

LA DERIVA DEI CONTINENTI

LA LEZIONE

INTRODUZIONE

La formulazione della teoria sulla deriva dei continenti, come vedremo, ha rappresentato per le Scienze della Terra una vera e propria rivoluzione scientifica. L'idea che la configurazione attuale dei continenti non sia stata sempre la stessa è un concetto che oggi non ha bisogno di dimostrazione. Eppure tale teoria ha scatenato feroci discussioni e accese battaglie per circa cinquanta anni, basti pensare che fino al 1950 è stata relegata a concetto del tutto irrealista!

Oggi i bambini imparano tale teoria sin dalla scuola elementare. Un ruolo di primaria importanza per la sua divulgazione scientifica è stato ricoperto da cartoni animati quali "Il treno dei dinosauri" o film quali "L'era glaciale 4 - Continenti alla deriva" (Titolo originale *The Ice Age The Continental Drift*; figura 1). Nell'ultimo episodio dell'era glaciale, tale teoria viene spiegata in modo fantasioso e divertente pur mantenendo un fondo di scienza.



Scrat, uno scoiattolo dai denti a sciabola, cercando di seppellire la sua ghianda, un bene prezioso, apre una fenditura profonda nella terra, innescando così la deriva dei continenti. In pochi secondi la separazione del supercontinente porta gli amici storici Manny, Sid e Diego su continenti diversi (circa 200M di anni fa). **Nella realtà sappiamo** che la separazione delle placche è avvenuta in decine di milioni di anni e il loro spostamento, è diverso per ognuna. I continenti inoltre nel film prendono immediatamente la configurazione attuale mentre è provato che ciò è avvenuto dopo numerosi passaggi. Infine gli sceneggiatori scelgono un finale che dona riposo ai continenti e ai loro abitanti, mentre possiamo affermare con ragionevole certezza che la scena futura vedrà la formazione di un nuovo supercontinente fra circa 250 milioni di anni.

fig.1 La locandina del film "L'era glaciale 4"

IL PUZZLE INFINITO

Contrariamente a quanto riconosciuto oggi, gli scienziati in passato hanno vissuto per molti secoli nella convinzione che il Pianeta Terra fosse una massa stabile che non aveva subito processi di trasformazione. Fino agli anni cinquanta si è creduto che i continenti e gli oceani presenti sulla Terra avessero presentato una configurazione nel tempo sempre uguale a se stessa. Oggi gli studi scientifici dimostrano che il pianeta Terra è vivo e in continua evoluzione. Gli scienziati sostengono, inoltre, che la posizione delle terre emerse non è fissa e che la conformazione attuale dipende da porzioni di litosfera in continuo avvicinamento o allontanamento reciproco. Cosa ha portato al capovolgimento di tali idee?

UNA STRAORDINARIA SOMIGLIANZA

Un periodo molto lungo, compreso fra il XVII e il XIX secolo, vede insinuarsi in diversi scienziati l'ipotesi che un tempo i continenti avessero un aspetto diverso da quello che si poneva sotto i loro occhi.

I primissimi accenni alla deriva dei continenti si possono far risalire alla fine del '500, quando un cartografo olandese **Abraham Ortelius**, suggerì che le Americhe furono spinte via dall'Europa e dall'Africa a causa di terremoti e di alluvioni.

All'inizio del diciassettesimo secolo i viaggi intrapresi dai grandi esploratori avevano permesso di comporre mappe geografiche piuttosto dettagliate. L'osservazione e lo studio di tali mappe portò nel 1620 l'astronomo inglese **Francesco Bacon** a notare la grande affinità esistente fra le coste Sudamericane e quelle Africane. Egli, anticipando i suoi successori, ipotizzò che un tempo quelle terre potevano essere state unite.

Successivamente altri scienziati sostennero la possibile separazione di continenti un tempo uniti, ma le loro ipotesi vennero accolte freddamente.

Ad esempio, François Placet nel 1666 ipotizzò la possibile unione dei continenti rimasta tale fino all'arrivo del Diluvio Universale. Durante l'ottocento **Georges Louis Le Clerc conte di Buffon** nella *Histoire de la terre* (1749) sostenne l'unione del continente Americano ed africano su basi paleontologiche: pochi anni dopo, **Alexander von Humboldt** suppose che i due continenti fossero un tempo uniti, e si sarebbero separati a causa di un'imponente corrente marina che avrebbe scavato una valle occupata oggi dall'Oceano Atlantico.

Nel 1858 anche **Antonio Snider Pellegrini**, attraverso la pubblicazione "*La création et ses mystères dévoilés*" ipotizzò che i continenti fossero in passato un unico continente, successivamente smembrato. Egli ipotizzava come illustri predecessori l'inizio della separazione in seguito al Diluvio Universale. Nella figura 2 è riportata la mappa disegnata dallo scienziato in cui Europa e America furono rappresentate un tempo unite.

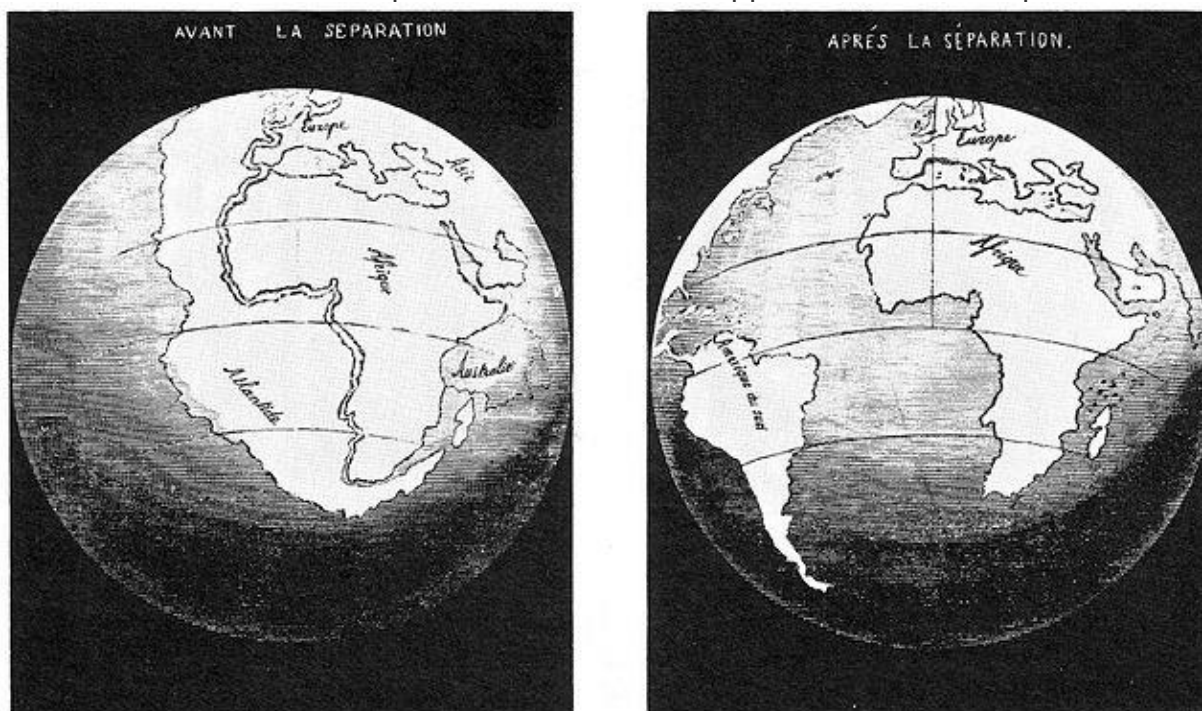


fig.2 Mappa disegnata dallo Antonio Snider Pellegrini in cui America e Africa sono rappresentate prima e dopo la separazione

Nel 1885 tale studio fu ampliato da **Eduard Suess**, un geologo e paleontologo di origine austriaca. Oltre alla somiglianza dei confini, egli portò come prova la similitudine fra i fossili. L'analisi di quest'ultimi portava ad ipotizzare che i continenti dell'emisfero meridionale fossero uniti in un unico grande ammasso di terra, chiamato **Gondwana**.

Negli stessi anni **Charles Robert Darwin** un naturalista e biologo di origine britannica portava avanti i suoi studi sulla teoria dell'evoluzione della specie (1859), che rappresentavano una rivoluzione in campo naturalistico. Infatti Darwin non credeva alla teoria creazionista in cui l'uomo e gli esseri viventi erano stati creati così come appaiono ad opera di un essere superiore. L'evoluzione, secondo Darwin, era il risultato di una serie di cambiamenti lenti e continui per lo più occasionali che erano avvenuti nel tempo e che avevano riguardato ogni essere vivente. Le teorie di Darwin non furono accolte bene. È facile immaginare quanto questi studi fossero rivoluzionari per l'epoca e quale peso avessero per l'intera comunità scientifica, ancora troppo influenzata dalla religione.

Nel 1912 **Alfred Lothar Wegener**, un geofisico e meteorologo tedesco, presentò la teoria sulla **deriva dei continenti** supportata da prove concrete e osservazioni, che pubblicò nel 1915 con il titolo "La formazione dei continenti e degli oceani" (*Die Entstehung der Kontinente und Ozeane*); figura 3). Wegener è oggi considerato il padre di tale teoria.

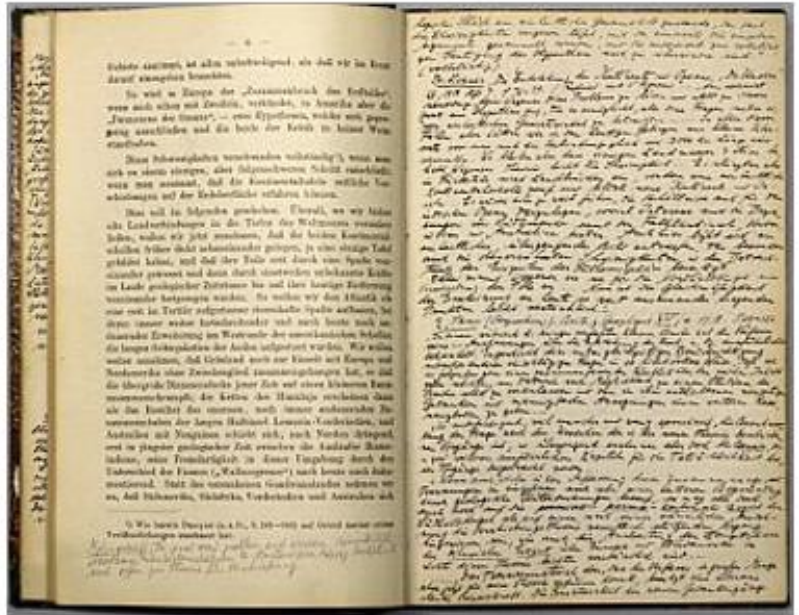


fig.3 **A sinistra**, Alfred Lothar Wegener; **a destra**, Due pagine della prima edizione del libro "Entstehung der Kontinente und Ozeane" in cui Alfred Wegener ha aggiunto a mano delle annotazioni

LA TEORIA DELLA DERIVA DEI CONTINENTI

Alfred Wegener nacque a Berlino nel 1880 e fu professore di meteorologia e geofisica all'università di Amburgo e successivamente di Graz. Partecipò a tre spedizioni in Groenlandia durante le quali si appassionò allo studio della crosta terrestre e alle sue forme. Egli avanzò l'ipotesi che a partire dal Permiano e in parte nel Triassico fosse esistito un supercontinente chiamato Pangea (dal greco "tutto terra"), circondato da un grande oceano chiamato Pantalassa. La porzione continentale fu denominata sial ed era costituita, secondo lo scienziato, da rocce leggere a composizione granitica che galleggiavano su un substrato denso denominato sima a composizione gabbriico-basaltica.

Secondo tale teoria, circa 220-200 milioni di anni fa la **Pangea** iniziò a frammentarsi con un movimento di tipo distensivo in due blocchi, in seguito chiamati **Laurasia** e **Gondwana** (vedi figura 4)

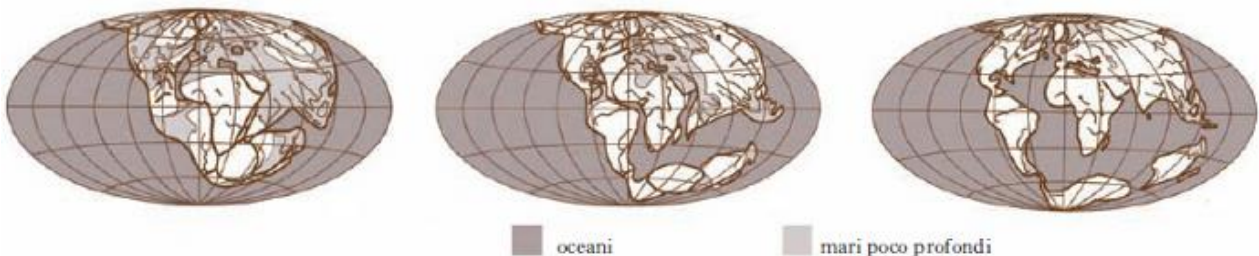


fig.4 La separazione del supercontinente secondo Wegener

Il Laurasia corrisponde oggi all'Europa, Asia e America settentrionale, mentre il Gondwana comprende America meridionale, Africa, Madagascar, India, Australia e Antartide. L'oceano che separava questi due continenti fu chiamato Tetide. Dopo la sua formazione il Laurasia iniziò uno spostamento verso Nord, mentre nel blocco del Gondwana iniziò una ulteriore frammentazione: il blocco costituito da Africa e America del Sud si separò dal blocco formato da Australia e Antartide. La frammentazione proseguì durante il Cretaceo e portò intorno a 80 milioni di anni ad una nuova suddivisione del continente settentrionale in due blocchi: il Nord-America e l'Eurasia. Fra i due continenti si aprì quello che noi oggi identifichiamo come oceano Atlantico settentrionale. Intorno a 60 milioni di anni, i due continenti continuarono a smembrarsi fino ad assumere la conformazione attuale (figura 4). Wegener ipotizzò inoltre che le catene montuose come ad esempio le Ande e le Montagne Rocciose fossero il risultato dell'attrito e dalla compressione della crosta (**sial**) sul mantello sottostante (**sima**); il sollevamento della catena Himalaiana fu invece imputato allo spostamento del blocco indiano verso nord.

Wegener presentò diverse prove a supporto della sua teoria, che si aggiungevano a quelle portate in precedenza da Francesco Bacone (somiglianza fra le coste) e da Eduard Suess (i fossili). Le principali prove furono: la compatibilità tra continenti per diversi aspetti, i cambiamenti climatici del passato e lo spostamento delle regioni polari della Terra, le testimonianze paleontologiche e geofisiche e la somiglianza di strutture geologiche. Sfortunatamente le prove presentate non furono sufficienti e la teoria fu fortemente criticata e ostacolata dagli scienziati geofisici dell'epoca. La

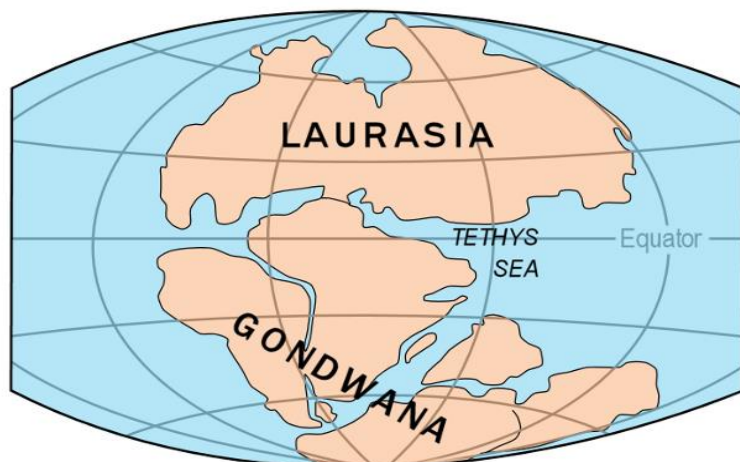
critica più dura riguardò la mancanza di una vera causa della deriva e del meccanismo in grado di azionarla. A tale critica Wegener provò a rispondere individuando nella rotazione terrestre il meccanismo responsabile della deriva dei continenti. In particolare egli dichiarò che la forza centrifuga originata dalla rotazione terrestre potesse aver spinto i continenti verso l'equatore. Inoltre egli sostenne che la causa della deriva dei continenti verso ovest fosse imputabile ad altre forze, come ad esempio l'attrazione luni-solare. Tale spiegazione fu considerata debole e limitata, insufficiente a condurre la comunità scientifica verso una visione mobilista del pianeta soprattutto se messa a confronto con le conseguenze in gioco. Inoltre Wegener non era stato in grado di spiegare perché il supercontinente sarebbe rimasto tale per 200 milioni di anni e avrebbe poi iniziato tutto ad un tratto il lungo processo di separazione e migrazione.

È importante notare che gli scienziati dell'epoca, fortemente legati alla tradizione divina, credevano nell'ipotesi immobilista (fissista) della Terra ed era per loro gravoso accettare l'idea contraria di un pianeta vivo e in movimento. La mobilità della crosta era ammessa solo per movimenti verticali, quali l'isostasia, e non per quelli orizzontali descritti dallo scienziato tedesco. Nel 1938 la società geologica tedesca affermò con vigore che la teoria non era valida in quanto era stata scoperta la dorsale medio-atlantica, interpretata all'epoca come una catena montuosa. Una catena montuosa era la testimonianza di uno scenario di tipo compressivo e, pertanto, il processo distensivo invocato da Wegener fra l'Africa e l'America meridionale fu considerato inaccettabile.

Alfred Wegener morì nel 1930 durante la terza spedizione in Groenlandia. Egli non vide mai accettata la sua teoria. Non tutti gli scienziati accantonarono l'idea di Wegener; **Alex Du Toit** diventò un discepolo di Wegener portando avanti i suoi studi e raccogliendo ulteriori prove a favore della sua teoria. Per prima cosa denominò i due continenti formati dalla scissione della Pangea in Gondwana e Laurasia e

chiamò Tetide l'oceano formatosi (figura 5).

Inoltre adattò i continenti non alle linee di costa, ma ai margini delle piattaforme continentali. Sfortunatamente ciò non fu sufficiente e dovette trascorrere un periodo lungo cinquanta anni colmo di scoperte e accesi dibattiti perché tale teoria fosse accolta dalla comunità scientifica.

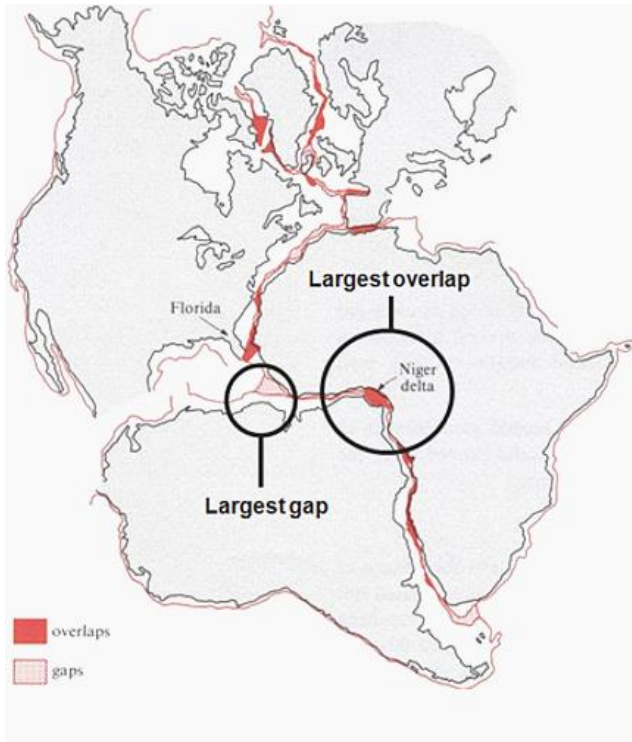


TRIASSIC
200 million years ago

fig.5 Ricostruzione dei due blocchi Laurasia e Gondwana

LE PROVE A SOSTEGNO DELLA TEORIA

Alfred Wegener trovò nella comunità scientifica diversi seguaci. Le prove a favore della sua teoria erano molteplici e inconfutabili. Il punto focale era rappresentato dal fatto che non fosse possibile immaginare uno scenario differente. Se il pianeta non avesse subito tali trasformazioni nel corso dei tempi, la comunità scientifica come avrebbe potuto spiegare la migrazione di alcune specie di animali attraverso il mare? O lo sviluppo di ghiacciai in Australia?



- La straordinaria somiglianza delle coste dei continenti. Wegener, come altri prima di lui, osservando la linea di costa dell' America meridionale e quella dell'Africa, cominciò a pensare che un tempo tali continenti potessero essere stati in qualche modo uniti. I geologi fecero numerose obiezioni attribuendo questo ad una coincidenza. I processi di erosione modificano in maniera continua la linea delle coste che pertanto risultano differenti da quelle del passato. Wegener nelle sue trattazioni faceva riferimento alla linea attuale delle coste, mentre oggi la corrispondenza viene effettuata seguendo le linee di costa al bordo esterno della piattaforma continentale, che si trova qualche centinaio di metri sotto il livello del mare (figura 6)

fig.6 La straordinaria corrispondenza delle coste delle due piattaforme continentali

- Prove di tipo geofisico. Per Wegener lo spostamento laterale era la spiegazione alla presenza di pieghe nelle catene montuose come le Alpi o le Ande, quindi riteneva inammissibile considerare fra i movimenti possibili per la crosta solo quello verticale, come l'isostasia. Il sial che galleggiava su una massa più densa poteva compiere sia movimenti verticali che orizzontali, responsabili appunto della deriva laterale dei continenti.

- Correlazioni strutturali e litologiche. La corrispondenza fra le coste dei continenti doveva prevedere anche la presenza di strutture geologiche e litologie simili lungo i continenti un tempo uniti. La tipologia di rocce e i ripiegamenti strutturali sui due lati dell'oceano Atlantico costituivano infatti un'ulteriore prova alla teoria della deriva dei continenti. Ne è un esempio la catena degli Appalachi che si estendono a sud-ovest degli Stati Uniti Orientali e si interrompono repentinamente all'altezza dell'isola di Terranova. Lo studio di Wegener portò ad identificare strutture rilevate simili agli

Appalachi per età e tipo di struttura in Groenlandia e in Europa settentrionale. In passato era pertanto verosimile l'ipotesi di un'unica catena montuosa che fu divisa in seguito dall'apertura dell'Atlantico. Ulteriori esempi sono le catene montuose presenti in Sud-Africa simili per struttura e litologia alla catena Argentina e a quella dell'Antartide. Gli scienziati dell'epoca criticarono anche questo punto sostenendo che le serie rocciose presentano composizione simile ma non uguale (figura 7).

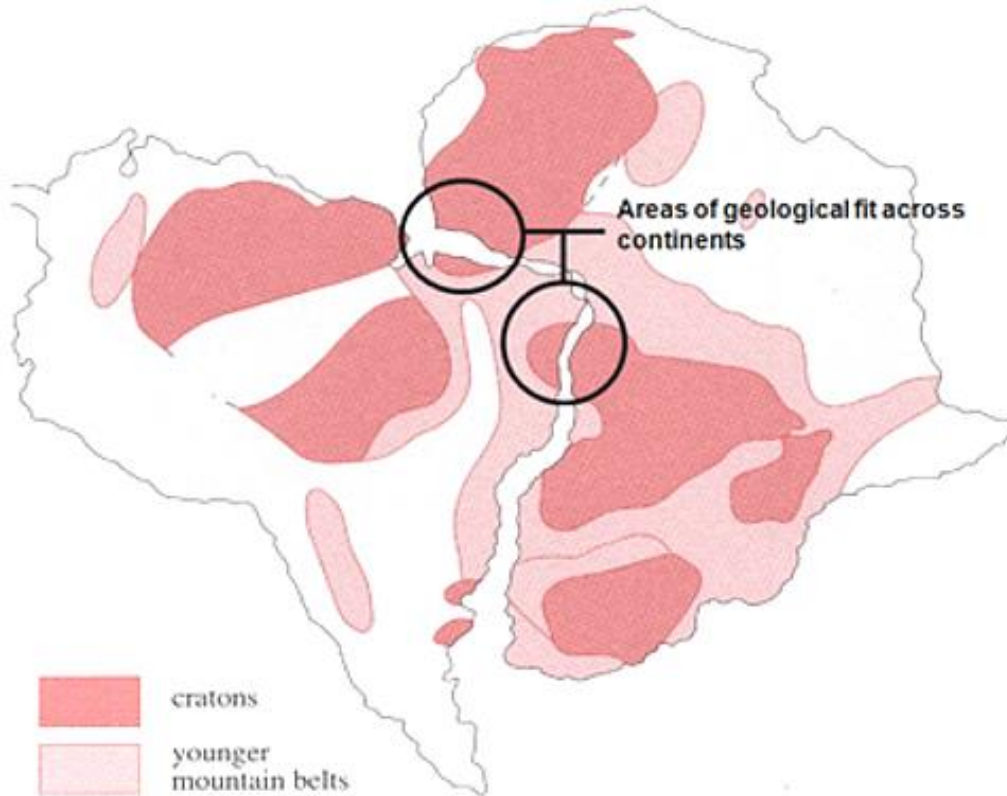


fig.7 Strutture geologiche simili nei due continenti oggi separati

- Le prove paleoclimatiche. Wegener era un meteorologo e nei suoi studi trovò alcune evidenze paleoclimatiche a sostegno della sua teoria. Verso la fine del Paleozoico coltri di ghiaccio coprivano vaste aree dell'emisfero meridionale del nostro pianeta. Lo studio dei depositi glaciali fossili evidenziava, infatti, la presenza di strati contemporanei di tillite glaciale (depositi originati dall'azione diretta di un ghiacciaio) in America meridionale, India e Australia. Attualmente queste aree sono in gran parte situate in una zona tropicale (entro i 30° dall'equatore). Secondo Wegener in quel periodo la copertura glaciale non poteva essere così ampia da coprire le regioni tropicali. Egli sosteneva, invece, che questi continenti fossero stati un tempo uniti e spostati verso Sud (figura 8). In tal modo si poteva giustificare lo sviluppo di calotte glaciali nell'emisfero meridionale e contemporaneamente lo sviluppo di foreste tropicali in zone limitrofe, poste allora in una fascia tropicale.

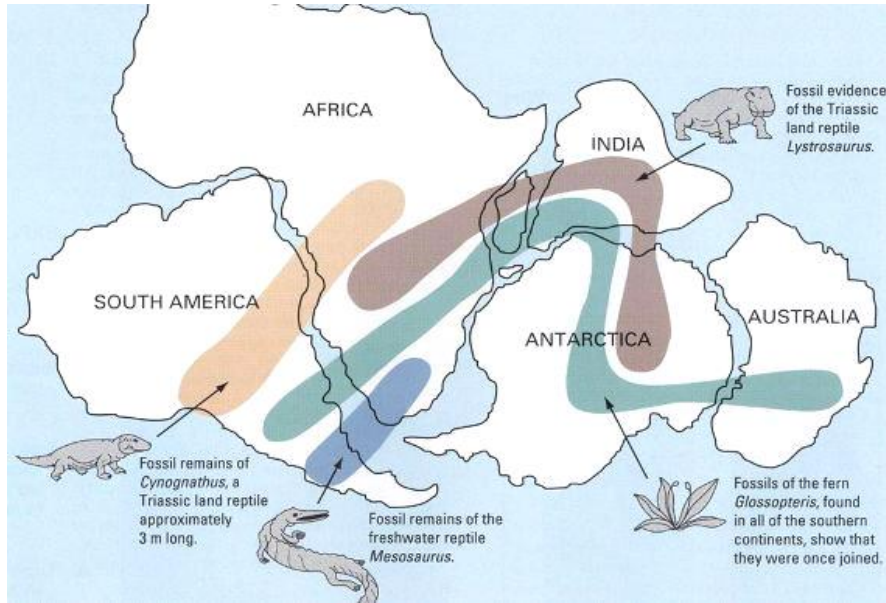


fig.8 Ricostruzione dei depositi glaciali nel Paleozoico secondo Wegener

• La testimonianza dei fossili. Wegener seguendo gli studi paleontologici dell'epoca si accorse di qualcosa di importante. I paleontologi spiegavano la presenza di fossili comuni in terre emerse ampiamente separate dal mare con la possibilità dell'esistenza di un collegamento, una sorta di ponte naturale, fra America e Africa. Wegener comprese che la presenza di questi fossili era spiegabile solo attraverso la sua teoria. Tali specie di origine animale e vegetale infatti non avrebbero mai potuto diffondersi attraverso i vasti oceani che separano i continenti. La flora a Glossopteris e il rettile Mesosaurus rappresentano due esempi. Durante il Mesozoico la felce fossile chiamata Glossopteris era largamente diffusa nei continenti meridionali (Africa, Australia e America del Sud) e in India. Secondo la teoria di Wegener tali continenti erano quelli che costituirono il Gondwana circa 200 Ma (figura 9).

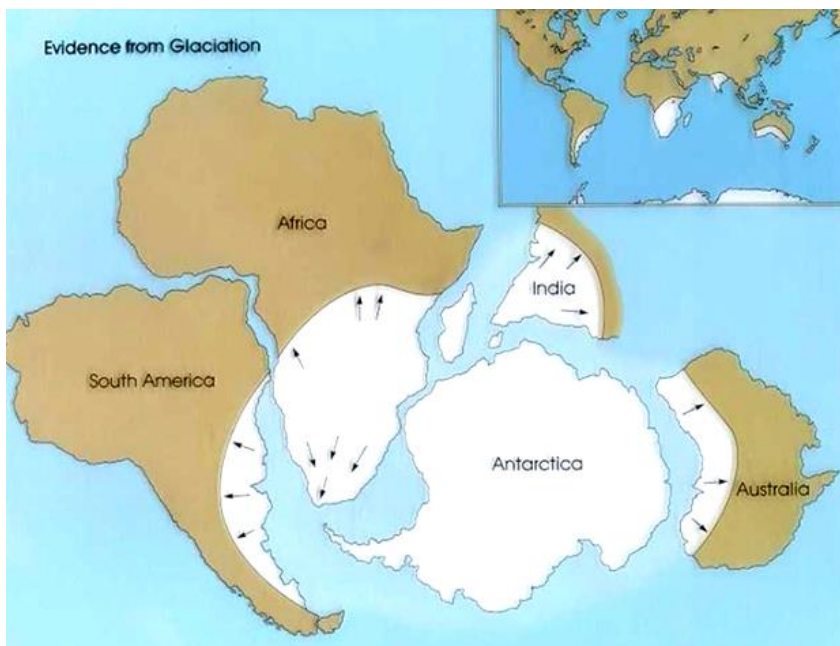


fig.9 Distribuzione di resti fossili che comprova la teoria di Wegener

I resti di uno stesso tipo di rettile il Mesosaurus, vissuto alla fine del Paleozoico, furono trovati sia in Sudafrica che in Brasile. L'ipotesi che si fosse sviluppato contemporaneamente uno stesso rettile in due aree distanti non era plausibile. Inoltre, il Mesosaurus era ritenuto in grado di nuotare in mari poco profondi ma non era ritenuto capace di attraversare un oceano. All'epoca era diffusa l'idea che la presenza di ponti continentali permettesse agli animali di effettuare migrazioni. Durante l'ultimo periodo glaciale, ad esempio, l'abbassamento del livello marino permise agli animali di attraversare lo Stretto di Bering che separa Asia e America settentrionale. Questo però non era sufficiente a spiegare la migrazione del Mesosaurus; non era infatti ipotizzabile un ponte continentale di dimensioni grandi come la distanza che separa America meridionale e Africa (figura 9).

La comunità scientifica in opposizione fece notare a Wegener che le specie di flora e fauna che vivevano in continenti diversi presentavano caratteristiche simili ma non identiche.

GLI ANNI DELLA GRANDE DISPUTA

Gli anni successivi alla morte dello scienziato furono anni importanti per le scienze della terra. Nuovi studi di geofisica, iniziati negli anni 30, portarono ad importanti scoperte sullo stato termico interno della terra prendendo in esame la radioattività naturale del pianeta con ipotesi su movimenti convettivi all'interno della Terra. Gli scienziati iniziarono in questi anni a comprendere che il mantello non era costituito da roccia solida ma plastica.

Nel 1929 lo scienziato inglese **Arthur Holmes** ipotizzò l'esistenza di correnti convettive nel mantello. Tale meccanismo poteva essere all'origine del movimento di deriva dei continenti. Holmes ipotizzò che la parte esterna della crosta è formata da tre involucri: la crosta che comprende lo stato superiore e intermedio e il substrato che comprende quello inferiore. Inoltre egli affermò che all'interno della terra ci potessero essere zone in cui il magma si muovesse, con andamento ascendente o contrario, in senso verticale e in senso orizzontale. Ogni cella convettiva era caratterizzata da un movimento di magma caldo in risalita che avveniva sotto le dorsali, seguita da un movimento orizzontale che allontana il magma dalla dorsale contribuendo al raffreddamento e all'aumento di densità. A questo punto si originava un moto discendente portava allo sprofondamento della crosta nelle fosse oceaniche (figura 10).

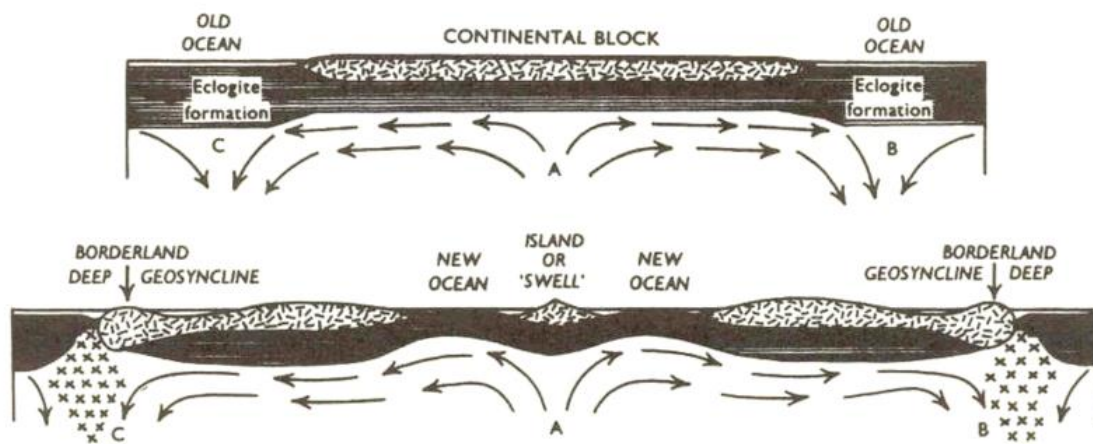


fig.10 Rappresentazione delle celle convettive ipotizzate da Holmes

Questa ipotesi rendeva plausibile la teoria della deriva secondo cui la corrente spostandosi lateralmente sotto il continente ne provocava il suo smembramento. Ancora una volta per la comunità scientifica questo non era sufficiente a sostenere una evoluzione dinamica della crosta terrestre. Ciò nonostante gli scienziati iniziavano ormai ad essere in fermento e, osservando i cambiamenti climatici, i movimenti dei ghiacciai ed i reperti fossili, non poterono più ignorare l'esistenza di una passata Pangea.

Pochi anni più tardi, nel 1935 **Kiyoo Wadati**, uno scienziato giapponese, affermò che i terremoti ed i vulcani situati vicino al Giappone avrebbero potuto essere correlati alla deriva dei continenti. Successivamente, nel 1940, lo scienziato David T. Griggs fu in grado di correlare la presenza delle correnti convettive con la distribuzione dei terremoti lungo fasce situate ai bordi dei continenti. Negli anni cinquanta gli studi di un altro scienziato americano, **Victor Hugo Benioff**, confermano l'osservazione fatta da Wadati secondo cui, in zone sottostanti aree di vulcanismo attivo, gli ipocentri dei terremoti sono allineati secondo piani inclinati di un certo angolo rispetto all'orizzontale. Lo studio dei terremoti di origine profonda fece comprendere che la loro distribuzione non è casuale bensì concentrata in fasce ben localizzate sulla superficie terrestre. Oggi sappiamo che tali fasce corrispondono alle dorsali oceaniche.

Agli inizi degli anni sessanta **Robert Sinclair Dietz** e **Harry Hammond Hess** quasi contemporaneamente sostennero che la crosta oceanica ha origine lungo le dorsali, zone a cui corrisponde il movimento ascendente delle celle convettive. Dietz circa un anno prima di Hess, nel 1961, aveva coniato il termine espansione dei fondali oceanici. In questo modo lungo le dorsali il magma in risalita creava nuova crosta oceanica. Gli studi successivi hanno evidenziato che le dorsali sono costituite realmente da rocce basaltiche. Hess nella *History of ocean basin* propose inoltre un modello in cui a partire dalla dorsale oceanica si ha la creazione di nuova crosta oceanica, che viene man mano allontanata dal luogo di origine per poi sprofondare in una fossa di subduzione (figura 11).

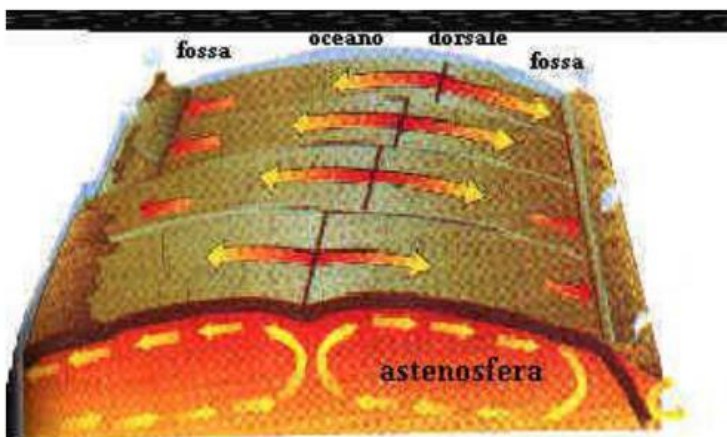


fig.11 Rappresentazione della teoria di Harry Hammond Hess

Egli mostrava come, ad esempio, la crosta originatasi nella dorsale del Pacifico orientale (East Pacific Rise), successivamente fosse distrutta nella fossa che si trova vicino alle Ande nel lato occidentale del Sud America. La teoria dell'espansione dei fondali sviluppata da Hess implicava anche lo spostamento dei continenti, spiegando

in tal modo la "deriva dei continenti". Hess ebbe successo dove Wegener fallì. Questo modello inoltre era in grado di spiegare la distribuzione dei vulcani e dei sismi profondi scoperta da Wadati e Benioff. L'immersione della litosfera in allontanamento sprofonda nell'astenosfera originando sismi e vulcani (figura 12).

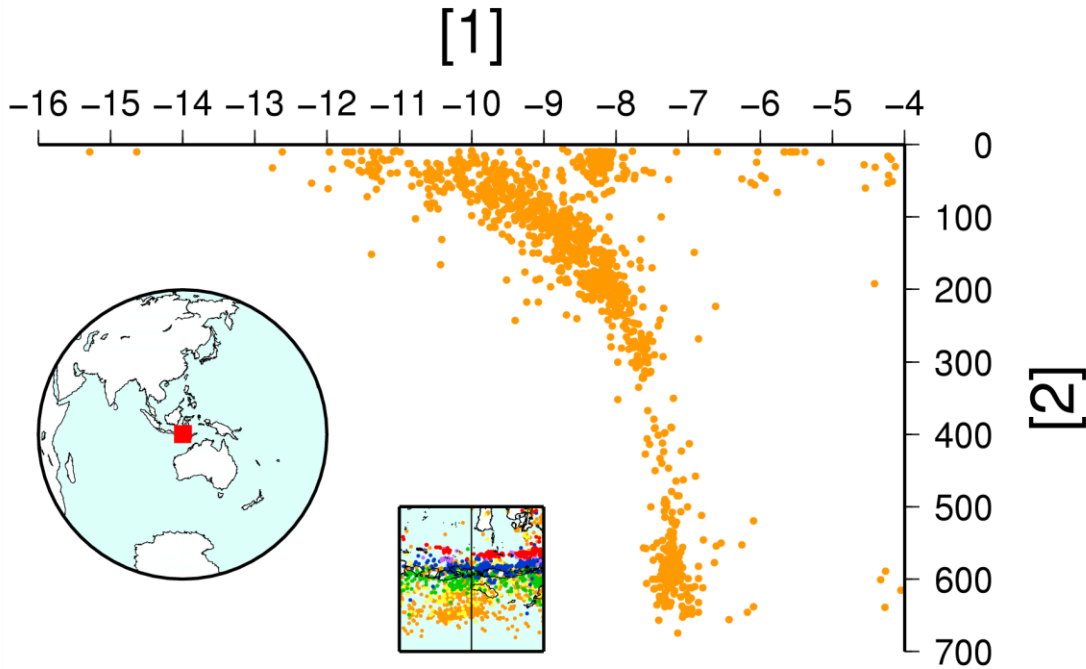


fig.12 Piano Wadati-Benioff evidenziato dagli ipocentri verificatisi nel periodo 1973-1994 nelle Isole Sonda

Questo avviene quando le placche oceaniche molto dense (fatte da rocce basaltiche) vengono spinte sotto le placche continentali meno dense (fatte di rocce costituite per lo più di materiale granitico). Il piano di scorrimento ipotizzato da Wadati e Benioff oggi da proprio il nome al piano inclinato dove la litosfera oceanica sprofonda sotto la crosta continentale ed rientra tra quegli elementi che costituiscono la cosiddetta zona di subduzione.

Un'altra importante scoperta segnò un significativo passo in avanti nella definizione della teoria sulla deriva dei continenti. Da tempo si era scoperto che alcune rocce vulcaniche avevano una direzione della magnetizzazione residua dei minerali contraria a quella del campo magnetico attuale. Si era ipotizzato quindi che il campo magnetico terrestre avesse subito delle continue oscillazioni di polarità nel corso del tempo. Due scienziati Frederick John Vine e Drummond Hoipsilonle Matthews nel 1963 identificarono questo fenomeno di fasce simmetriche di polarità magnetica lungo i due bordi opposti delle dorsali; gli scienziati ipotizzarono che partendo dall'asse della dorsale ciò avvenisse al continuo accrescimento del fondo oceanico (figura 13).

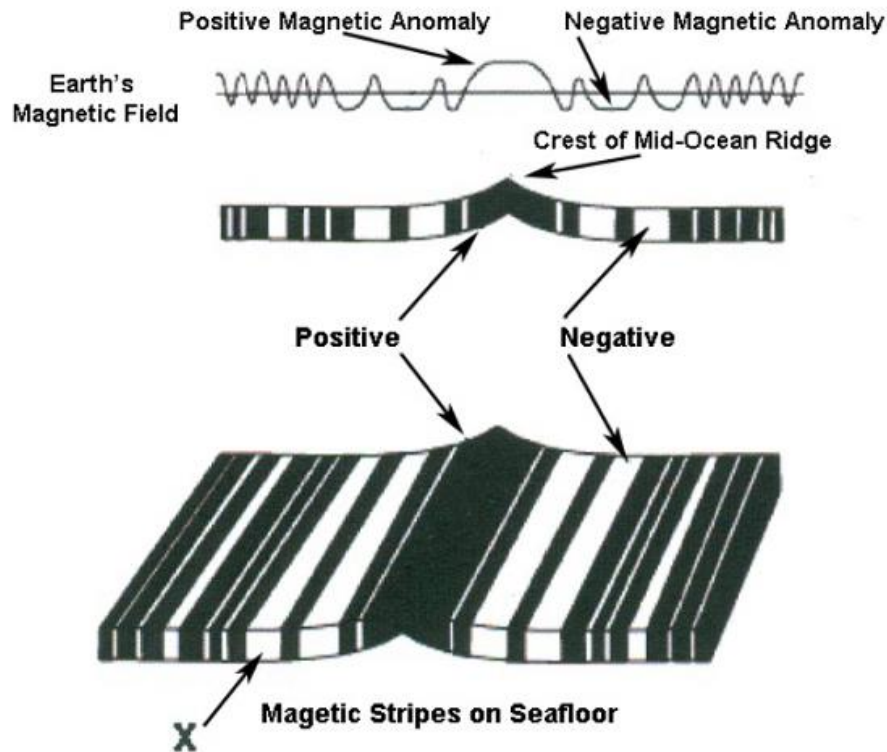


fig.13 Teoria di Vine e Matthews

Nel 1965, la teoria sulla deriva dei continenti e le scoperte effettuate in seguito portarono **John Tuzo Wilson** a scrivere un articolo nel quale si definiva in termini generali il concetto di Tettonica a placche. Tale teoria, derivante da cinquanta anni di studi e dibattiti feroci (appassionati), definisce che esiste una dinamica della porzione esterna della crosta. Lo studio della tettonica descrive lo strato superficiale della Terra diviso in dodici placche litosferiche distinte, ognuna di circa 45-65 miglia. Queste placche fluttuano sulla sottostante astenosfera plastica.

Alla luce di quanto detto fino ad ora e tenendo in considerazione il fatto che i continenti sono attaccati anche a zone oceaniche, solidali nel movimento, oggi si preferisce parlare di *tettonica delle placche* piuttosto che di "deriva dei continenti".