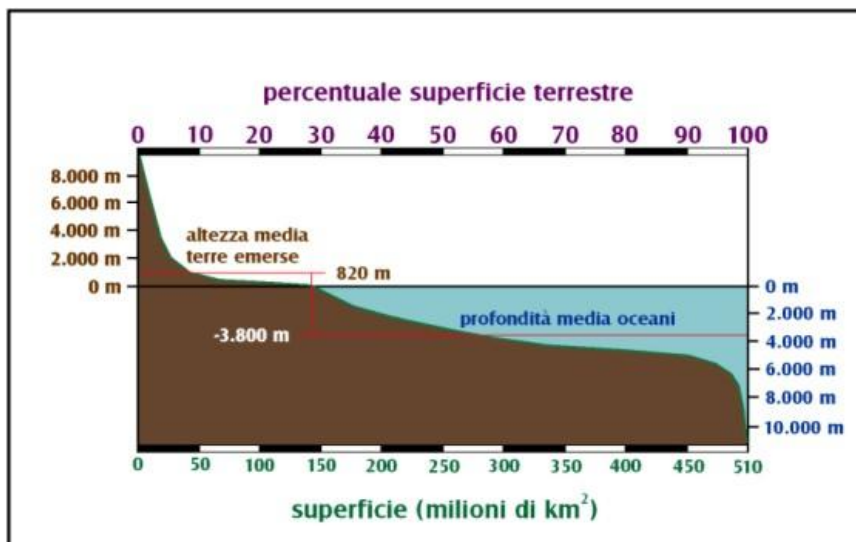


PRESENTE

Le prove della deriva dei continenti

A sostegno della propria teoria, Wegener portò argomenti di varia natura, atti a fornire una spiegazione scientifica. Tali argomenti furono di natura:

geofisica: l'analisi topografico-statistica della superficie terrestre rivela due livelli predominanti in corrispondenza dei continenti e dei fondi oceanici. Esaminiamo a tale proposito la curva ipsografica della superficie terrestre di seguito riportata.



La curva ipsografica della superficie terrestre è una curva cumulativa in cui per ogni punto il valore sull'ascissa indica l'estensione della superficie terrestre compresa fra la quota del valore riportato sull'ordinata e l'altitudine massima della superficie terrestre; come vedi c'è un solo punto della superficie terrestre a quota 8.848 m sul livello del mare, mentre tutta la superficie terrestre si trova a quota superiore ai -12.000 m s.l.m.. In ascisse sono riportati sia i valori assoluti che la percentuale rispetto all'estensione totale. Da questa curva si ricava che:

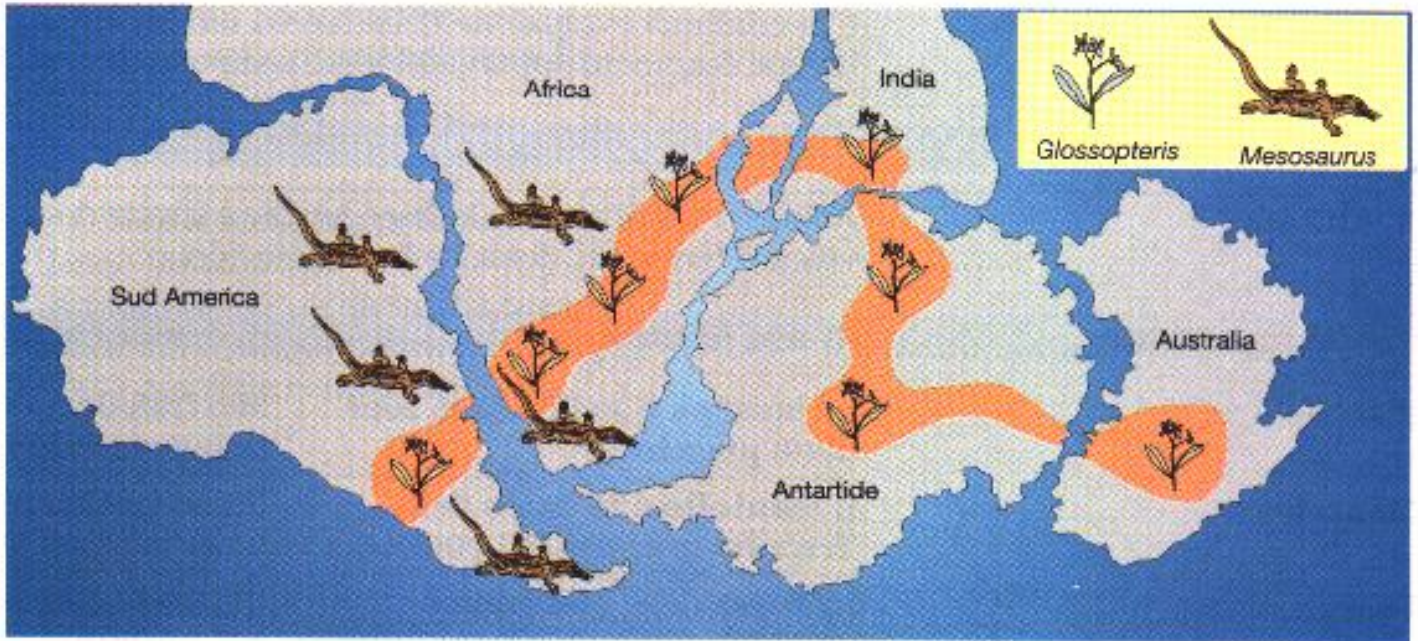
- 1) il 7% della superficie sottomarina è occupato dalla piattaforma continentale (zona di raccordo tra la zona subaerea e la scarpata continentale; si estende dal livello marino a circa 200 m di profondità);
- 2) il 9% della superficie sottomarina è interessato da scarpate (più ripida rispetto alla piattaforma; è la zona di raccordo tra la piattaforma continentale e i fondali oceanici e raggiunge circa i 2.000 m di profondità);
- 3) l'83% della superficie sottomarina è occupato dai fondali oceanici la cui profondità media è di -3.800 m e si estendono fino ad una profondità di -6.000 m;
- 4) l'1% della superficie sottomarina riguarda le fosse o abissi oceanici che comprendono tutte le depressioni oltre i 6.000 m di profondità.

Da questa curva si individuano le altezze medie della crosta continentale e di quella oceanica, rispettivamente 820 m e -3.800 m; queste differenze sono dovute alla differente composizione e quindi densità media delle due porzioni più esterne della Terra che portano ad un differente "livello di galleggiamento" sul Mantello. Infatti la densità media della crosta continentale è di 2,2 - 2,3 g/cm³, mentre la crosta oceanica ha una densità media di 3,2 - 3,3 g/cm³. La teoria dell'isostasia presume che il substrato sotto la crosta terrestre agisca come un fluido, anche di tipo molto viscoso. Wegener sostenne allora che in base a tale presupposto i blocchi continentali se si potevano muovere verticalmente, nulla impediva loro di muoversi anche orizzontalmente, ammesso che vi fossero forze sufficienti per farlo. Tali forze esistevano veramente e ne erano la prova la compressione orizzontale degli strati delle catene montuose delle Alpi, dell'Himalaya e delle Ande;

geologici: corrispondenza quasi perfetta dei margini dei continenti che si incastrano l'un l'altro come in un mosaico. Affinità geologiche che accomunano, per esempio le catene montuose paleozoiche della Norvegia e della Scozia a quelle della Groenlandia e del Canada (analoga affinità si riscontra ad esempio tra le formazioni rocciose dell'Africa occidentale e del Sudamerica orientale. Particolare importanza fu attribuita alla corrispondenza fra le morene terminali delle coltri glaciali dell'America Settentrionale e dell'Europa quale indice di un differimento nella scissione finale dei continenti fino al Pleistocene. " *E' proprio - scrive Wegener - come se noi dovessimo mettere a posto le parti strappate di un giornale facendo combaciare i loro contorni e poi vedere se le singole righe di stampa si susseguono dalle due parti regolarmente. Se ciò si verifica, evidentemente non resta altro che concludere che tali parti erano effettivamente unite in questo modo*";

paleontologici e biologici: all'inizio del secolo tutti i paleontologici più influenti, per spiegare l'identità o similarità floristiche e faunistiche tra continenti differenti, ammettevano che tra essi potessero essere esistiti specialmente durante il Mesozoico, dei legami sotto forma di grandi lingue di terra, i cosiddetti ponti continentali, successivamente sprofondati nell'oceano. Wegener, dopo aver indagato a fondo sulla distribuzione, attuale e geologica di vari organismi, rigetta su evidenze geofisiche e sulla base dei principi dell'isostasia, la possibilità che i cosiddetti ponti continentali siano spariti e sprofondati negli oceani. Quindi l'unica vera conclusione che si poteva trarre era che i continenti oggi separati, si fossero staccati spostandosi lateralmente da un unico originario Supercontinente;

paleoclimatici: conducendo ricerche anche sulla distribuzione dei climi del passato, rilevò in Sudamerica, Australia, Africa ed India, rocce sedimentarie paleozoiche deposte in ambiente glaciale, le tilliti, (morene fossili), mentre in Siberia, America settentrionale ed Europa centrosettentrionale trovò dei carboni fossili della stessa età delle tilliti, ma formate da resti vegetali tipici di climi tropicali. La particolare distribuzione di queste rocce poteva essere spiegata solo ammettendo che al momento della loro deposizione le terre soggette al clima glaciale fossero tutte unite tra di loro, così come dovevano esserlo quelle dove il clima era invece tropicale.



Il punto debole dell'impalcatura della teoria di Wegener era l'incertezza delle forze motrici, come egli stesso ammette: " *il Newton della teoria della deriva non è ancora apparso...E' probabile che la soluzione completa del problema delle forze motrici sia ancora lontana a venire, perché significa districare un groviglio di fenomeni interdipendenti in cui spesso è difficile distinguere la causa dall'effetto,*"

Formulò tuttavia alcune ipotesi indicando due possibili componenti. Una cosiddetta forza di fuga dei poli che doveva spiegare i movimenti dei continenti verso l'equatore e una sorta di forza di marea per spiegare la deriva verso ovest dei continenti americani

Le critiche all'ipotesi di Wegener .

L'obiezione più forte, fu comunque quella che sottolineava l'incompatibilità tra il movimento continentale e le idee accettate sulla struttura della crosta. Anche se i continenti erano zattere di sial galleggianti sul sima, quale forza era in grado di superare l'enorme attrito e di spingerli lungo la superficie terrestre? Il geofisico britannico Harol Jeffreys calcolò che i meccanismi di Wegener erano troppo deboli per superare l'attrito tra i continenti e la crosta sottostante.

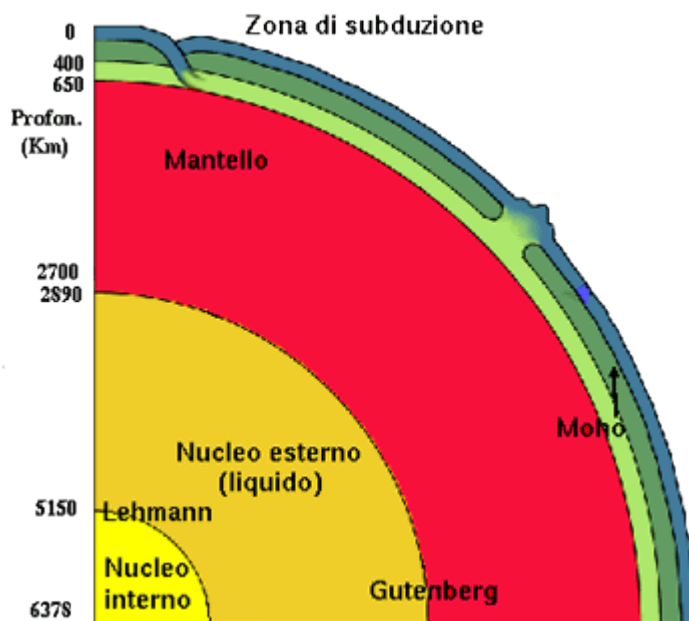
STRUTTURA INTERNA DEL PIANETA TERRA

Il problema principale di fronte al quale si sono trovati i primi studiosi di geofisica, era quello di avere dati certi per ricavare un modello che rappresentasse in maniera esaustiva la struttura interna della terra. Non potendo naturalmente osservarla direttamente, essa fu ricavata mediante l'analisi e dallo studio delle **onde sismiche**, la cui propagazione è legata alla densità dei materiali della Terra. Fu proposta così l'esistenza di un nucleo centrale molto pesante, attorniato da una zona di transizione e da uno spesso involucro solido di composizione basaltica, il tutto a sua volta racchiuso da rocce più superficiali e leggere, a formare una sottilissima e fragile crosta su cui scorre la nostra vita. Facile comprendere il perché di questa stratificazione di materiali a densità, pressioni e temperature

crescenti: durante il raffreddamento e il consolidamento del pianeta, i minerali più pesanti come ferro e nichel precipitarono nel nucleo, mentre i più leggeri restarono a "galleggiare" sulla superficie, formando la crosta.

Ed ecco in ordine le varie zone in cui è stato suddiviso l'interno della Terra da parte dei geologi del ventesimo secolo:

1) **Crosta Terrestre** (da 0 a 40 Km di profondità). Essa si divide in crosta continentale e crosta oceanica. La prima, che costituisce i continenti, è composta principalmente da rocce cristalline granitiche e granodioritiche, ricche di quarzo e di silicati di sodio e calcio, ma soprattutto di silicati di alluminio, da cui viene la definizione di **Sial**, data un tempo a questo strato. Esso ha uno spessore medio di circa 30 km, ma raggiunge i 70 Km al di sotto delle catene montuose più alte. La crosta oceanica invece è più povera in quarzo ed è costituita da uno spessore di 10 km di rocce più dense, con una composizione media vicina a quella dei basalti, ricchi in silicati di ferro e magnesio. La crosta è separata dal mantello sottostante da una zona intermedia detta **discontinuità di Mohorovičić** (o più semplicemente **Moho**), compresa tra 40 e 70 Km di profondità, che prende il nome dal geologo croato **Andrija Mohorovičić** (1857-1936). Questi, analizzando il terremoto di Pokuplje dell'8 ottobre 1909, individuò particolari arrivi di onde sismiche che potevano essere spiegati solo con un brusco aumento di densità ad una profondità di una quarantina di chilometri.



2) **Mantello superiore** (da 70 a 400 Km di profondità). È costituito principalmente da silicati di ferro, magnesio, calcio e alluminio, e viene anche chiamato mantello litosferico, perché insieme alla crosta costituisce la litosfera terrestre. A una profondità che varia da circa 80 km sotto gli oceani a circa 200 km sotto i continenti, vi è uno strato a bassa viscosità, comunemente definito **astenosfera**: questa bassa viscosità è stata associata ad uno stato di fusione parziale del mantello, ed è dovuta alle alte temperature, vicine al solidus (la temperatura alla quale inizia a fondere il componente a più bassa temperatura di fusione) delle comuni rocce del mantello, ricche in olivina. L'astenosfera si comporta dunque come un fluido, scorrendo alla velocità di 10 cm all'anno, e la sua plasticità è alla base della Tettonica delle placche. La prova dell'esistenza dell'astenosfera fluida è costituita dai cosiddetti movimenti isostatici: il Golfo di Botnia, dove era concentrato il massimo spessore dello strato di ghiaccio nordeuropeo durante le glaciazioni del pleistocene, sta subendo un sollevamento della crosta continentale, come rivela la datazione delle paleospiege: attualmente la velocità del sollevamento è pari a un centimetro all'anno, ma raggiunse il metro all'anno subito dopo la fine della glaciazione di Würm, verso il 10.000 a.C. Questo movimento verticale è analogo a quello di una barca che viene scaricata e vede abbassarsi la sua linea di galleggiamento: lo scioglimento di chilometri e chilometri di ghiaccio provoca il lento sollevarsi della crosta sopra l'astenosfera fluida. Lo strato formato dalla crosta e dalla parte superiore del mantello, che si comporta come un solido, è denominato **Litosfera** e rappresenta la parte rigida del nostro pianeta.

3) **Mantello di transizione** (da 400 a 650 Km di profondità). Intorno ai 410 km e ai 600 km di profondità sono state scoperte due importanti discontinuità sismiche. Questa zona è considerata la sorgente dei magmi basaltici. Infatti una bassa percentuale delle rocce del mantello è fusa, prende il nome di magma ed ha una densità minore del materiale circostante, per cui risale attraverso la crosta terrestre e viene eruttata in superficie come lava.

4) **Mantello inferiore** (da 650 a 2700 Km di profondità). Esso costituisce circa il 49,2% della massa della Terra, ed è ricco di silicio e magnesio (per questo battezzato **Sima**), con un po' di ferro, ossigeno, calcio ed alluminio. Dal punto di vista sismico, il mantello inferiore è meno complesso del soprastante mantello di transizione. La temperatura aumenta sostanzialmente in modo adiabatico, e la fisica ci insegna che tutto ciò è compatibile con i moti convettivi che si pensano responsabili della migrazione delle placche. Tra i 2700 e i 2890 Km di profondità si ha la **discontinuità di Gutenberg**, dal nome del geologo tedesco **Beno Gutenberg** (1889-1960) che la introdusse nel

1914; essa separa il mantello dal nucleo, con un aumento della densità che passa da circa 10 g/cm^3 a circa $13,5 \text{ g/cm}^3$.

5) **Nucleo esterno** (da 2890 a 5150 Km di profondità). Esso costituisce il 30,8 % della massa della Terra, e ha circa le stesse dimensioni del pianeta Marte. Appare formato da uno strato plastico molto caldo e più denso del mantello, con una temperatura media di 3000°C , una densità di $9,3 \text{ g/cm}^3$ e una pressione di 1400 kbar. Questo fluido consiste principalmente di ferro (80 %) e nichel, e per questo denominato **Nife**; secondo l'ipotesi più comunemente accettata, la circolazione del fluido ferromagnetico dovuta alla rotazione della Terra dà origine al campo magnetico del nostro pianeta. Al di sotto, fra i 5150 e i 5200 Km di profondità, si trova la **discontinuità di Lehman**, che porta il nome dalla sismologa danese **Inge Lehman** (1888-1993), la quale la introdusse nel 1936. Essendosi spenta a 105 anni, certamente la Lehman fu uno degli scienziati più longevi della storia dell'uomo!

6) **Nucleo interno** (da 5200 a 6371 Km di profondità). Esso è grande più o meno quanto la Luna e contiene circa il 17 % della massa terrestre. Il primo a pensare all'esistenza di un nucleo molto denso al centro della Terra fu **sir Isaac Newton**: dopo aver stimato la massa del pianeta Terra, si accorse che la sua densità è quasi doppia di quella della crosta terrestre, e questo comporta che nel cuore del pianeta siano concentrati i suoi costituenti più pesanti. Ragioniamo un attimo: Eratostene ci ha suggerito un metodo per calcolare la misura della circonferenza meridiana. Grazie a lui sappiamo che la terra è assimilabile ad una sfera di raggio medio pari a 6371 Km. Di conseguenza il suo volume è pari a $\frac{4}{3} \pi 6371^3$ pari a circa $1,082 \cdot 10^{27} \text{ cm}^3$. Dalla legge di Newton possiamo calcolare la massa della terra, pari a $5,9 \cdot 10^{27}$ grammi. Dal loro rapporto otteniamo la densità media della terra: $\frac{5,9 \cdot 10^{27}}{1,082 \cdot 10^{27}} = 5,5 \text{ g/cm}^3$. tale valore rappresenta la densità media della terra. Noi sappiamo che la densità delle rocce che formano la crosta terrestre è molto più bassa (massimo $3,3 \text{ g/cm}^3$). Ciò vuol dire che i materiali più interni devono avere densità molto più alte di quelle che contraddistinguono i materiali esterni. Il nucleo interno infatti è composto quasi esclusivamente di ferro, ha una temperatura di 4000°C (ma secondo alcuni autori di 6500°C), una densità di 13 g/cm^3 e una pressione di 3600 kbar, cioè 3,6 milioni di volte più alta di quella rilevata al livello del mare. Tali condizioni limite fanno pensare che il ferro si trovi in uno stato cristallino, e quindi solido: la pressione così alta porta ad un innalzamento notevole del punto di fusione del ferro. Recenti evidenze hanno suggerito che il nucleo interno terrestre potrebbe ruotare leggermente più in fretta del resto del pianeta, di circa 2 gradi per anno, ma non è chiara la ragione di questo comportamento.

Il calore terrestre

L'origine del calore interno della Terra

Le cause che hanno prodotto alla formazione del calore attualmente presente all'interno della terra sono molteplici. Gran parte di esso deriva dal decadimento degli isotopi radioattivi presenti nelle rocce, in particolare quelle acide della crosta terrestre, che contengono uranio, torio e potassio, con tempo di dimezzamento molto lungo, e sarebbero responsabili del 40% delle emissioni termiche della superficie. Gli elementi radioattivi avrebbero determinato inoltre la fusione dei metalli, in particolare del ferro. Quest'ultimo spostandosi verso il centro della Terra a causa della gravità, avrebbe liberato grandi quantità di energia gravitazionale sotto forma di calore, alzando ulteriormente la temperatura. Infine, va aggiunto il calore primordiale della Terra, che si aggirerebbe attorno ai 1000°C , dovuto alla pressione prodotta dalla compattazione delle particelle e dal loro attrito.

Il gradiente e il grado geotermico

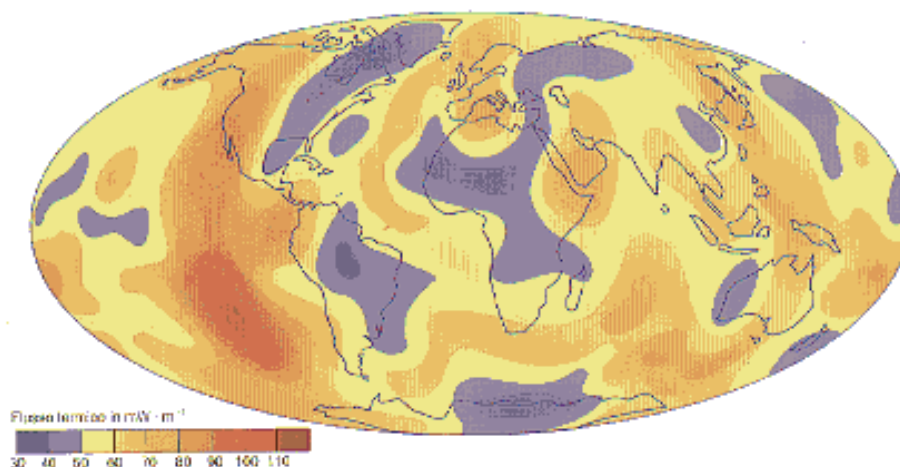
Il gradiente geotermico è l'aumento della temperatura, espressa in gradi centigradi, ogni 100 metri di profondità. Ha un valore medio di $2 - 3^\circ \text{C}/100$ metri, ma può variare anche notevolmente da località a località, con punte di $0,6^\circ \text{C}/100 \text{ m}$ e $14^\circ \text{C}/100 \text{ m}$, a causa di particolari fenomeni geologici. Il grado geotermico è il numero di metri che bisogna scendere sotto la superficie terrestre per avere l'aumento di 1°C . Il grado geotermico è in media circa 39 m.

Applicando questo valore all'intero raggio terrestre, otterremmo una temperatura al centro della Terra di oltre 160000°C , ma una tale situazione provocherebbe la fusione del nostro pianeta, per cui questo valore deve avere validità solo per la superficie. Sappiamo, infatti, dalla sismologia che le onde trasversali, che non si trasmettono sui fluidi, attraversano tutto il mantello, vengono bloccate nel nucleo esterno per ricomparire nel nucleo interno; perciò

si può dedurre, in base alla composizione mineralogica, che la temperatura del centro della Terra non può superare i 5500°C. Recenti stime indicano un probabile valore di 4300°C.

Il flusso di calore è la quantità di energia termica che si allontana dalla Terra per unità di area nell'unità di tempo. L'unità di misura è l'HFU (*Heat Flow Unit*), equivalente a $1 \mu\text{cal}/(\text{cm}^2 \cdot \text{s})$.

Nei continenti, costituiti in prevalenza da rocce magmatiche acide, ricche di isotopi radioattivi, il flusso medio di calore è di 1,5 HFU. Il valore è inferiore nelle zone interne, geologicamente stabili, che presentano una crosta spessa, e maggiore nelle aree attive, dove la crosta è più sottile.



Negli oceani il flusso di calore è diverso a seconda delle aree e, a parte nelle dorsali, è appena inferiore a quello dei continenti. Nei bacini oceanici è circa 1,3 HFU, mentre è inferiore a 1 HFU nelle fosse; lungo le dorsali il flusso è maggiore di 2 HFU. Poiché le rocce basiche contengono pochi minerali radioattivi, i valori dovrebbero essere nettamente inferiori a quelli dei continenti, invece la differenza è molto lieve. Il motivo non è chiaro; si suppone che il flusso di calore degli oceani sia aumentato a causa delle correnti convettive del mantello che fanno risalire materiale caldo lungo le dorsali, e perché la crosta oceanica è molto più sottile di quella continentale.

IL CAMPO MAGNETICO TERRESTRE E LE SUE VARIAZIONI NEL TEMPO

La terra come ogni altro corpo dotato di massa, è circondata da un campo gravitazionale che attrae altri corpi. Sin dalla formulazione della legge di gravitazione di Newton, siamo in grado di determinare gli effetti della gravità, calcolando l'accelerazione di un oggetto in caduta, le orbite planetarie le traiettorie dei missili o delle navicelle spaziali, ma non siamo ancora in grado di determinare le cause di ciò. Allo stesso modo misuriamo che la Terra produce un campo magnetico, ma possiamo solo speculare sulle cause prime che lo generano.

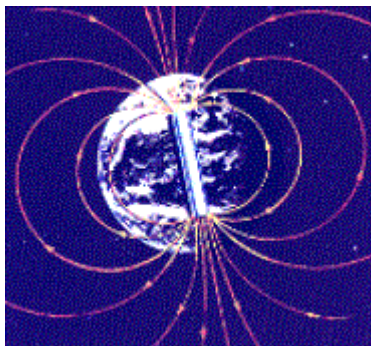
Sin dal tempo dei Greci oltre 2500 anni fa erano note le proprietà di un particolare minerale di ferro chiamato magnetite. Successivamente in estremo oriente venne inventata il primo prototipo di bussola, perfezionata ad Amalfi nella prima metà del XIII secolo. Grazie alla bussola furono possibili le grandi scoperte geografiche del 1400 - 1500. In meno di cinquant'anni grazie a questo strumento l'orizzonte delle conoscenze geografiche si allargò fino a comprendere tutte le terre emerse con l'eccezione dell'Antartide e dell'Australia. Nel 1600 il fisico inglese W. Gilbert (1540-1603) nel "De Magnete", asserì che "l'intera Terra è un grande magnete" il cui campo agisce sull'ago della bussola orientandolo in direzione nord - sud. L'astronomo E. Halley (1656-1742), si accorse del mutamento di certe caratteristiche del campo magnetico terrestre che ne indicavano uno spostamento verso Ovest. Occorre però attendere fino al 1832 per avere una esatta configurazione del campo magnetico terrestre ad opera di K. F. Gauss (1777-1855) che per primo ne tracciò le linee di forza e ne iniziò lo studio dal punto di vista fisico - matematico

La presenza del campo magnetico terrestre è rilevata da molti fenomeni direttamente osservabili; tra questi i più notevoli sono, come detto, l'azione orientatrice che subiscono i corpi magnetizzati, il magnetismo indotto nei materiali ferromagnetici, la cattura da parte della Terra di particelle elettricamente cariche provenienti dallo spazio esterno.

Gli elementi che definiscono il campo magnetico terrestre per ogni punto della superficie terrestre, sono il vettore intensità del campo, la *declinazione magnetica*, l'*inclinazione magnetica* e le componenti del vettore campo nei piani

orizzontale e verticale.

L'analisi dei valori degli elementi magnetici condotta con opportuni metodi matematici, introdotti da Gauss, ha consentito di stabilire che l'origine del campo magnetico terrestre è per la quasi totalità (96%) interna: secondo alcuni autori il campo magnetico terrestre sarebbe rappresentabile da un dipolo centrale e da otto dipoli radiali collocati a 4800 Km di profondità. Il restante valore, detto campo residuo, è dovuto al contributo delle anomalie magnetiche, di scambi elettrici tra atmosfera e superficie terrestre, e degli sciame di particelle cariche provenienti dallo spazio, in specie dal sole. Prendendo in esame solo il valore del campo preponderante dovuto a cause interne, il campo magnetico terrestre può essere visto, per semplicità, come se al centro della Terra fosse presente una potentissima barra magnetica inclinata di $11^{\circ}30'$ rispetto all'asse terrestre



I punti in cui il diametro terrestre coincidente con la direzione del dipolo incontra la superficie terrestre sono detti poli geomagnetici: Il polo situato nell'emisfero settentrionale, indicato convenzionalmente con B (boreale), ha polarità negativa e si trova a $78^{\circ}30' N$, $69^{\circ} W$, mentre l'altro, indicato con A (australe), risulta positivo, con posizione $78^{\circ}30' S$, $111^{\circ} E$. L'effetto dovuto al campo magnetico residuo fa sì che i due punti in cui l'inclinazione magnetica risulta di 90° non coincidano con i poli geomagnetici; tali punti definiscono i poli magnetici: quello indicato dal polo N dell'ago della bussola si trova nello Arcipelago Artico canadese, mentre quello S è ubicato nell'Antartide; nel 1998 le loro posizioni erano rispettivamente $78^{\circ}34' N$, $104^{\circ}45' W$, $65^{\circ}4' S$, $139^{\circ}5' E$.

L'unità di misura del campo magnetico terrestre nel Sistema Internazionale (SI) è il tesla (T), ma nella pratica viene usato un suo sottomultiplo, il nT (nanotesla pari a 10^{-9} T). Sulla superficie terrestre, il valore del campo varia in intensità, dall'equatore ai poli, da circa 20000 nT a 70000 nT.

Una caratteristica importante, che è stata notata ed utilizzata dai geofisici, è che il campo magnetico non è poi così intenso: i materiali caldi, in cui il moto delle particelle è intenso, non sono suscettibili alle forze indotte dal campo magnetico, mentre man mano che la temperatura diminuisce, tali forze si fanno sempre più intense, fino ad arrivare ad un certo valore, il Punto di Curie, in cui l'induzione magnetica prevale sul moto caotico, per cui da quella temperatura in poi tale campo condiziona la disposizione delle particelle che formano la materia. Una lava fuoriuscendo da un vulcano, raffreddandosi, "si orienta", assume cioè una magnetizzazione secondo il campo magnetico di quel luogo e di quel momento. Una volta divenuta roccia a meno di essere riportata sopra il punto di Curie, i dati magnetici rimangono registrati in questa lava per sempre, quasi fossero congelati (magnetizzazione termorimane). Questo magnetismo fossile, che si conserva anche se il campione di roccia è sottoposto a modesti disturbi meccanici, magnetici, termici e che quindi permane inalterato anche a distanza di decine o centinaia di milioni di anni, è detto *paleomagnetismo*. Soltanto alcuni tipi di rocce risultano utili all'indagine paleomagnetica. Le lave basaltiche, ad esempio, appartengono a questa categoria; esse sono abbastanza ricche di minerali ferriferi ed acquisiscono la magnetizzazione mentre si raffreddano. Misure paleomagnetiche sono possibili anche su rocce sedimentarie ricche di ossido di ferro. Sembra infatti che i costituenti ferromagnetici (in prevalenza granellini di magnetite ed altri minerali di ferro) siano suscettibili, durante la deposizione, di orientarsi secondo l'andamento del campo geomagnetico. Anche le rocce sedimentarie, deposte in acque tranquille, conservano una piccola magnetizzazione (detta magnetizzazione detritica residua) che può essere misurata con strumenti molto raffinati. Sfruttando questa proprietà i geofisici soprattutto negli anni cinquanta e sessanta cominciarono a raccogliere rocce di tutte le età e di varie parti del globo rilevando tre interessanti e sorprendenti fenomeni:

La migrazione dei poli,

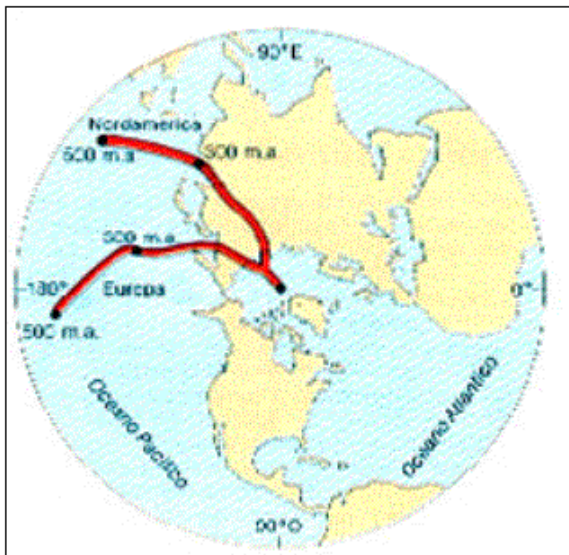
Le inversioni di polarità,

Le anomalie magnetiche dei fondi oceanici.

La migrazione dei poli

Negli ultimi cinquant'anni vari gruppi di ricercatori indagando sul paleomagnetismo presente in vari tipi di rocce distribuiti sia sul continente americano che europeo, hanno registrato una continua variazione della posizione del polo nord attraverso le varie ere geologiche.

L'indagine ha rilevato che circa 500 - 600 milioni di anni fa, il polo nord si trovava lungo l'equatore, nel mezzo dell'attuale Oceano Pacifico, inoltre i risultati ottenuti dall'analisi delle rocce americane rispetto a quelle europee davano posizioni diverse per il polo. Questo aspetto è ben rappresentato nella seguente immagine. In essa è stata ricostruita l'apparente migrazione del polo N magnetico ricostruita in base ai dati estrapolati dalle rocce giacenti in nord America ed in Europa negli ultimi 500 milioni di anni. Come si vede le due linee si allontanano tanto



più tra loro quanto più si va indietro nel tempo. L'assurdo è poi che le rocce indicano due poli N magnetici differenti tra loro per posizione!!!

La spiegazione del fenomeno comportava due possibili soluzioni: o si facevano migrare i continenti mantenendo fissi i poli, o si facevano migrare i poli tenendo fissi i continenti. In effetti, una certa migrazione dei poli è stata constatata, ma essa determina piccolissimi spostamenti, dell'ordine di pochi centimetri. L'unica ipotesi plausibile per spiegare l'apparente migrazione dei poli è quindi quella di considerare la deriva dei continenti; in realtà sono i continenti che, migrando sulla superficie del globo, si sono mossi rispetto all'asse di rotazione terrestre

Inversioni di polarità

Un particolare aspetto del paleomagnetismo, riguarda le inversioni del campo geomagnetico, riconosciute per la prima volta quando a seguito dell'analisi delle colate laviche degli ultimi cinque milioni di anni, si riscontrarono direzioni del campo paleomagnetico divergenti di 180°.

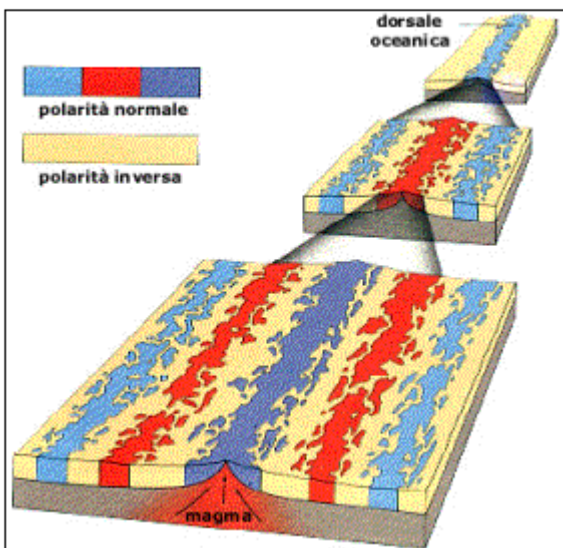
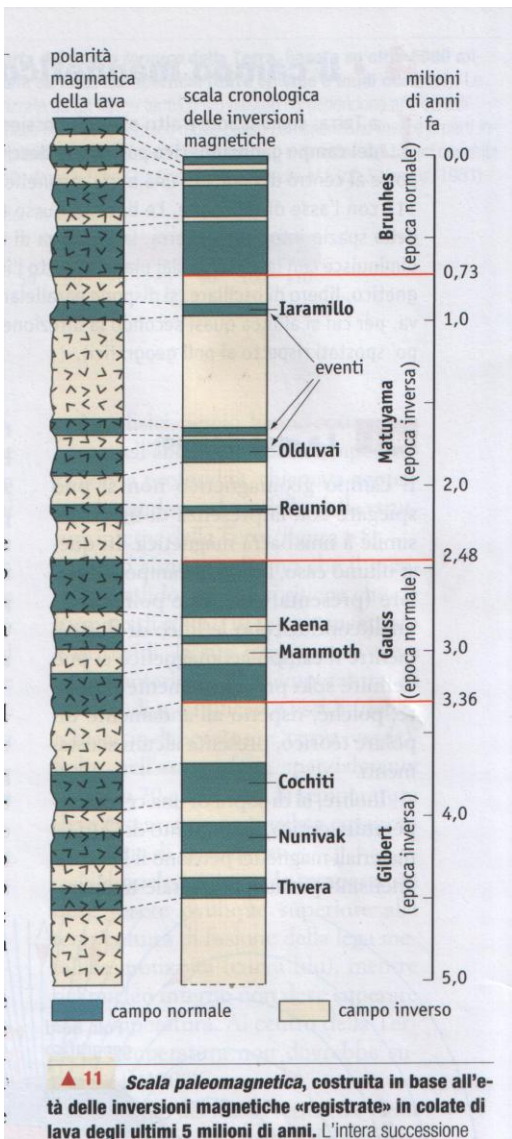
Irregolarmente, ma circa ogni mezzo milione di anni, il campo magnetico della Terra cambia polarità (il polo nord diventa polo sud e viceversa), impiegando qualche migliaio di anni ad invertire la propria direzione. Successivamente, usando vari metodi di datazione, si è potuto stabilire che queste inversioni si succedono con lo stesso ordine cronologico, anche in zone assai distanti tra loro e si è ricostruita la storia delle inversioni negli ultimi 5 - 7 milioni di anni, sotto forma di una scala cronostratigrafia magnetica. Si è così trovato che circa la metà di tutte le rocce studiate hanno magnetizzazioni opposta a quella dell'attuale campo magnetico della Terra. Questo implica che il campo magnetico si è "ribaltato", da normale ad inverso piuttosto frequentemente nel passato geologico e che campi magnetici normali o inversi sono ugualmente probabili.

I periodi più lunghi, dell'ordine del mezzo milione di anni, sono chiamati *epoche magnetiche*, ognuna con un nome di un famoso scienziato del paleomagnetismo. Ma durante le epoche si registrano anche brevi inversioni dette *eventi magnetici* che possono durare dai 10.000 ai 100.000 anni.

La causa di queste periodiche inversioni del campo geomagnetico non è ancora conosciuta. Non è ancora stato accertato se il campo si affievolisce lentamente per poi aumentare gradualmente nella direzione opposta o se semplicemente si ribalta. Tutto il fenomeno dipende da quella sorta di dinamo che è il nucleo terrestre, la quale, evidentemente, può variare la propria polarità casualmente e con una certa facilità. Una volta compreso che il campo magnetico terrestre è soggetto non a migrazioni, ma a inversioni di polarità, i geofisici sono riusciti a spiegare un fenomeno che è stato documentato ogni qual volta si è andato a misurare l'intensità del campo magnetico terrestre. Ci aspetteremo un valore costante di tale campo, ma ciò non corrisponde alla verità. Perché? Cosa sono le

Anomalie magnetiche

Strettamente collegate all'inversione di polarità sono le strane ed importantissime *anomalie magnetiche* riscontrate sui fondali oceanici. Per eseguire delle misurazioni del campo magnetico terrestre in mare, i magnetometri vengono trainati dietro le navi ad una certa distanza per evitare le interferenze dovute agli scafi ed ai motori. La massima parte del magnetismo misurato deriva dai basalti del fondo oceanico ricchi di magnetite.



Durante la perlustrazione dei fondi oceanici, gli oceanografi scoprirono delle anomalie magnetiche distribuite in modo assai caratteristico. Queste anomalie rappresentano delle piccole deviazioni, dell'ordine dei milligauss, dei valori medi dell'intensità del campo magnetico terrestre. In un'area con anomalia positiva, il campo magnetico terrestre ha intensità maggiore del normale, mentre in un'area con anomalia magnetica negativa, l'intensità è minore del normale. Le anomalie magnetiche riscontrate nell'oceano hanno un andamento a bande lineari e parallele che continuano per centinaia di chilometri; esse presentano inoltre una distinta simmetria bilaterale rispetto alla dorsale medio-oceanica; questo accade poiché dalle dorsali si forma continuamente nuova crosta oceanica accompagnata dal progressivo allontanamento di quella già formata dall'asse della dorsale.

Quindi la lava che solidifica registra le inversioni del campo magnetico terrestre e si formano delle fasce di fondale (larghe da 5 a 50 Km), simmetriche al punto di origine, che conservano proprietà magnetiche opposte. La carta delle anomalie magnetiche dei fondali oceanici risulta allora essere una carta della distribuzione della magnetizzazione, normale o inversa, delle rocce costituenti il fondo stesso. Correlando queste inversioni con la scala dei tempi geomagnetici, è stato possibile datare i fondi oceanici e si è constatato che i fondali oceanici non hanno un'età superiore a 200 milioni di anni nelle parti più antiche, età che è molto diversa da quella registrata per alcune rocce continentali che arrivano a 3,8 miliardi di anni. Questo significa che il fondo oceanico è cambiato molte volte nel corso della storia della Terra. Altro interessante aspetto delle anomalie magnetiche dei fondi oceanici è che è possibile ricostruire la posizione dei continenti, l'uno rispetto all'altro, in un dato momento della storia della Terra. Spostando e facendo coincidere con l'asse della dorsale le anomalie associate allo stesso periodo temporale, si ottiene il profilo del fondo oceanico in quel particolare tempo geologico e quindi anche i profili delle terre emerse.

TEORIA DELLA ESPANSIONE DEI FONDI OCEANICI

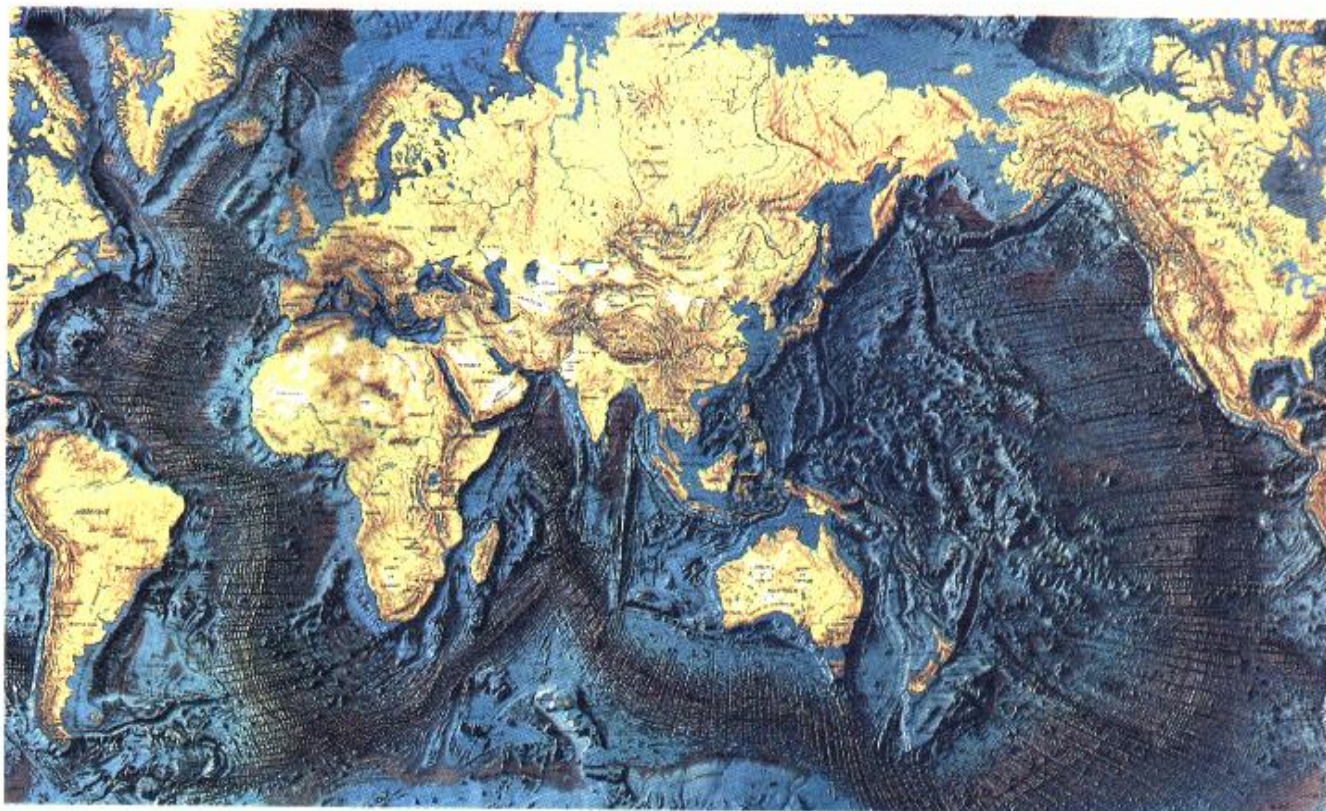
Nel 1962 Harry Hammond Hess pubblicò la propria ipotesi circa l'espansione dei fondali oceanici in un documento intitolato "*History of ocean basins*" che contribuì a fornire ulteriori conferme alla teoria della deriva dei continenti di Wegener. Quasi contemporaneamente (un anno prima) Robert Dietz aveva coniato il termine "espansione dei fondali oceanici".

Egli in sostanza parte elaborando alcune riflessioni sulla costituzione e sulla storia della Terra senza preoccuparsi troppo di verificare se tutte le ipotesi fossero corrette o meno, ma ponendosi l'obiettivo di gettare le basi per ulteriori ipotesi da parte di altri. Queste le ipotesi che tentano di interpretare la storia geologica della Terra: La terra si è formata 4,5 miliardi di anni fa dall'aggregazione di particelle. Immediatamente dopo la sua formazione, a causa del calore rilasciato da isotopi radioattivi a vita breve, la Terra cominciò a fondersi parzialmente; questo avvenimento è definito "la grande catastrofe". Si formò così una grande cella convettiva che diede origine ad un nucleo di ferro e nichel e, con l'estrusione dai lembi superiori della corrente convettiva di materiale contenente grandi quantità di silicati, si formò il continente primordiale che costituiva il 50% della crosta continentale odierna.

- La superficie terrestre appare strutturata in due livelli topografici diversi: il fondale oceanico situato circa 5 Km sotto il livello marino, e la superficie continentale a centinaia di metri sopra tale livello (vatti a rivedere la curva ipsografica!!). La crosta risulta avere uno spessore di 6 Km circa sotto il mare profondo (crosta oceanica) e 34 Km sotto i continenti (crosta continentale).
- Le dorsali oceaniche sono i più grandi lineamenti topografici della superficie terrestre, ma sono effimere. Le loro creste, che si approssimano alle linee mediane negli oceani, hanno la copertura sottile del sedimento ed in modo anomalo un alto flusso di calore. La crosta terrestre si espande ad angolo retto dalle creste delle dorsali oceaniche. La convezione del mantello spiega e connette molti fatti della geologia. Per esempio dai dati paleomagnetici risultava che i continenti si sono mossi in modo significativo in un passato geologico relativamente recente. Questo viene spiegato in modo semplice con porzioni di superficie terrestre che vengono trasportate passivamente dalle celle convettive del mantello. Le dorsali sono situate in corrispondenza delle correnti convettive ascendenti delle celle. I continenti non avanzano nella crosta oceanica trasportati da forze sconosciute, ma si spostano passivamente, "galleggiando" sul mantello, che arriva in superficie in corrispondenza delle creste della dorsale e poi si sposta lateralmente allontanandosi da essa. L'assenza di crosta e di creste oceaniche molto vecchie suggerisce che il pavimento del mare cambia ogni 200-300 milioni di anni. Ciò significa appunto che le configurazioni attuali dei bacini dell'oceano sono relativamente recenti.

Hess era stato affascinato dalla scoperta fatta prima della guerra dal geofisico olandese Vening Meinesz sul fatto che le fosse adiacenti al margine oceanico degli archi insulari dell'Asia sudorientale, erano caratterizzate da accentuate anomalie gravimetriche negative. Era in effetti chiaro a molti che il sistema circumpacifico arco-fossa, contraddistinto da numerosi vulcani e potenti terremoti, che facevano pensare a faglie che immergevano a grande profondità lontano dagli oceani, poteva fornire la chiave per spiegare le geosinclinali e la formazione delle catene montuose. Condivise pertanto l'ipotesi di Vening Meinesz e cioè che la forte deviazione dall'equilibrio isostatico,

presente nelle fosse che scendono a 4 Km sotto la piana abissale oceanica si poteva spiegare con il fatto che le fosse stesse dovevano essere mantenute in tale posizione da qualche forza subcrostale, come poteva essere il fianco discendente di una corrente di convezione.



Le

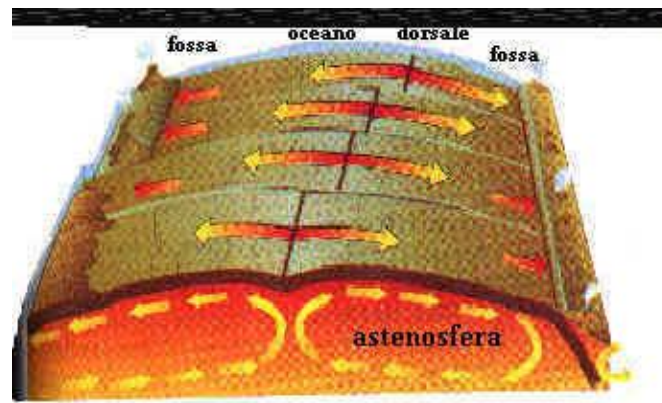
montagne sottomarine a cima piatta (guyot) che egli aveva scoperto erano state spianate dall'azione delle onde a livello del mare e che in seguito dovevano essere sprofondate per migliaia di metri, nel corso di un lunghissimo periodo (si pensava infatti che i guyot risalissero all'Archeozoico).

Inoltre lo spessore dello strato sedimentario si era dimostrato inferiore rispetto a quanto previsto dall'ipotesi di un fondo oceanico antico. L'ipotesi della deriva dei continenti aveva previsto proprio che il fondo oceanico non fosse più antico del Mesozoico per l'oceano Atlantico e quello Indiano.

In più vi era la scoperta dell'esteso sistema delle dorsali medio oceaniche, con la loro sismicità, l'elevato flusso di calore, il vulcanismo locale che implicavano un fenomeno distensivo.

Il suo grande merito consistette nell'integrare e sistematizzare tale quantità di fenomeni disparati. In base a tale sistematizzazione egli concepiva gli oceani come i centri principali dell'attività geologica.

Secondo Hess le correnti convettive del mantello, causate dalle differenti temperature esistenti fra gli strati profondi e superficiali dello stesso, provocano l'assottigliamento e la fratturazione della crosta terrestre (rift) nella parte in cui le due correnti in risalita cominciano a divergere, in direzioni opposte, e a sprofondare a causa del loro raffreddamento. Dalle fratture, cioè in corrispondenza delle dorsali, fuoriesce magma proveniente dal mantello. Questo raffreddandosi, a causa del contatto con le acque fredde, solidifica e forma nuova crosta oceanica che comincia a spostare quella preesistente in direzione perpendicolare rispetto alla linea di frattura con conseguente espansione dei fondali oceanici. La crosta terrestre più antica viene eliminata quando i fondali sprofondano all'interno della Terra in corrispondenza delle fosse oceaniche. In sostanza il fondo oceanico si formava in corrispondenza delle dorsali, si espandeva verso le fosse e poi scendeva sotto di esse all'interno del mantello.



Mise poi in relazione il suo modello di espansione del fondo marino con la deriva dei continenti, proponendo che questi fossero trasportati durante questo processo che era azionato dalle correnti convettive del mantello, riprendendo l'ipotesi formulata da Holmes.

Il magma fuso fuoriesce da sotto la crosta terrestre, si raffredda a contatto con le acque oceaniche, si espande e spinge le placche dall'altro lato rispetto alla crosta stessa; in questo modo il Nord e Sud America sarebbero spinti verso Ovest, mentre l'Europa, l'Asia e l'Africa verso Est. I seguenti brani sono tratti dall'opera di Hess. Nota l'eleganza della sua esposizione

"I bordi trainanti di un continente sono fortemente deformati quando vanno ad urtare contro i lembi del mantello convettivo che si muovono verso il basso..I lembi ascendenti che salgono sotto le aree continentali allontanano l'una dall'altra, a velocità uniforme, le parti spezzate, per cui si forma una dorsale veramente mediana come nell'oceano Atlantico. Anche la copertura di sedimenti e i monti vulcanici sottomarini si fanno trascinare nella ganascia frantumata del lembo discendente, vengono metamorfosati e infine probabilmente saldati ai continenti"

"Le dorsali medio oceaniche - scrive in relazione al rapporto con la deriva - potrebbero rappresentare i resti dei lembi ascendenti delle celle convettive, mentre la fascia circumpacifica di deformazione e vulcanismo rappresenta i lembi discendenti. La Dorsale Medio-Atlantica è in posizione mediana perché le aree continentali sui due lati si sono allontanate alla stessa velocità... Non è esattamente la stessa cosa nella deriva dei continenti. I continenti non avanzano attraverso la crosta oceanica spinti da forze ignote, ma piuttosto si lasciano trascinare passivamente sul materiale del mantello (come se si trattasse di un nastro trasportatore) quando sale alla superficie in corrispondenza della cresta della dorsale e se ne allontana muovendosi lateralmente."

3.3 La conferma dell'espansione del fondo marino

Nei primi tempi Hess non convinse molto i colleghi, ma le sue idee divennero stimolo importante per molti ricercatori. Un'importante convalida dell'idea di Hess venne dal canadese John Tuzo Wilson che nel 1963 presentò una delle prime indicazioni favorevoli all'espansione dei fondali oceanici con la dimostrazione che l'età delle isole su entrambi i lati delle dorsali oceaniche aumentava in proporzione alla distanza dalla dorsale stessa. In seguito ipotizzò l'esistenza di "punti caldi" nel mantello, luoghi dai quali i pennacchi di materiale fluido del mantello stesso salivano verso l'alto sotto la spinta delle correnti di convezione. Laddove essi toccavano le placche di litosfera, la crosta veniva perforata e si formavano le isole vulcaniche. Un altro importante contributo di Wilson fu l'idea delle faglie trasformi, proposta nel 1965 nel saggio "Una nuova classe di faglie a sostegno della deriva dei continenti". Le faglie trasformi si presentavano laddove le placche strisciano una sull'altra invece di sovrapporsi (come è normale) nelle zone di subduzione. Wilson spiegò che le dorsali medio oceaniche consistevano in una serie di fratture che si articolavano in faglie trasformi.

Nel medesimo periodo fu ideata un nuovo tipo di prova sull'espansione dei fondali oceanici da parte di Drummond Hoyle Mattews e Fred Vine dell'Università di Cambridge. Favorevolmente colpito dall'interpretazione che Hess dava delle dorsali medio-oceaniche, Mattews ipotizzò che la crosta di recente formazione dovesse essere stata magnetizzata secondo la direzione del campo magnetico terrestre che dominava al tempo della fuoriuscita del

materiale sul fondo marino. Tuttavia, dato che il campo magnetico era soggetto a periodiche inversioni, ci si doveva aspettare che la crosta fosse magnetizzata alternativamente secondo direzioni opposte. In base a questa idea, il risultato doveva essere un motivo di strisce orizzontali parallele alla dorsale, e ciascun lato doveva essere l'immagine speculare dell'altro (dato che l'espansione del fondo oceanico avveniva in entrambe le direzioni rispetto alla dorsale). Vine verificò l'ipotesi: per mezzo di un'analisi della dorsale Juan de Fuca, rivelò la tipica immagine speculare delle strisce magnetizzate sui due e lati della dorsale stessa.

TEORIA DELLA TETTONICA DELLE PLACCHE

F. Morgan, D. McKenzie e R.L. Parker (1967), riprendendo e organizzando in un quadro unitario le conoscenze sui fenomeni vulcanici e sismici, sulla struttura dell'interno della Terra, sul flusso di calore, sul magnetismo e sul paleomagnetismo sull'espansione dei fondali oceanici, hanno formulato la teoria della tettonica delle placche. Nella teoria della tettonica delle placche trovano logica spiegazione i fenomeni orogenetici, la formazione dei bacini oceanici e delle fosse, i terremoti profondi e quelli superficiali, i vulcani a chimismo basico e quelli acidi, la nascita delle valli tettoniche e altri aspetti ancora.

Queste ed altre scoperte portarono ad avvalorare l'ipotesi di Hess sull'esistenza di profondi moti convettivi che trasportano in superficie in corrispondenza delle dorsali medie oceaniche, materiale roccioso fuso. In effetti il calore che il materiale riceve dal nucleo fonde il materiale solido. Il magma che ne risulta tende a salire verso la superficie spostando verso il basso il materiale meno caldo, formando in questo modo grandi correnti convettive organizzate in celle cilindriche. Quando una corrente convettiva urta la crosta, la solleva. La crosta sollevata si assottiglia fino a fessurarsi lasciando fluire verso l'esterno il magma, che giunto all'esterno, si raffredda e consolidandosi chiude la fessura. La massa fluida rimasta dentro la crosta continua a divergere e scorrendo sollecita la fessura a riaprirsi. La fessura viene quindi continuamente riaperta e riscaldata dal magma che si raffredda. Per far spazio alla continua aggiunta di nuova crosta le placche che si trovano sui due versanti vengono continuamente e lentamente allontanate.

Secondo questa successione di eventi, ad una certa distanza dai due lati della dorsale, il fondo oceanico sarà formato da lava solidificata da pochissimo tempo che, allontanandosi, incontrerà lava sempre più vecchia. Nell'Atlantico del Nord, la velocità di questo movimento è circa di 1-2 cm all'anno, mentre nell'Oceano Pacifico ammonta a più di 4 cm. per anno.

La velocità si ricava dalla larghezza e dall'età di quelle bande magnetiche che sono disposte simmetricamente rispetto alle dorsali e che registrano nella lava solidificata le inversioni periodiche del campo magnetico terrestre. L'età delle bande magnetiche cresce all'allontanarsi dalla dorsale; si può valutare così quanto siano antichi gli oceani, ma anche la velocità con cui si espandono. Si tratta tuttavia di velocità "geologiche" che hanno una dimensione temporale lontana dalla nostra percezione, ma che sono misurabili grazie alla precisione raggiunta dai rilievi geodetici effettuati dai satelliti.

Ma che cosa sono le placche litosferiche?

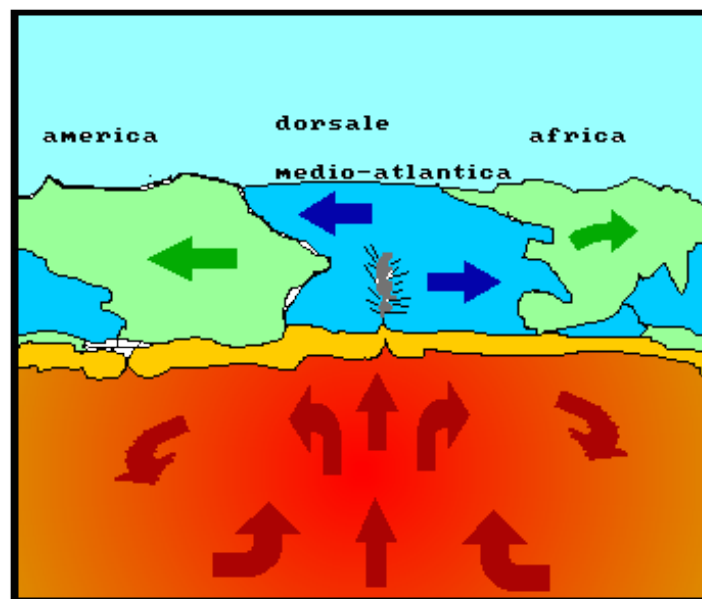
Le placche litosferiche possono comprendere contemporaneamente aree continentali e aree oceaniche, oppure solo le une o le altre. Tutta la crosta terrestre è divisa in un certo numero di placche o zolle semirigide, la cui dimensione e posizione cambiano nel tempo. Esse si muovono una verso l'altra ed i loro confini, scontrandosi diventano sedi di terremoti, fenomeni vulcanici ed orogenetici (formazione di montagne). Le placche sono formate da litosfera, lo strato più rigido della Terra formata dalla crosta e dalla parte superiore del mantello, e "galleggiano" sull'astenosfera, che è uno strato del mantello meno denso che può scorrere con un movimento simile a quello del dentifricio che esce dal tubetto.

Il geofisico francese Le Pichon propose nel 1968 un modello di tettonica globale basato su sei placche (America, Eurasia, Africa, India, Antartide e del Pacifico). Da allora sono state individuate molte altre placche, sei grandi (di Nazca, Somalia, delle Filippine, Arabia, di Cocos, Caraibica), e alcune altre minori (Cina, Persia, Turchia, Tonga, dell'Egeo, dell'Adriatico, Nuove Ebridi, Juan de Fuca, Rivera e Scotia). Le dimensioni sono quindi assai differenti. Ogni placca rigida si muove sull'astenosfera, più plastica, come un'unità a se stante rispetto alle altre, per cui le interazioni tra le placche avvengono lungo i loro margini: ed è proprio lungo questi margini dinamicamente attivi che si verificano la maggior parte dell'attività sismica della Terra, il vulcanismo e la formazione delle montagne. Nella seguente figura viene illustrato il modello di base del mosaico delle placche litosferiche.



Nella teoria lo strato superficiale della Terra viene suddiviso in dodici placche litosferiche distinte.

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 finchè si raffredda e si condensa deviando nuovamente per completare il ciclo.

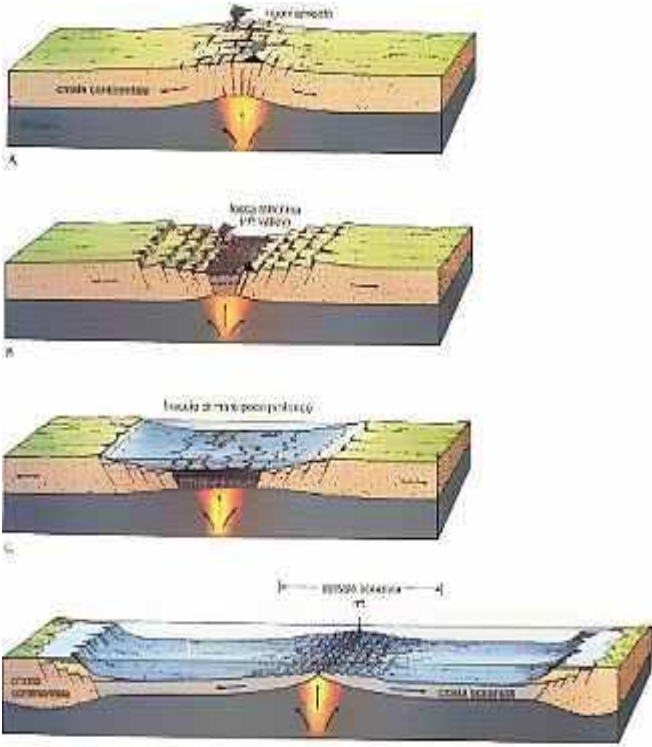


Risulta chiaro che il massimo degli effetti connessi con il movimento delle placche non si manifesta all'interno delle placche stesse, ma nella zona esterna, ossia in quelle zone denominate "margini di placca". Di tali margini se ne distinguono tre tipi fondamentali: i margini divergenti o di accrescimento, coincidenti con le dorsali medio oceaniche; i margini convergenti o distruttivi, coincidenti con le fosse oceaniche e le zone di subduzione; i margini conservativi o trasformati, coincidenti con le faglie trascorrenti. Analizzeremo dettagliatamente tali margini.

margini divergenti : il luogo in cui avviene la nascita di un oceano

i margini divergenti corrispondono alle dorsali medio oceaniche. Alla loro formazione ed evoluzione è legata la formazione di un oceano secondo una successione di varie fasi:

1. Inarcamento iniziale. A causa di una risalita di magma dalle zone profonde (*pennacchio caldo*), si forma un'area più calda del normale nel mantello e quindi una diminuzione di densità. Per il principio dell'isostasia si ha un inarcamento della crosta continentale sovrastante, che provoca numerose fratture. La cella convettiva di risalita, generata sotto il continente, è il *centro di espansione*.
2. Fossa tettonica. La divergenza sotto il continente tende ad allontanare i frammenti di litosfera fratturata, spinti anche dal magma in risalita. Si crea così uno spazio dove i blocchi fratturati sprofondano per il riequilibrio isostatico, formando grandi valli a gradinata, limitate da faglie, le *fosse tettoniche* (*rift valley* o *rift*). La grande Rift Valley dell'Africa orientale rappresenta una struttura di questo tipo. Si tratta di una lunghissima frattura della crosta terrestre, che prende origine dal Mozambico e si estende verso nord fino all'Eritrea, terminando nel Mar Rosso



Fiumi, laghi allungati, laghi salati. Lungo la fossa tettonica si formano corsi d'acqua che, localmente, si allargano a formare laghi di forma stretta e allungata. Nelle zone più depresse, se non c'è un emissario i bacini diventano salati a causa dell'evaporazione dell'acqua. Esempi di laghi tettonici allungati sono i grandi laghi dell'Africa orientale (Turkana, Edoardo, Alberto, Kivu, Tanganica, Niassa e pensa, è proprio qui che sono vissuti i nostri più lontani antenati!!!!), e il lago Bajkal, in Siberia. In corrispondenza delle fosse tettoniche avvengono terremoti a ipocentro superficiale, mentre lungo le fratture tra i blocchi possono iniettarsi magmi di origine profonda, che fuoriescono dando luogo a manifestazioni vulcaniche basiche. In superficie si osservano eruzioni lineari con attività effusiva tranquilla



3. Mare stretto. La *rift valley* procede nella sua espansione, giungendo fino all'oceano; perciò è invasa dalle acque marine, divenendo un braccio di mare lungo e stretto come il Mar Rosso, originato dalla separazione

della Penisola Arabica dall'Africa.

I bordi dei due blocchi continentali ormai sono troppo lontani dal centro di espansione per cui, raffreddandosi, si abbassano, permettendo ai fiumi di riversare i loro sedimenti nel fondo marino e provocando un'ulteriore sprofondamento del fondale. Il fondo si accresce continuamente perché nuova lava basaltica proveniente dall'astenosfera occupa lo spazio lasciato vuoto dall'allontanamento delle placche.

4. Dorsale oceanica. È la struttura vulcanica lungo la quale avviene l'allontanamento delle due placche con velocità che va dai 2 ai 10 cm all'anno, e luogo di risalita del magma che va a formare il pavimento del nuovo mare. Proprio a causa del magma, la dorsale si presenta rilevata rispetto al fondale.
5. Espansione del fondo oceanico. Successivi allontanamenti e riempimenti aggiungono continuamente nuova litosfera oceanica tra le due placche divergenti, formando un ampio bacino oceanico, come l'Oceano Atlantico.

Le
al
km.



dorsali oceaniche sono tra le più grandi catene montuose della Terra, che attraversano in modo continuo gli oceani Atlantico, Indiano, Antartico e Pacifico, per una lunghezza totale di quasi 80.000 km. L'altezza, rispetto fondo marino può raggiungere i 3000 m, per una larghezza anche di 1500 La cresta della dorsale presenta uno sprofondamento di circa 2 km, largo

dai 20 ai 40 km, che è la *rift valley*, perpendicolarmente interrotta da una serie di faglie trasformi. Generalmente la dorsale si trova a 2500 m sotto il livello del mare, ma può anche emergere, come accade in Islanda, o formare isolette vulcaniche, come le Azzorre.

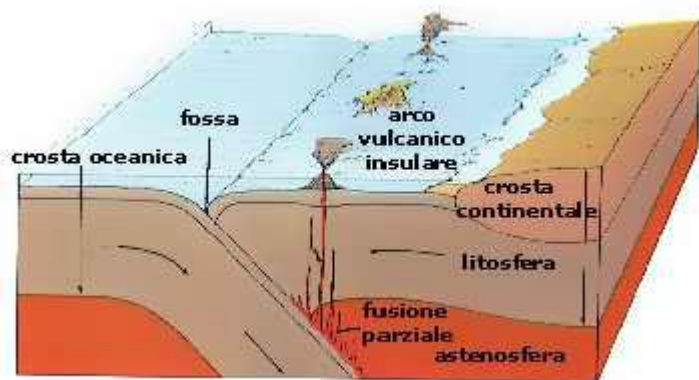
La *rift valley* delle dorsali è caratterizzata da elevato flusso di calore e da attività vulcanica effusiva, dovuta al fatto che, a causa dell'allontanamento delle placche, si ha una diminuzione della pressione litostatica, con conseguente fusione delle peridotiti del mantello e quindi risalita di magma basico.

Lungo le dorsali si verificano terremoti superficiali (al massimo 10 Km di profondità ipocentrale), spiegabili con le tensioni che si verificano in seguito all'allargamento delle rift valley e la conseguente risalita di magma.

margini convergenti

Nelle dorsali c'è continua formazione di crosta oceanica, perciò da qualche altra parte ci deve essere consumazione di crosta. Questo si verifica quando due placche convergono a causa della corrente discendente delle celle convettive. Quando questo evento si verifica, darà luogo a effetti differenti a seconda del tipo di placche che convergono. Abbiamo allora tre differenti situazioni possibili: le due placche sono entrambe formate da crosta oceanica, una da crosta oceanica ed una da crosta continentale, entrambe da crosta continentale. Analizziamo singolarmente tali possibilità e vediamo quali eventi ci possono spiegare.

Convergenza tra due placche con crosta oceanica: sistemi arco-fossa



Quando due placche presentano entrambe crosta oceanica, una delle due, quella un po' più densa, subduce sotto l'altra in corrispondenza di una fossa.

La rigida placca che sprofonda (si pensa che scenda fino a 700 km prima di essere completamente assimilata nel mantello) si riscalda a causa del gradiente geotermico, diventando più plastica. Il materiale fuso tende a salire perché è diventato meno denso rispetto alla zona circostante, generando un'attività plutonico-vulcanica sopra il piano di Benioff, accompagnata da terremoti. In questo modo, sulla placca rimasta in superficie, si forma una serie di vulcani allineati, chiamata arco magmatico.

L'associazione di fossa di subduzione e arco magmatico è detta sistema arco-fossa, come la cintura di fuoco circumpacifica. La zona di subduzione, o *piano di Benioff*, è situata sotto la parete interna della fossa. A causa dell'attrito tra le due placche, lungo il piano si verificano terremoti con ipocentro che si approfondisce man mano che ci si allontana dalla fossa. La profondità massima dei sismi è di circa 700 km perché, oltre tale profondità, la crosta è ormai diventata troppo plastica.

Durante la discesa, i sedimenti presenti sulla crosta che subduce vengono in parte trascinati in profondità, e in parte impilati nelle fosse, mescolati ai sedimenti terrigeni e piroclastici provenienti dall'arco vulcanico adiacente. Un margine di questo tipo è quello che troviamo lungo la costa pacifica dell'Asia in corrispondenza dell'arcipelago giapponese. La seguente figura ce lo rappresenta, mentre la successiva ci fornisce uno schema che ne riassume la situazione.





La fossa oceanica è una struttura larga 50 - 100 km e profonda, per definizione, più di 6 km. Sono diffuse nell'Oceano Pacifico, ma anche in Indonesia, nelle Antille, nel mar Egeo, ma non sono presenti al centro degli oceani. Le fosse sono simili per struttura, ma diverse per contenuto di sedimenti, perché quelle che si trovano vicine al continente americano sono ricche di depositi terrigeni portati dai fiumi, mentre le altre ne sono quasi prive. L'intervallo arco-fossa è il raccordo tra la zona di subduzione e l'arco magmatico. Nei sistemi arco-fossa la distanza tra la fossa e l'arco vulcanico varia da 100 a 300 km, secondo l'inclinazione del piano di Benioff. L'arco magmatico o *arco vulcanico*, è costituito da fasce vulcaniche parallele alle fosse. Si forma perché la crosta basaltica che sprofonda è riscaldata fino alla fusione a causa del gradiente geotermico, della compressione delle rocce e per l'attrito. La presenza di acqua, inoltre, abbassa il punto di fusione della roccia. Il magma fuso risale formando all'inizio dei coni sottomarini, emergendo poi per formare delle isole vulcaniche, che possono unirsi tra loro. Il vulcanesimo è caratterizzato da eruzioni esplosive con magma medio-acido, prevalentemente di tipo andesitico e di origine anatettica. L'aumento del contenuto in silice, rispetto al basalto che è sprofondato, dipende dalla presenza dei sedimenti che sono stati subdotti con la crosta. Sono presenti anche intrusioni di granito, diorite e gabbro, insieme a rocce metamorfiche di origine sedimentaria. L'area retroarco è generalmente occupata da un bacino marginale, compreso tra l'arco e il continente, come quelli presenti nel Pacifico, nel mar del Giappone, ecc. Con il passare del tempo, l'accumulo dei sedimenti lungo le fosse, insieme alle rocce prodotte nell'arco vulcanico, porta ad un ampliamento dell'intervallo arco-fossa, di circa un chilometro ogni milione di anni, per la migrazione della fossa verso l'oceano e dell'arco in direzione opposta.

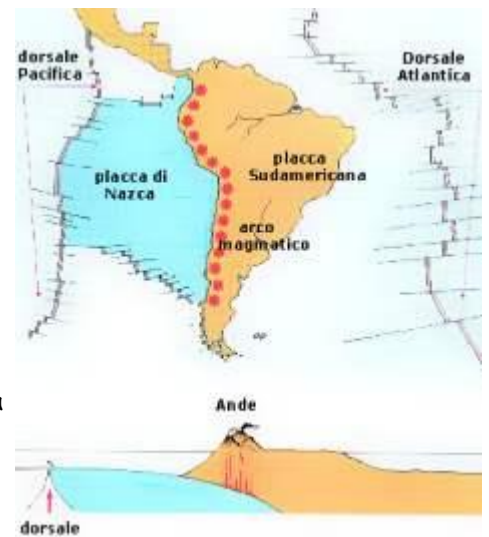
Convergenza tra una placca oceanica con una continentale: sistema fossa-cordigliera

Una placca oceanica è formata da materiale più denso e pesante di una placca continentale, per cui quando avviene la convergenza tra placche di natura differente, la placca più densa tende a sotto scorrere rispetto alla meno densa, generando una fossa lungo la zona di collisione tra le due placche, ed individuando un margine oceanico attivo ed un margine continentale passivo.

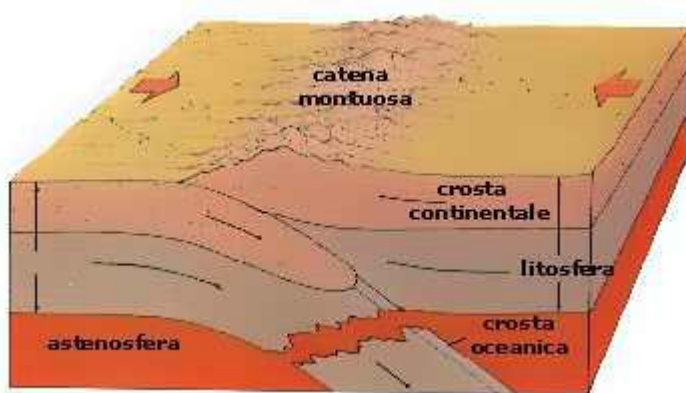


Il primo stadio dello sviluppo di una catena montuosa si ha in corrispondenza del margine continentale, che è ancora passivo. Lungo il margine continentale passivo si accumula uno spesso *prisma di sedimenti* (arenarie, calcari e argille), la cui superficie superiore costituisce la cosiddetta *piattaforma continentale*. Nel loro insieme, questi sedimenti corrispondono ai sedimenti depositi sul fondo oceanico che, a causa della loro bassissima densità, non vengono trascinati dal movimento di subduzione della placca oceanica, ma si accumulano lungo il margine continentale passivo.

Come nel caso precedente, si forma il piano di Benioff, solo che i fenomeni si verificano sul continente. Il limite della zona di sprofondamento è rappresentato da una fossa oceanica, lungo la quale si verificano terremoti a ipocentro sempre più profondo, man mano che ci si allontana dalla fossa e si è all'interno del continente. La placca che discende fonde, generando lava di tipo andesitico. Durante la risalita, parte di esso rimane imprigionato nella crosta continentale formando batoliti, che la sollevano e la ispessiscono. Il magma che giunge in superficie dà origine ad effusioni esplosive andesitiche. Si forma così un arco vulcanico lungo il bordo del continente. Nella subduzione vengono raschiati i sedimenti accumulati lungo il margine continentale, quando era passivo, e sono compressi e sollevati, dando origine a una catena a pieghe, la cordigliera (Ande, Montagne Rocciose canadesi). Nella montagna si riconoscono perciò sedimenti metamorfosati, uniti a rocce della crosta oceanica strappata dalla subduzione.



Convergenza fra placche continentali: montagne intracontinentali

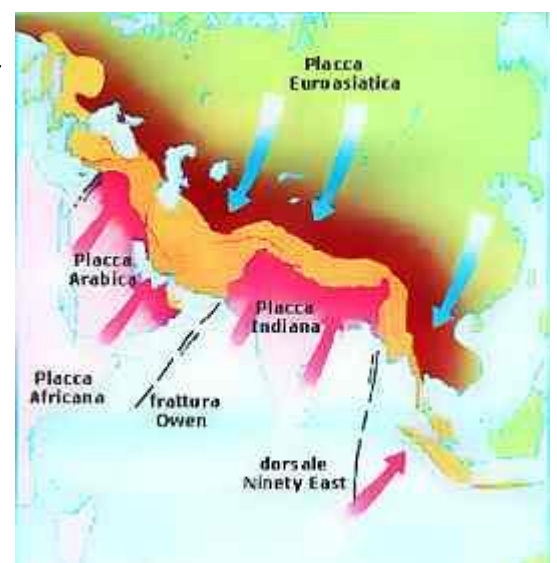


Quando entrano in collisione due placche continentali, a causa di correnti discendenti di celle convettive, nessuna delle due subduce completamente sotto l'altra, perché la crosta continentale è troppo leggera per affondare nelle rocce dense del mantello. Molto probabilmente, quindi, la subduzione riguarda solamente la parte più profonda della litosfera. Il risultato di questa convergenza è l'orogenesi di una catena montuosa intracontinentale. Prima che le due masse continentali convergano, sono separate dalla crosta oceanica formatasi nel corso di un precedente processo di espansione del fondo oceanico. La collisione tra due placche con crosta continentale è perciò preceduta dalla

convergenza tra *crosta continentale* e *crosta oceanica*. In questa fase si forma un arco magmatico sul bordo del continente antistante la fossa oceanica. Nella fossa oceanica si accumulano grandi quantità di sedimenti, ai quali si aggiungono quelli provenienti dall'erosione del nuovo arco magmatico. Quando i due continenti si stanno avvicinando, il bacino oceanico intermedio si chiude sempre più; la crosta oceanica si rompe in cunei che tendono ad accavallarsi verso la placca in subduzione, con conseguente formazione di rilievi e catene montuose sottomarine, che a volte possono emergere sotto forma di isole.

I continenti arrivano infine a collidere; i margini continentali, insieme alla crosta non subdotta, vengono compressi, frantumandosi in cunei che si accavallano provocando un ispessimento della crosta. Poiché i due blocchi continentali non possono sprofondare, il fenomeno di convergenza si blocca, e si ha un innalzamento delle falde per compensazione isostatica, con la conseguente formazione di una catena montuosa intracontinentale, dal momento che ora abbiamo un unico continente.. Esempi di convergenza sono le Alpi, gli Appennini, le Dinaridi, l'Himalaya.

Lungo questa fascia l'attività vulcanica è molto attenuata e quasi ovunque estinta, mentre rimane forte quella sismica. Si tratta evidentemente di assestamenti delle masse rocciose recentemente sollevate, che si manifestano con sismi poco profondi o di profondità intermedia. Una volta che si è formata la catena montuosa, la crosta è ormai troppo spessa, tanto da impedire il movimento di convergenza. Perciò, probabilmente, la litosfera si romperà in un altro punto di debolezza, probabilmente ai margini del continente, riprendendo un movimento di convergenza tra una placca



oceanica e quella del continente. A questo punto inizia il processo erosivo, con conseguente sollevamento isostatico, per l'alleggerimento della catena, finché non si arriverà ad avere delle dolci colline. Secondo gli studiosi, l'intero ciclo orogenetico abbraccia un periodo di tempo di circa 300 milioni di anni.

I margini trasformati

La dorsale, come accennato in precedenza, è interrotta e dislocata da zone di frattura, che in alcuni luoghi determinano alte e scoscese pareti sottomarine. La morfologia di queste zone di frattura può essere piuttosto complessa, con scarpate, depressioni e rilievi.

Le faglie sono diverse dalle normali faglie trascorrenti, perché non continuano all'interno dei continenti, e i terremoti non si sviluppano su tutta la lunghezza. Le aree, infatti, sono interessate da fenomeni sismici con epicentro superficiale, localizzati esclusivamente nella zona della faglia compresa tra i due tratti dislocati della *rift valley*. All'esterno dei tronconi di dorsale la frattura diviene sismicamente inattiva, perché è una normale faglia verticale, dove non ci sono movimenti reciproci fra i blocchi; i movimenti si hanno soltanto nel tratto all'interno dei due tronconi, con direzione opposta rispetto ad una faglia trascorrente.

Queste faglie non sono la causa della dislocazione dei vari tronconi di dorsale, ma rappresentano la conseguenza dell'espansione dei fondali oceanici avvenuta in corrispondenza di ciascun troncone, e dimostrano che l'espansione dei fondali oceanici avviene per fasce separate.

Nel margine trasformato le due placche scivolano l'una rispetto all'altra, senza che vi sia né produzione di crosta, come avviene nelle dorsali oceaniche, né distruzione di crosta, come nelle zone di subduzione.

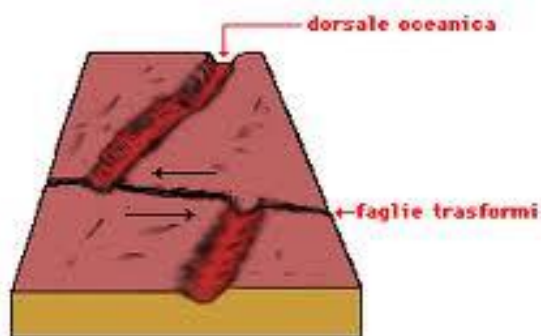
Oltre all'attività sismica superficiale, non si verificano fenomeni endogeni di rilievo tranne che a volte è presente qualche vulcano sottomarino.

Un margine trasformato può connettere due zone divergenti, come nel caso delle faglie oceaniche trasformate, oppure una zona divergente ed una convergente, oppure due zone convergenti.

I margini trasformati sono presenti solamente nelle aree oceaniche, con un'unica eccezione: la faglia di S. Andreas, in California. Essa collega un margine divergente (la dorsale medio-Pacifico) con un margine convergente (l'arco vulcanico Nord Americano). Una parte della California si è già staccata, ed è prevedibile che diventerà un'isola del Pacifico.

Nelle fasi iniziali di apertura di un oceano le faglie interessano direttamente il continente. In questo caso, il margine continentale trasformato è caratterizzato da ripide scarpate tra continente e oceano. Esempi di margini continentali trasformati si trovano sulla costa africana tra Liberia e Camerun, cioè il lato settentrionale del Golfo di Guinea, e sulla costa brasiliana tra Recife e la Guyana.

L'esistenza delle faglie trasformate è dovuta alla sfericità della Terra. Infatti, due placche che si allontanano tra loro hanno velocità uguali rispetto al margine se sono su un piano, ma diventano diverse in base alla latitudine se sono su una sfera, perciò si producono fratture trasversali. Di seguito trovi uno schema relativo alla faglia trasformata, in cui è evidenziata la zona sismicamente attiva (quella in cui sono presenti le due frecce). Inoltre c'è anche una foto relativa alla faglia trasformata più famosa del mondo: la faglia di S. Andreas in California.



La tettonica delle placche ed il futuro

Finora abbiamo visto quello che è successo nel passato ma cosa succederà in futuro? Difficile dirlo, ma noi tenteremo lo stesso di immaginare l'evoluzione della superficie terrestre sicuri di non essere smentiti dai fatti. E' probabile che in un lontano futuro esseri viventi più evoluti dell'uomo assisteranno alla formazione di nuovi oceani e di nuove montagne nati dal continuo frammentarsi e raggrupparsi di blocchi continentali.

Se il modello della tettonica delle placche è esatto l'Oceano Pacifico in futuro dovrebbe ridursi di dimensioni fino a diventare, entro una cinquantina di milioni di anni, un semplice lago anche se di notevoli dimensioni, mentre l'Atlantico assumerà il ruolo di maggiore oceano della Terra. Il progredire della *rift valley* africana produrrà un mare e staccherà la parte nord orientale dal resto del continente come in precedenza si era staccato il Madagascar. Altri movimenti delle placche separeranno un lembo della California dall'America del nord che diventerà un'isola abbandonata alla deriva nel Pacifico. L'Australia si staccherà dall'Antartide ed inizierà a viaggiare verso l'Asia sud orientale dove schiaccerà le isole indonesiane che si trasformeranno in catene montuose.

Cambieranno le cose, e in modo non positivo, anche vicino a casa nostra. La zolla Africana, spingendo verso nord ridurrà le dimensioni del Mediterraneo e ripiegherà l'Italia fino a farle assumere una posizione quasi parallela all'equatore. La Grecia sarà compressa fino ad essere portata a ridosso della Turchia e il mare Egeo diventerà un lago. In compenso si allargherà il mar Rosso da cui è destinato ad originarsi un nuovo oceano.

In un lontano futuro nuove fosse di subduzione si formeranno lungo le Americhe e intorno all'Australia quando vecchi fondali carichi di sedimenti sprofonderanno nel mantello. Frattanto il movimento delle zolle in subduzione consumerà la crosta oceanica costringendo gli oceani Atlantico e Indiano a restringersi. Forse nuove fosse tettoniche torneranno ad espandere l'oceano Pacifico mentre il viaggio della California verso nord finirà contro la costa dell'Alaska e verrà incorporata in una nuova catena montuosa. L'Africa penetrando nell'Europa chiuderà definitivamente il Mediterraneo e si formerà un unico continente a nord comprendente Africa, Europa, Asia e Australia, preludio ad una futura Pangea. Il ciclo quindi si ripeterà anche se la sua storia sarà ben diversa da quella già vissuta.

conclusioni

Qualcuno di voi potrebbe pensare: Vabbé ma a noi che ce ne cale?? Ce ne cale moltissimo, soprattutto se consideriamo che siamo parte di un contesto ambientale molto, ma molto complesso, accanto al quale le nostre miserie, le nostre passioni, i nostri comportamenti scompaiono letteralmente. Ed allora? Ed allora perché dannarci, arrampicarsi, corrompere o essere corrotti, odiarsi o essere odiati se tutto comunque si svolge secondo meccanismi in cui il nostro intervento è del tutto trascurabile? Ognuno risponda come meglio crede.

Ciao Ciao

Roberto Moresi

