

Appunti di geologia globale

di Michele T. Mazzucato

Dalla *teoria della deriva dei continenti* passando per l'*espansione dei fondali oceanici* e approdando alla *teoria della tettonica a placche litosferiche*.

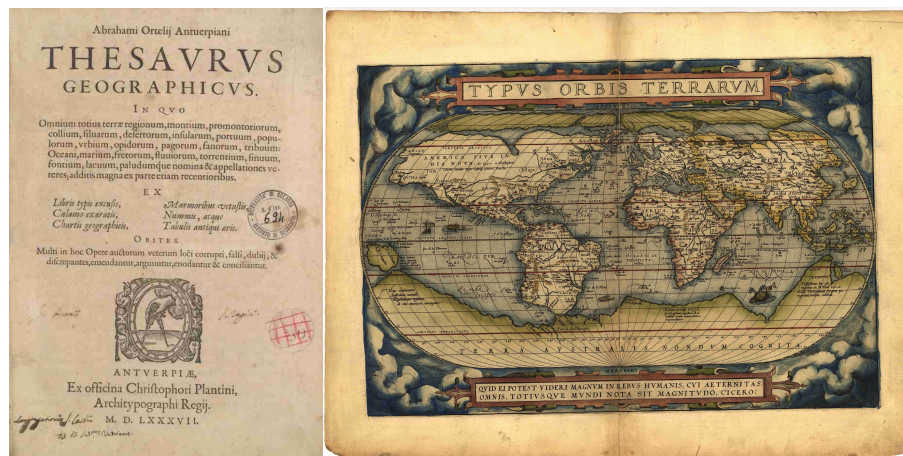
“È come se si dovesse rimettere insieme due pezzi strappati di un giornale, riavvicinando i loro bordi e controllando se le righe della stampa corrispondono tra loro. Se ciò avviene, se ne deve concludere che i due pezzi erano proprio uniti in quella maniera.”

“Le forze che spostano i continenti sono le stesse che creano le grandi catene di montagne di corrugamento.”

Alfred Lothar Wegener (1880-1930)

Elementi embrionali sulla deriva dei continenti

Il cartografo fiammingo Abraham Oertel (Ortelio) (1527-1598) in *Thesaurus Geographicus* (1587) notava che il profilo delle coste dei continenti dimostrava chiaramente che essi si erano staccati l'uno dall'altro attribuendone la causa a "terremoti e inondazioni".



Le opere *Thesaurus Geographicus* del 1587 e il *Typus Orbis Terrarum* del 1570 di Ortelio.

Anche il filosofo inglese Francis Bacon (Bacone) (1561-1626) in *Novum organum* (1620) rilevava una corrispondenza fra le coste dei due continenti affacciati sull'Oceano Atlantico ma senza darne seguito.

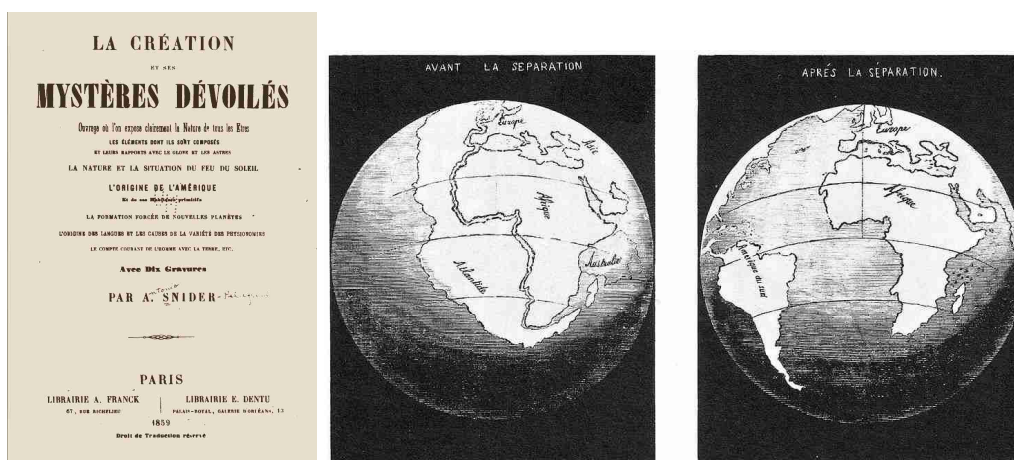
L'idea sui movimenti dei continenti fu ripresa nei secoli successivi anche da altri autori tra cui:

- il poliedrico statunitense Benjamin Franklin (1706-1790), in una missiva inviata all'abate francese Jean-Louis Giraud Soulavie (1752-1813) nel 1782, commentava sull'improbabile presenza di gusci di ostriche nelle rocce in luoghi montuosi se si pensasse che la Terra fosse stata completamente solida sino al centro, immaginando, pertanto, una dinamica fluidità al di sotto della crosta superficiale che la sconquassasse;
- il naturalista tedesco Friedrich Heinrich Alexander Freiherr von Humboldt (1769-1859) notava la somiglianza fra le coste dei due continenti atlantici e la spiegava con un evento catastrofico, una sorta di inondazione che li avrebbe separati;
- il naturalista francese Georges-Louis Leclerc conte di Buffon (1707-1788) riepilogò la teoria di Ortelio di un grande "terremoto e inondazioni" che separarono la terra;

- il naturalista francese François Paget nel 1666 suggerì lo "sprofondamento" di terra tra i continenti le cui coste sembravano combaciare e il successivo riversamento delle acque dei mari nello spazio lasciato vuoto dalle terre per formare l'Oceano Atlantico;

- il filosofo statunitense Ralph Waldo Emerson (1803-1882), in una sua conferenza intitolata *On the Relation of Man to the Globe* tenuta nel 1834, considerò lo "spostamento continentale" richiamando l'osservazione fatta in precedenza da Bacone sulla corrispondenza delle coste dell'Africa e dell'America del Sud inducendo a dedurre che i due continenti una volta erano uniti e che tali sconvolgimenti della natura si siano ripetute prima dell'attuale ordine delle cose;

- il geografo francese Antonio Snider-Pellegrini (1802-1885) in *La Création et ses Mystères dévoilés* (1858) propose, supportato da prove fossili, che tutti i continenti erano un tempo collegati tra loro attribuendo la causa della frammentazione del supercontinente "al diluvio universale" della Bibbia;



L'opera *La Création et ses Mystères dévoilés* di Snider-Pellegrini del 1858 e un'immagine in essa contenuta.

- lo studio dei fossili rafforzò tale idea e portò il geologo austriaco Eduard Suess (1831-1914) a ipotizzare l'origine dei continenti moderni dalla frantumazione di un antico supercontinente, il Gondwana proposto nel 1885, e la formazione di un oceano che denominò Tetide nell'articolo *Are ocean depths permanent?* (1893). Ipotizzò anche l'esistenza di *ponti continentali* che avevano collegato l'America del Sud, l'Africa, l'India, l'Australia e l'Antartide. Suess pubblicò una sintesi completa delle sue idee in *Das Antlitz der Erde* (La faccia della Terra) in tre volumi (1885-1909).

Queste intuizioni sulla deriva dei continenti non avevano, tuttavia, spiegazioni plausibili della causa del loro movimento.

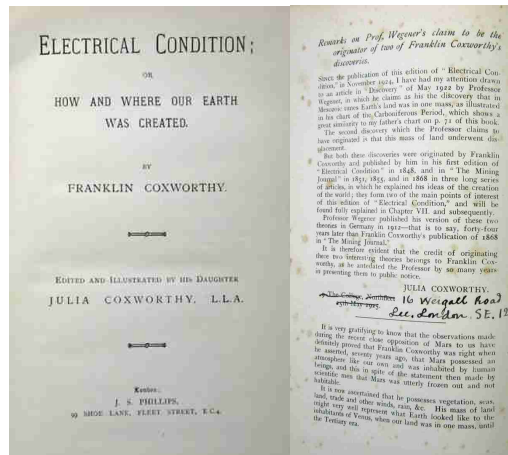
I precursori di Wegener

L'astronomo statunitense William Henry Pickering (1858-1938) in *The Place of Origin of the Moon. The Volcani Problems* (1907) ipotizzò che la Luna, un tempo parte integrante della Terra, si fosse da essa staccata dove ora si trova l'Oceano Pacifico e che tale distacco abbia causato la rottura del supercontinente innescando la deriva dei continenti.

Il geologo statunitense Frank Bursley Taylor (1860-1938) formulò nel 1908 e pubblicò in *Bearing of the tertiary mountain belt on the origin of the earth's plan* (1910) l'idea di uno "scorrimento della crosta terrestre" dalle alte alle basse latitudini dell'emisfero settentrionale con particolare riferimento alla Groenlandia che riteneva essere il residuo di un antico massiccio da cui si erano staccati il Canada e l'Europa settentrionale ipotizzando, fantasiosamente per i contemporanei, che il movimento era dovuto alle forze di marea verificatesi quando la Luna venne catturata dalla Terra.

Il parmense Roberto Mantovani (1854-1933), come citato dallo stesso Wegener, formulò una teoria che prevedeva la deriva dei continenti quale conseguenza di una "dilatazione globale" della Terra che espose in *Les fractures de l'écorce terrestre et la théorie de Laplace* (1889) e *L'Antarctide* (1909).

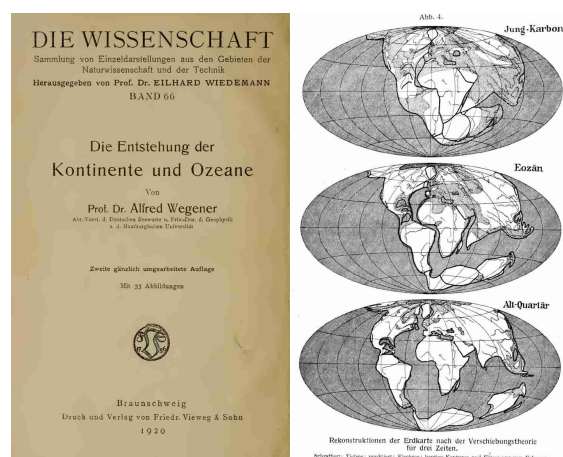
Anche le idee dell'inglese Franklin Coxworthy (1806-1890) in *Electrical Condition; Or, How and where Our Earth was Created* (1a ed. 1848 - postumo, 1924) sono citati da Wegener nel 1929.



L'opera *Electrical Condition; Or, How and where Our Earth was Created* di Coxworthy nell'edizione postuma curata dalla figlia Julia del 1924 con le dichiarazioni di Wegener.

La teoria della deriva dei continenti di Wegener (1912)

Il geologo tedesco Alfred Lothar Wegener (1880-1930) presentò la teoria della deriva dei continenti il 6 gennaio 1912 durante l'incontro annuale della Società Geologica Tedesca a Francoforte sul Meno. Ipotesi che descrisse nei due articoli *Die Herausbildung der Grossformen der Erdrinde (Kontinente und Ozeane), auf geophysikalischer Grundlage* (1912) e *Die Entstehung der Kontinente. Geologische Rundschau* (1912) e, ampliata e migliorata, nell'opera *Die Entstehung der Kontinente und Ozeane* (1915).



L'opera *Die Entstehung der Kontinente und Ozeane* di Wegener venne pubblicata nel 1915 cui seguirono la 2a ed. nel 1920, la 3a ed. nel 1922 e la 4a ed. nel 1929. La prima edizione in lingua inglese fu nel 1925. La casa editrice Giulio Einaudi di Torino pubblicò la prima edizione italiana, con traduzione dal tedesco di Clara Lollini in Giua, dottore in chimica (1888-1987), nel 1942.

Wegener ipotizzò che le terre attualmente emerse un tempo (circa 200 milioni di anni fa) erano unite in un unico grande blocco a formare un supercontinente (Pangea) circondato da un unico vasto

oceano (Pantalassa). Pangea che, nel proseguo dei tempi, si sarebbe spezzata in varie "zolle" galleggianti sullo strato sottostante la crosta e che per effetto della rotazione terrestre avrebbero subito un movimento di deriva. A sostegno portò argomenti di natura morfologica (la concordanza tra le linee di costa dei continenti come, per esempio, quelle dell'Africa occidentale e dell'America del Sud orientale non poteva essere casuale), geologica (in Africa e in America del Sud sono presenti formazioni rocciose con molti punti in comune sia per età sia per composizione e struttura), paleontologica (i medesimi continenti hanno in comune resti fossili di animali e piante di specie identiche di ambiente continentale possibile solo se tali terre un tempo erano in contatto; prima di Wegener ciò era spiegato con l'esistenza di *ponti continentali crostali* successivamente sprofondati proposti da Suess nel 1885) e paleoclimatica (la presenza, per esempio, di depositi di carbone (indice di condizioni umide) e di arenarie rosse (indice di climi aridi) in zone tutt'altro che aride o caldo-umide poteva essere spiegata solo con lo spostamento del continente).

La teoria della deriva dei continenti, tuttavia, difettava sul come e perchè si muovessero i continenti cosa che Wegener attribuiva a forze esogene dovute alla rotazione terrestre (forze centrifughe) e all'attrazione gravitazionale (forze mareali) ma decisamente inadeguate e insufficienti portando quasi all'oblio l'idea della deriva. Spiegazioni che trovarono una risposta nella metà degli anni Novanta del XX secolo con l'esplorazione dei fondali oceanici.

Le conferme di du Toit (1937) e il moto convettivo di Holmes (1929)

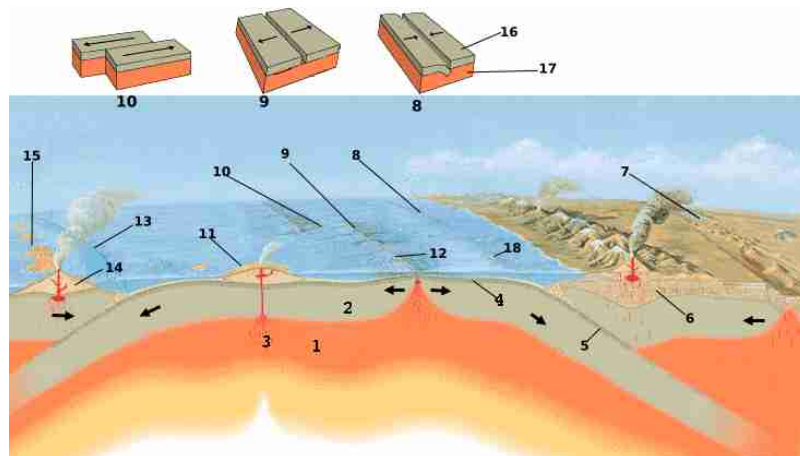
Tra i primi sostenitori della teoria della deriva dei continenti di Wegener vi fu il geologo sudafricano Alexander Logie du Toit (1878-1948) che effettuò viaggi nell'America del Sud orientale per studiarne la geologia e riuscì a dimostrare la continuità delle corrispondenze geologiche tra i due continenti con prove stratigrafiche e radioisotopiche. Toit espose i risultati in *A Geological Comparison of South America with South Africa* (1927), con un contributo del paleontologo inglese Frederick Richard Cowper Reed (1869-1946), e in *Our Wandering Continents. An Hypothesis of Continental Drifting* (1937) in cui ampliò e migliorò il precedente lavoro. Lavori che sostenevano le idee del Wegener ma discostandosi per la proposta di due supercontinenti originali, una Laurasia settentrionale/equatoriale e una Gondwana meridionale, separati dall'Oceano Tetide.

Anche il geologo inglese Arthur Holmes (1890-1965) ne fu sostenitore e divulgatore con la sua opera *Principles of physical geology* (1944). Holmes fu anche essenziale per lo sviluppo della successiva teoria della tettonica a placche in quanto ipotizzò che il "motore" della deriva dei continenti potesse essere il **moto convettivo** del materiale del mantello terrestre che tratta in *Radioactivity and earth movement* (1929). Un "motore" approfondito dal geofisico inglese Dan Peter McKenzie in *The viscosity of the lower mantle* (1966).

La subduzione di Wadati (1935) e Benioff (1949)

Il geofisico statunitense Victor Hugo Benioff (1899-1968), analizzando le registrazioni degli ipocentri dei sismi avvenuti lungo una fascia di 50 chilometri della costa occidentale dell'America settentrionale, osservò che questi diventavano progressivamente più profondi, con una inclinazione di 33 gradi per quelli con ipocentro fino a 300 chilometri per giungere ai 60 gradi per quelli a profondità maggiore. Benioff espose i suoi risultati in *Seismic evidence for fault origin of ocean deeps* (1949) e confermò precedenti osservazioni fatte dal geofisico giapponese Kiyoo Wadati (1902-1995) relazionate in *On the activity of deep focus earthquakes in the Japan islands and neighbourhoods* (1935). Benioff, inoltre, nel lavoro *Seismic evidence for fault origin of ocean deeps* (1949) ipotizzò che tali fenomeni fossero il risultato della **subduzione** di una **placca litosferica** sotto un'altra. Quella particolare zona sismica, raffigurabile come un piano inclinato delineato dall'insieme degli ipocentri dei terremoti profondi e che si estende a partire superficialmente da una

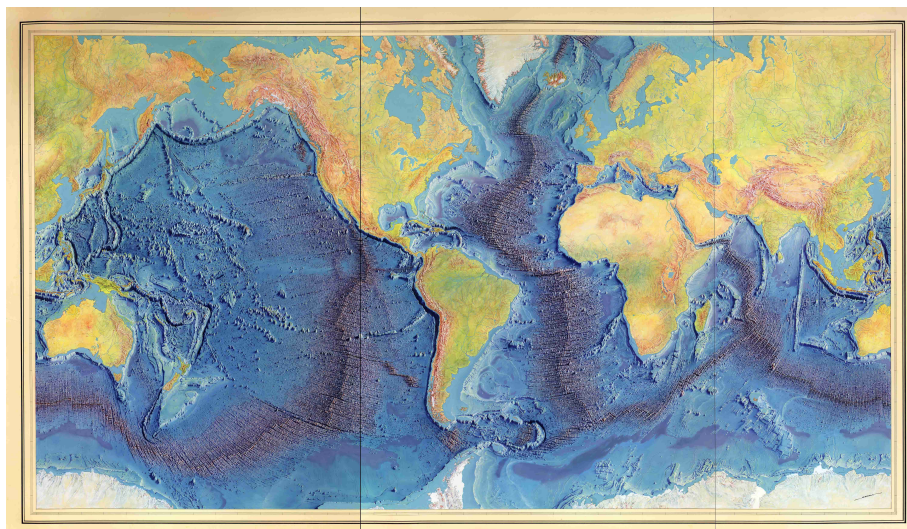
fossa oceanica e scende in profondità fin sotto ad un **arco vulcanico**, oggi prende il nome di **piano di Wadati-Benioff**.



- | | |
|---|----------------------------------|
| 1 astenosfera | 10 placca a margine trasforme |
| 2 litosfera | 11 vulcano a scudo |
| 3 punto caldo | 12 dorsale oceanica |
| 4 crosta oceanica | 13 margine di placca convergente |
| 5 placca in subduzione | 14 vulcano a cono |
| 6 crosta continentale | 15 arco insulare |
| 7 zona di rift continentale (nuovo margine di placca) | 16 placca |
| 8 placca a margine convergente | 17 astenosfera |
| 9 placca a margine divergente | 18 fossa oceanica |

L'espansione dei fondali oceanici di Hess (1960) e Dietz (1961)

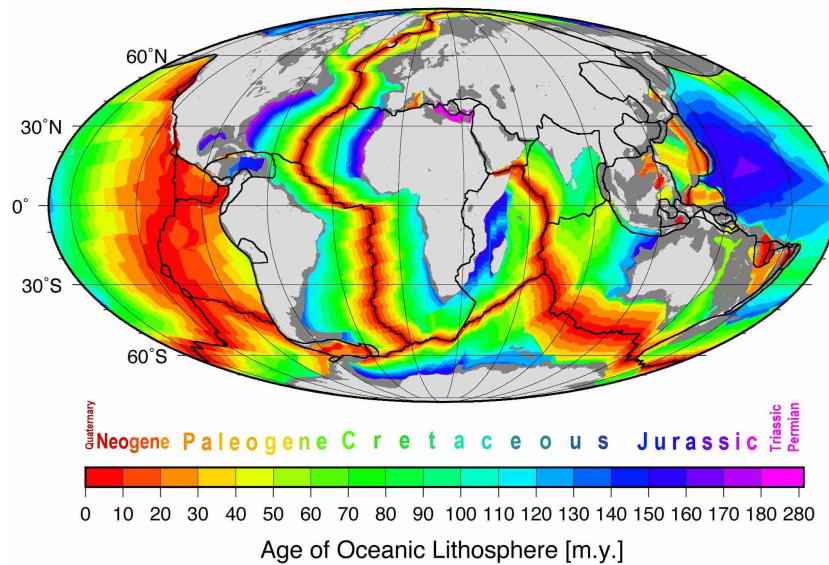
Durante la Seconda Guerra Mondiale e con l'utilizzo del sonar il geologo statunitense Harry Hammond Hess (1906-1969), considerato uno dei padri della teoria della tettonica a placche, scoprì delle strutture sottomarine dalla sommità appiattita che chiamò **guyot**. Hess le ipotizzò quali resti della **dorsale oceanica** e che la loro distanza dalla stessa fosse attribuibile all'espansione laterale della litosfera oceanica. Espose la sua teoria, denominata *Sea-floor spreading* dal termine introdotto dal geofisico statunitense Robert Sinclair Dietz (1914-1995) in *Continent and Ocean Basin Evolution by Spreading of the Sea Floor* (1961), in un rapporto dell'Office of Naval Research nel 1960 e nell'opera *History of Ocean Basins* (1962).



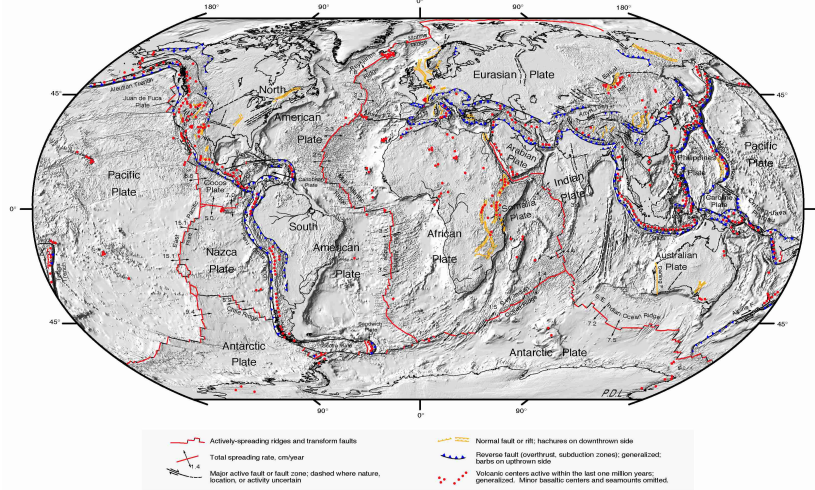
La prima mappa scientifica dell'intero fondale oceanico. Realizzata dal pittore paesaggista austriaco Heinrich Caesar Berann (1915-1999) basata sui profili scientifici dei geologi statunitensi Bruce Charles Heezen (1924-1977) e Marie Tharp (1920-2006) e pubblicata nel 1977 dal National Geographic con il titolo *The World Ocean Floor Panorama*.

Le inversioni del campo geomagnetico di Vine-Matthews (1963) & Morley-Larochelle (1964)

I geofisici inglesi Frederick "Fred" John Vine e Drummond "Drum" Hoyle Matthews (1931-1997) in *Magnetic anomalies over oceanic ridges* (1963) e, indipendentemente, i geofisici canadesi Lawrence Whitaker Morley (1920-2013) e André Larochelle in *Paleomagnetism as a means of dating geological events* (1964) hanno dato origine a quella oggi nota come *ipotesi di Vine-Matthews-Morley-Larochelle*, la quale afferma che la crosta oceanica funge da registratore di inversioni nella direzione del campo geomagnetico mentre si verifica l'espansione del fondo marino, fornendo la prima prova scientifica dell'espansione del fondo marino che ha permesso di calcolare la velocità dei movimenti delle placche sulle dorsali oceaniche.



DIGITAL TECTONIC ACTIVITY MAP OF THE EARTH Tectonism and Volcanism of the Last One Million Years



La teoria della tettonica a placche litosferiche (1967)

La teoria della tettonica a placche, proposta nel 1967 e perfezionata nel 1968, nasce con i geofisici inglesi Dan Peter McKenzie, Robert Ladislav Parker con *The North Pacific: An example of tectonics on a sphere* (1967) e lo statunitense William Jason Morgan con *Rises, Trenches, Great Faults, and Crustal Blocks* (1968) allorquando, in modo indipendente, riprendono e riorganizzano unitariamente l'insieme di tutte le conoscenze sino ad allora accumulate. Nel 1968 il geofisico

francese Xavier Le Pichon, attraverso un modello globale di analisi quantitative, dimostrò che le placche litosferiche formavano un sistema integrato in cui la crosta generata sulle dorsali oceaniche è bilanciata da quella distrutta nelle zone di subduzione. Un lavoro che espose, con Jean Bonnin e Jean Francheteau (1943-2010), in *Plate Tectonics* (1973). Sempre nel 1968 i geofisici statunitensi Bryan L. Isacks, John "Jack" Ertle Oliver (1923-2011) e Lynn R. Sykes dimostrarono che la teoria, da essi definita la "nuova tettonica globale" in *Seismology and the New Global Tectonic* (1968), spiegava la maggior parte dell'attività sismica della Terra.

Glossario essenziale dei termini citati

ARCO VULCANICO: una catena di isole vulcaniche (*arco insulare*, quando una placca oceanica scorre sotto una placca oceanica) oppure una catena di rilievi vulcanici (*arco continentale*, quando una placca oceanica scorre sotto una placca continentale).

ASTENOSFERA: parte superiore del mantello immediatamente sottostante la litosfera.

CRATONE: (dal greco *krátos* = robusto/rigido) parte più rigida, antica e stabile della crosta continentale terrestre. Termine (*kratogen*) coniato dal geologo austriaco Leopold Kober (1883-1970) in *Der Bau der Erde. Eine Einführung in die Geotektonik* (1921) e modificato (*kraton*) dal geologo tedesco Hans Wilhelm Stille (1876-1966) nel 1933.

DISCONTINUITÀ: zona all'interno del globo terrestre nella quale si osservano brusche variazioni nella velocità di propagazione delle **onde sismiche** corrispondente ai cambiamenti delle caratteristiche fisiche del mezzo percorso. Oltre alle varie discontinuità minori, per lo più localizzate in ambito territoriale regionale o comunque ristretto, sono state identificate le seguenti discontinuità principali:

discontinuità di Conrad: presente nella litosfera tra la crosta superiore granitica e la crosta inferiore basaltica. Dal nome del geofisico austriaco Victor Conrad (1876-1962) nel 1925.

discontinuità di Gutenberg-Wiechert: presente tra una zona di transizione e la parte superiore del nucleo esterno liquido a una profondità di circa 2900 chilometri. Dai nomi dei geofisici tedeschi Beno Gutenberg (1889-1960) e Johann Emil Wiechert (1861-1928) nel 1914.

discontinuità di Lehmann I e di Lehmann II: presenti nel nucleo esterno liquido a una profondità di 4900 e 5200 chilometri rispettivamente. Dal nome della geofisica danese Inge Lehmann (1888-1993) nel 1936

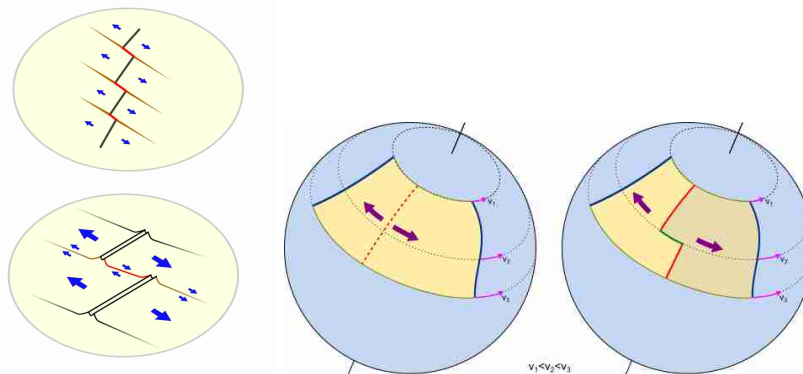
discontinuità di Mohorovičić: presente tra la crosta inferiore basaltica (litosfera) e il mantello superiore (astenosfera). Dal nome del geofisico croato Andrija Mohorovicic (1857-1936) nel 1909.

discontinuità di Oldham: presente tra il mantello inferiore e una zona di transizione a una profondità di circa 2200 chilometri. Dal nome del geofisico irlandese Richard Dixon Oldham (1858-1936) nel 1906.

DORSALE OCEANICA: catena montuosa vulcanica sottomarina risultato della divergenza (costruttiva) tra due placche di crosta oceanica.

EPICENTRO: (dal greco *epi-* = sopra e *κέντρον* = centro → "centro al di sopra") zona della superficie terrestre sovrastante il punto di origine di un terremoto.

FAGLIA TRANFORME: zona di fratturazione presente nelle dorsali oceaniche conseguenza dell'espansione del fondale oceanico. Sono margini di placca conservativi in quanto non comportano nessuna aggiunta o perdita di litosfera sulla superficie terrestre. La loro esistenza è dovuta alla sfericità della Terra. Furono identificate e descritte dal geofisico canadese John Tuzo Wilson (1908-1993) nel 1965.



(a sinistra) Le faglie trasformi, in rosso, negli spezzoni delle dorsali oceaniche. (a destra) Le diverse velocità lineari sulla superficie terrestre determinano l'esistenza delle faglie trasformi, in verde.

FOSSA OCEANICA: depressione lineare del fondo oceanico risultato della convergenza (distruttiva) tra due placche litosferiche (oceanica-continentale oppure oceanica-oceanica) in cui quella più densa sprofonda sotto quella meno densa (**subduzione**).

FOSSA TETTONICA: depressione lineare della crosta terrestre, costituita da un sistema complesso di faglie dirette, dovuta a forze tettoniche distensive su vasta scala. Denominata *Rift Valley* dal termine coniato dal geologo inglese John Walter Gregory (1864-1932) in *The Great Rift Valley. Being the narrative of a journey to Mount Kenya and Lake Baringo. With some account of the geology, natural history, anthropology, and future prospects of British East Africa* (1896).

GEOLOGIA: (dal greco *gê* = terra e *logos* = studio → "studio della Terra") è la disciplina delle **scienze della Terra** che studia i processi fisico-chimici che plasmano e trasformano nel tempo la Terra. Il termine fu usato per la prima volta con il senso attuale dal naturalista bolognese Ulisse Aldrovandi (1522-1605) nei suoi appunti dal titolo *Geologia ovvero de fossilibus* (1603).

GODWANA: frammentazione della **Pangea** costituente la massa continentale meridionale durante il Triassico.

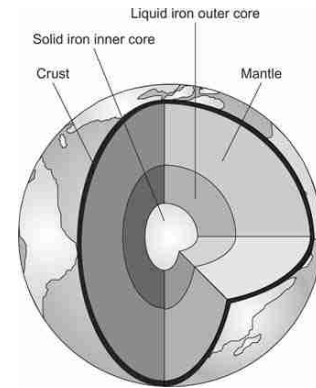
GUYOT: rilievi sottomarini di origine vulcanica dalla caratteristica forma tronco-conica e dalla sommità appiattita. Il nome deriva dalla forma del tetto della *Guyot Hall* un edificio dell'università di Princeton (New Jersey, USA) intitolato al geologo svizzero Arnold Henri Guyot (1807-1884).

INVOLUCRI TERRESTRI: suddivisioni della struttura interna del globo terrestre in crosta, mantello, nucleo esterno (liquido) e nucleo interno (solido) di composizione non omogenea in un modello a gusci concentrici. Il geologo austriaco Eduard Suess (1831-1914) ipotizzò che la struttura interna del globo terrestre fosse suddivisa in tre involucri concentrici, che denominò SIAL (da Silicio + Alluminio per la crosta), SIMA (da Silicio + MAGnesio per il mantello) e NIFE (da Nichel + FERro per il nucleo), nel 1885. L'ingegnere britannico John Perry (1850-1920) in *On the age of the earth* (1895) propose che l'interno della Terra fosse fluido.

SCHEMA DELLA STRUTTURA INTERNA DEL GLOBO TERRESTRE

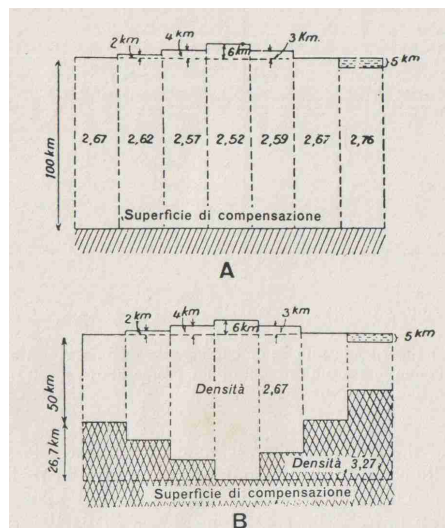
crosta superiore granitica (litosfera)	nelle aree continentali 20-70 km nelle aree oceaniche 3-10 km
discontinuità di Conrad (1925)	
crosta inferiore basaltica (litosfera)	dalla Moho ai 400 km
discontinuità di Mohorovicic (1909)	
mantello superiore (astenosfera)	dai 400 ai 1000 km
mantello intermedio (zona di transizione)	dai 1000 ai 2200 km
mantello inferiore	(2200 km)
discontinuità di Oldham (1906)	(2900 km)
(zona di transizione)	
discontinuità di Gutenberg-Wiechert (1914)	dai 2900 ai 4900 km
nucleo esterno liquido	(4900 km)
discontinuità di Lehmann I (1936)	(5200 km)
(zona di transizione)	
discontinuità di I. Lehmann II (1936)	dai 5200 ai 6371 km
nucleo interno solido	

Modello terrestre sferico di raggio 6371 chilometri corrispondente al raggio di un sfera di uguale volume della Terra.



IPOCENTRO: (o *focolare sismico*) (dal greco *ipo-* = sotto e *κέντρον* = centro → "centro al di sotto") zona all'interno della Terra in cui ha origine un terremoto.

ISOSTASIA: (dal greco *iso-* = uguale e *-stasia* = posizione) condizione di equilibrio gravitazionale cui tende la crosta terrestre (**litosfera**) sulla sottostante **astenosfera**. Il termine fu coniato dal geologo statunitense Clarence Edward Dutton (1841-1912) che utilizzò in *Physics of the Earth's crust; discussion* (1882). Il concetto di compensazione isostatica (equilibrio isostatico) fu introdotto dal matematico inglese George Biddell Airy (1801-1892) e dal geofisico inglese John Henry Pratt (1809-1871) dando vita a due diverse teorie isostatiche. Quella di Airy proposta in *On the computation of the effect of the attraction of mountain-masses, as disturbing the apparent astronomical latitude of stations in geodetic surveys* (1855), oggi meglio nota come *ipotesi isostatica di Airy-Heiskanen* dal geodeta finlandese Weikko Aleksanteri Heiskanen (1895-1971) che la migliorò negli anni 1924-1931, e quella di Pratt proposta in *On the deflection of the plumb-line in India, caused by the attraction of the Himalaya Mountains and of the elevated regions beyond, and its modifications by the compensating effect of a deficiency of matter below the mountain mass* (1859), oggi meglio nota come *ipotesi isostatica di Pratt-Hayford* dal geodeta statunitense John Fillmore Hayford (1868-1925) che la migliorò nel 1909.



Schema dell'ipotesi isostatica di Pratt (A) e di Airy (B)

LAURASIA: frammentazione della **Pangea** costituente la massa continentale settentrionale durante il Triassico.

LITOSFERA: (dal greco *lithos* = pietra, roccia e *sphaira* = sfera → "sfera rocciosa") strato esterno rigido della Terra (crosta terrestre) soprastante una zona meno rigida e fluida (astenosfera). Concetto descritto dal matematico inglese August Edward Hough Love (1863-1940) in *Some problems of Geodynamics* (1911), sviluppato e coniato il termine dal geologo statunitense Joseph Bairell (1869-1919) in *The strength of the Earth's crust* (1914) ed espanso dal geologo canadese Reginald Aldworth Daly (1871-1957) in *Strength and structure of the Earth* (1940).

MAGMA: sistema complesso di materiale roccioso fuso ipogeo approssimativamente definibile come un fluido viscoso ad alta temperatura e pressione.

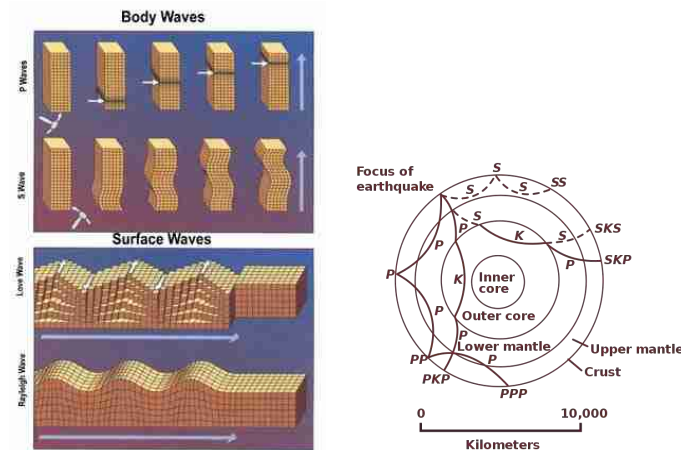
MARGINE CONVERGENTE: di avvicinamento o distruttivo tra placche litosferiche dove l'incontro di due correnti convettive discendenti provoca la **subduzione** di una placca sotto l'altra (nel caso in cui almeno uno dei margini sia costituito da litosfera oceanica) oppure la collisione tra le due placche (nel caso in cui entrambi i margini siano costituiti da litosfera continentale).

MARGINE DIVERGENTE: di allontanamento o costruttivo tra placche litosferiche dove correnti ascendenti di due celle convettive contigue produce la risalita di magma del mantello a formare nuova crosta oceanica in corrispondenza delle dorsali oceaniche.

MARGINE TRASFORME: di tipo trascorrente con spostamento orizzontale o conservativo tra placche litosferiche dove non vi è formazione o distruzione di litosfera.

MOTO CONVETTIVO: processo ciclico e circolare che avviene nel mantello terrestre origine dei movimenti tettonici. Il materiale del mantello è continuamente rimescolato con rocce fluide e calde (costituenti il **magma**) che tendono a salire in superficie producendo nuova **litosfera** mentre quelle più dense e fredde della **litosfera** sprofondano nell'**astenosfera** fondendosi e trasformandosi in **magma**.

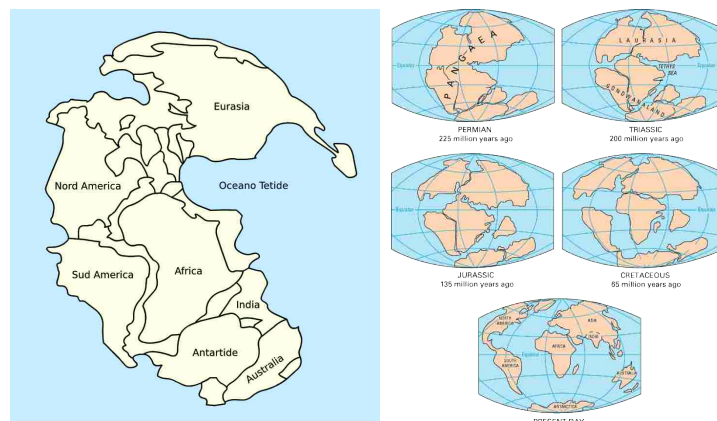
ONDE SISMICHE: onde meccaniche generate da un terremoto, attività vulcanica, etc. che si propagano attraverso il globo terrestre sfruttando le proprietà elastiche del mezzo materiale perturbato. Si dividono in onde di volume (*body waves*): Onde P (prime, compressionali longitudinali ad alta velocità) e Onde S (seconde, rotazionali trasversali a bassa velocità, non si propagano in mezzi fluidi) e in onde di superficie (*surface waves*): Onde di Rayleigh (udite da animali) e Onde di Love dal nome dei fisici inglesi che per primi le studiarono John William Strutt 3° barone di Rayleigh (1842-1919) in *On Waves Propagated along the Plane Surface of an Elastic Solid* (1885) e August Edward Hough Love (1863-1940) in *Some problems of Geodynamics* (1911).



Tipi di onde sismiche e loro propagazione all'interno della Terra. La velocità delle onde sismiche cambia repentinamente al variare della densità terrestre in corrispondenza delle cosiddette **discontinuità** come rilevato dal geofisico croato Andrija Mohorovičić (1857-1936) in *Epicenters of earthquakes in Croatia and Slavonia (Epicentra potresa u Hrvatskoj i Slavoniji)* (1909).

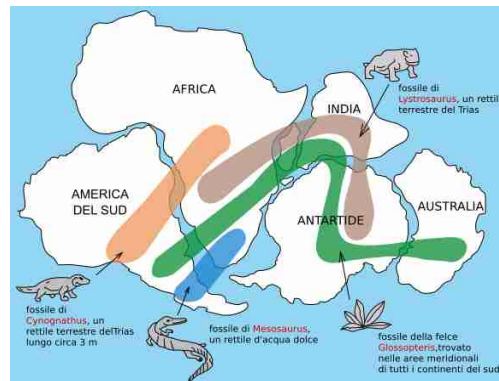
OROGENESI: (dal greco *oro-* = rilievo/montagna e *-genesi* = nascita/origine → "nascita dei rilievi") processo di formazione delle catene montuose. Termine diffuso in letteratura dal geologo statunitense Grove Karl Gilbert (1843-1918).

PANGEA: (dal greco *pan-* = tutto e *-gea* = terra → "tutta la terra") il più recente ipotetico unico supercontinente esistito durante la fine del Paleozoico (Permiano) e il primo Mesozoico (Triassico) circondato dall'oceano primordiale denominato **Pantalassa**. Termine coniato da Alfred Lothar Wegener (1880-1930) nel 1915.



Il supercontinente Pangea incominciò a frammentarsi circa 200 milioni di anni fa nel Triassico. Una prima spaccatura portò alla formazione nelle due masse continentali Laurasia (Europa, Asia e America del Nord) e

Gondwana (America del Sud, Africa e Oceania) che, successive graduali frammentazioni, portarono alla conformazione attuale.

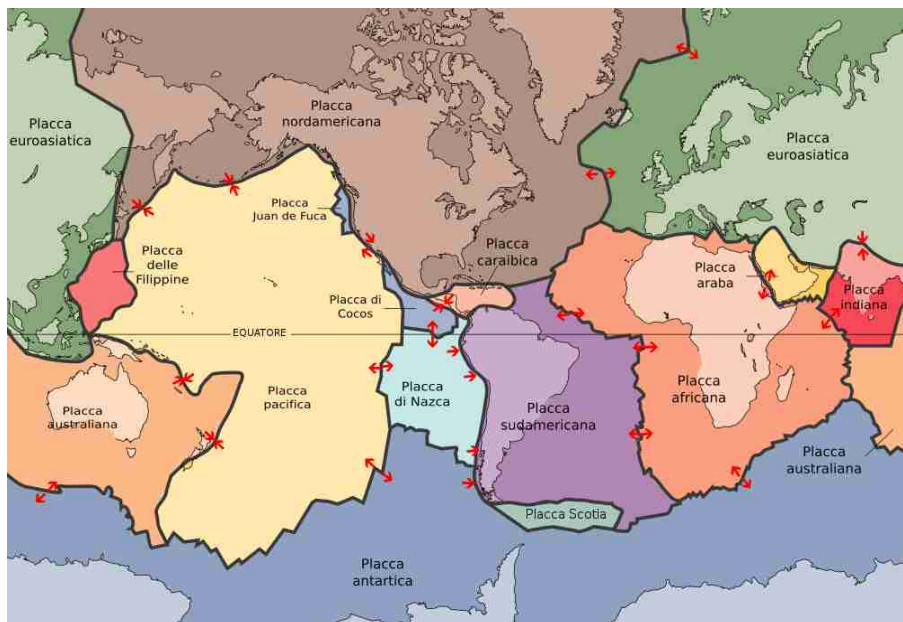


Il rinvenimento di resti fossili di animali, tutti rettili, di Mesosaurus (solo in Sudafrica e America del Sud), di Cynognathus (solo in Africa meridionale e America del Sud) e di Lystrosaurus (solo in Africa meridionale, India e Antartide) e i resti fossili di piante, una felce, di Glossopteris (solo in America del Sud, Africa meridionale, India, Antartide e Australia) delle stesse specie e vissuti nella medesima epoca, costituiscono la prova che un tempo i luoghi di ritrovamento formavano un'unica massa continentale.

PANTALASSA: (dal greco *pan-* = tutto e *-thálassa* = mare → "tutto il mare") ipotetico unico superoceano che circondava la **Pangea** durante la fine del Paleozoico (Permiano) e il primo Mesozoico (Triassico). Termine coniato da Alfred Lothar Wegener (1880-1930) nel 1915.

PIANO DI WADATI-BENIOFF: zona inclinata della **placca litosferica** in **subduzione**.

PLACCA LITOSFERICA: ciascuna delle numerose parti, di forma e dimensione varia, in cui è suddivisa la crosta terrestre (**litosfera**) che "galleggiano" in **equilibrio isostatico** sull'**astenosfera**. Circa una ventina sono quelle principali: placca africana, placca anatolica, placca antartica, placca araba, placca australiana, placca caraibica, placca delle Filippine, placca di Cocos, placca iberica, placca di Nazca, placca euroasiatica, placca indiana, placca Juan de Fuca, placca nordamericana, placca pacifica, placca Scotia e placca sudamericana.



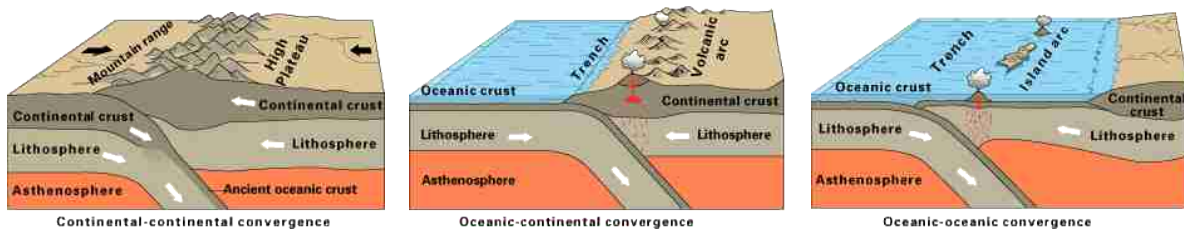
PUNTO CALDO: (*hot spot*) magmatismo intraplacca (attività vulcanica), indipendente dal movimento tettonico e relativamente fisso, quale manifestazione di un pennacchio (*mantle plume*), generato da un'anomala risalita di magma dal mantello, sulla crosta terrestre. Il fenomeno fu ipotizzato dal geofisico canadese John Tuzo Wilson (1908-1993) in *A possible origin of the Hawaiian Islands* (1963) e dal geofisico statunitense William Jason Morgan in *Convection plumes in the lower mantle* (1971).

SCIENZE DELLA TERRA: l'insieme delle discipline che hanno come oggetto lo studio del pianeta Terra (geosfera, materia inanimata) nelle sue componenti solida (litosfera, scienze geologiche), liquida (idrosfera, scienze idrologiche), gassosa (atmosfera, scienze atmosferiche) e la sua evoluzione nel tempo. La componente vivente è denominata biosfera, termine coniato dal geologo austriaco Eduard Suess (1831-1914) in *Die Entstehung der Alpen* (1875) e sviluppato dal naturalista russo Vladimir Ivanovič Vernadskij (1863-1945) in *Buocþepa (Biosfera)* (1926). Discipline principali: **GEOCHIMICA** (studio della Terra attraverso l'analisi delle sue proprietà chimiche), **GEOFISICA** (studio del pianeta attraverso l'analisi delle sue proprietà fisiche) con

climatologia (studio del clima), geomagnetismo (studio del campo magnetico della Terra), georesistività (studio dell'elettricità della Terra), geotermia (studio del calore della Terra), gravimetria (studio del campo gravitazionale della Terra), meteorologia (studio dei fenomeni fisici dell'atmosfera terrestre), sismologia (studio dei terremoti e della propagazione delle onde sismiche), GEOGRAFIA FISICA con geomorfologia (studio della morfologia terrestre), geografia astronomica (studio della Terra come pianeta del Sistema Solare), GEODESIA (studio delle dimensioni e della forma della Terra), GEOLOGIA con geodinamica (studio delle forze a cui è sottoposta la Terra), geologia strutturale (studio delle deformazioni delle rocce), geotecnica (studio della meccanica delle terre e delle rocce ad uso ingegneristico), mineralogia e gemmologia (studio dei minerali e delle gemme), petrologia e petrografia (studio delle rocce), stratigrafia e sedimentologia (studio degli strati delle unità rocciose e loro datazione), tettonica (studio della struttura e proprietà della crosta terrestre), vulcanologia (studio dei vulcani), IDROLOGIA con glaciologia (studio dei ghiacciai), idrogeologia (studio della dinamica delle masse d'acqua nel sottosuolo), idrografia (studio dei fiumi e dei laghi), nivologia (studio della neve), oceanografia (studio degli oceani e dei mari), PALEONTOLOGIA (studio dell'essere antico dei fossili), etc.

SISMA: (dal greco *seismós* = scossa) movimento tellurico (dal latino *tellus* = terra) sinonimo di terremoto (dal latino *tearrae motus* = movimento della terra). Vibrazione della crosta terrestre causata dall'improvviso spostamento di una massa rocciosa nel sottosuolo.

SUBDUZIONE: (dal latino *subductio* = sottrarre) processo di scivolamento nel quale una **placca litosferica** si inverte con il suo limite distruttivo al di sotto di un'altra, lungo un piano inclinato (**piano di Wadati-Benioff**), immergendosi verso l'**astenosfera**.



SUPERCONTINENTE: ipotetica massa continentale unica comprendente tutti i continenti attuali. Una probabile ciclicità periodica che lo porta a formarsi e poi a scindersi prende il nome di *ciclo di Wilson*, dal nome del geofisico canadese John Tuzo Wilson (1908-1993), in una teoria formulata nel 1988. Nella storia geologica della Terra si sono succeduti vari supercontinenti: *Vaalbara* dal termine coniato nel 1996 dal geologo statunitense Eric S. Cheney che lo derivò dalle ultime quattro lettere dei due cratoni, Kaapvaal in Sudafrica e Pilbara nell'Australia occidentale, che lo costituivano, *Kenorlandia* dalla città di Kenora nell'Ontario in Canada, *Columbia* proposto dai geologi John James William Rogers (1930-2015) e Madhava Warrier Santosh nel 2002, *Rodinia* (dal russo *rodina* → "madrepatria") un termine coniato dai geologi statunitensi Mark Allan S. McMenamin e Dianna L. Schulte McMenamin nel 1990, *Pannotia* (dal greco *pan-* = tutto e *-nótos* = sud → "tutta la terra del sud") un termine coniato dal geologo inglese Christopher "Chris" McAulay Powell (1943-2001) nel 1995 e descritto dal geologo scozzese Ian W.D. Dalziel nel 1997, e *Pangea*.

TETIDE: ampia insenatura che separava parzialmente la parte continentale settentrionale (**Laurasia**) da quella continentale meridionale (**Godwana**). Dal nome della dea greca Teti sorella e moglie di Oceano. Termine coniato da Eduard Suess (1831-1914) nel 1893.

TETTONICA: ramo della **geologia** che studia la struttura e le proprietà della crosta terrestre (**litosfera**) nonché la sua evoluzione nel tempo.

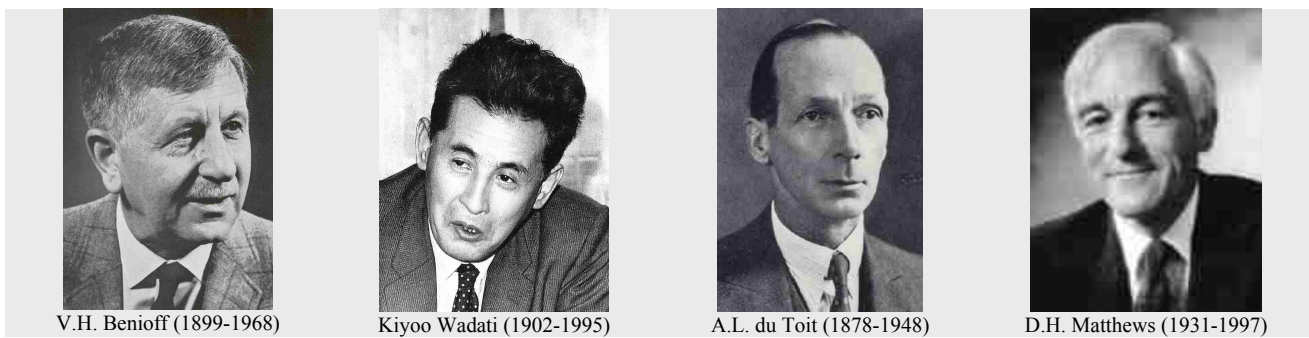
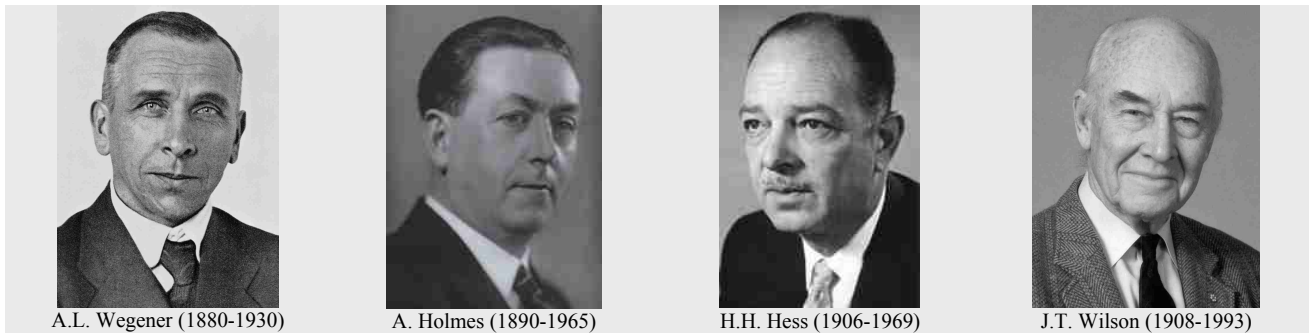


A. Oertel (Ortelio) (1527-1598)

W.H. Pickering (1858-1938)

R. Mantovani (1854-1933)

E. Suess (1831-1914)



Emissioni filateliche dell'Austria [1980, Michel Catalogue 1660], della Germania Ovest [1980, Michel Catalogue 616] e della Groenlandia [2006, Michel Catalogue B35] dedicate ad Alfred L. Wegener (1880-1930) in occasione del centenario della nascita (1880-1980) e del centenario della prima delle tre spedizioni esplorative da lui effettuate nella terra dei ghiacci (1906-2006).

Indice dei nomi citati

Airy, George Biddell (1801-1892)
 Aldrovandi, Ulisse (1522-1605)
 Bacon, Francis (Bacone) (1561-1626)
 Barell, Joseph (1869-1919)
 Benioff, Victor Hugo (1899-1968)
 Berann, Heinrich Caesar (1915-1999)
 Bonnin, Jean (1939-)
 Cheney, Eric S. (1934-)
 Conrad, Victor (1876-1962)
 Coxworthy, Franklin (1806-1890)
 Daly, Reginald Aldworth (1871-1957)
 Dalziel, Ian W.D. (1937-)
 Dietz, Robert Sinclair (1914-1995)
 du Toit, Alexander Logie (1878-1948)
 Dutton, Clarence Edward (1841-1912)
 Emerson, Ralph Waldo (1803-1882)
 Francheteau, Jean (1943-2010)
 Franklin, Benjamin (1706-1790)
 Gilbert, Grove Karl (1843-1918)
 Gregory, John Walter (1864-1932)
 Gutenberg, Beno (1889-1960)
 Hayford, John Fillmore (1868-1925)
 Heezen, Bruce Charles (1924-1977)
 Heiskanen, Weikko Aleksanteri (1895-1971)
 Hess, Harry Hammond (1906-1969)
 Holmes, Arthur (1890-1965)
 Humboldt, Friedrich Heinrich Alexander Freiherr von (1769-1859)
 Isacks, L. Bryan
 Kober, Leopold (1883-1970)
 Laroche, André
 Le Pichon, Xavier (1937-)
 Leclerc, Georges-Louis conte di Buffon (1707-1788)
 Lehmann, Inge (1888-1993)
 Love, August Edward Hough (1863-1940)
 Mantovani, Roberto (1854-1933)
 Matthews, Drummond "Drum" Hoyle (1931-1997)
 McKenzie, Dan Peter (1942-)
 McMenamin, Mark Allan S. (1958-)
 Mohorovičić, Andrija (1857-1936)
 Morgan, William Jason (1935-)
 Morley, Lawrence Whitaker (1920-2013)
 Oertel, Abraham (Ortelio) (1527-1598)
 Oldham, Richard Dixon (1858-1936)
 Oliver, John "Jack" Ertle (1923-2011)
 Paget, François
 Parker, Robert Ladislav (1942-)
 Perry, John (1850-1920)
 Pickering, William Henry (1858-1938)
 Powell, Christopher "Chris" McAulay (1943-2001)
 Pratt, John Henry (1809-1871)
 Rayleigh, John William Strutt 3° barone di (1842-1919)
 Rogers, John James William (1930-2015)
 Santosh, Madhava Warrier (1957-)
 Schulte, McMenamin Dianna L.
 Snider-Pellegrini, Antonio (1802-1885)
 Soulavie, Jean-Louis Giraud (1752-1813)
 Stille, Hans Wilhelm (1876-1966)
 Suess, Eduard (1831-1914)
 Sykes, Lynn R. (1937-)
 Taylor, Frank Bursley (1860-1938)
 Tharp, Marie (1920-2006)
 Vernadskij, Vladimir Ivanovič (1863-1945)
 Vine, Frederick "Fred" John (1939-)
 Wadati, Kiyoo (1902-1995)
 Wegener, Alfred Lothar (1880-1930)
 Wiechert, Johann Emil (1861-1928)
 Wilson, John Tuzo (1908-1993)

Indice delle opere citate

- A Geological Comparison of South America with South Africa* (1927) (du Toit & Reed)
A possible origin of the Hawaiian Islands (1963) (Wilson)
Are ocean depths permanent? (1893) (Suess)
Bearing of the tertiary mountain belt on the origin of the earth's plan (1910) (Taylor)
Biosfera (Биосфера) (1926) (Vernadskij)
Continent and Ocean Basin Evolution by Spreading of the Sea Floor (1961) (Dietz)
Convection plumes in the lower mantle (1971) (Morgan)
Das Antlitz der Erde (La faccia della Terra) 3 voll. (1885-1909) (Suess)
Der Bau der Erde. Eine Einführung in die Geotektonik (1921) (Kober)
Die Entstehung der Alpen (1875) (Suess)
Die Entstehung der Kontinente und Ozeane (1915) (Wegener)
Die Entstehung der Kontinente. Geologische Rundschau (1912) (Wegener)
Die Herausbildung der Grossformen der Erdrinde (Kontinente und Ozeane), auf geophysikalischer Grundlage (1912) (Wegener)
Electrical Condition; Or, How and where Our Earth was Created (1a ed. 1848 - postumo, 1924) (Coxworthy)
Epicenters of earthquakes in Croatia and Slavonia (Epicentra potresa u Hrvatskoj i Slavoniji) (1909) (Mohorovičić)
Geologia ovvero de fossilibus (1603) (Aldrovandi)
History of Ocean Basins (1962) (Hess)
La Création et ses Mystères dévoilés (1858) (Snider-Pellegrini)
L'Antarctide (1909) (Mantovani)
Les fractures de l'écorce terrestre et la théorie de Laplace (1889) (Mantovani)
Magnetic anomalies over oceanic ridges (1963) (Vine & Matthews)
Novum organum (1620) (Bacone)
On the activity of deep focus earthquakes in the Japan islands and neighbourhoods (1935) (Wadati)
On the age of the earth (1895) (Perry)
On the computation of the effect of the attraction of mountain-masses, as disturbing the apparent astronomical latitude of stations in geodetic surveys (1855) (Airy)
On the deflection of the plumb-line in India, caused by the attraction of the Himalaya Mountains and of the elevated regions beyond, and its modifications by the compensating effect of a deficiency of matter below the mountain mass (1859) (Pratt)
On the Relation of Man to the Globe (1834) (Emerson)
On Waves Propagated along the Plane Surface of an Elastic Solid (1885) (Rayleigh)
Our Wandering Continents. An Hypothesis of Continental Drifting (1937) (du Toit)
Paleomagnetism as a means of dating geological events (1964) (Morley & Larochele)
Physics of the Earth's crust; discussion (1882) (Dutton)
Plate Tectonics (1973) (Bonnin & Francheteau & Le Pichon)
Principles of physical geology (1944) (Holmes)
Radioactivity and earth movement (1929) (Holmes)
Rises, Trenches, Great Faults, and Crustal Blocks (1968) (Morgan)
Seismic evidence for fault origin of ocean deeps (1949) (Benioff)
Seismology and the New Global Tectonic (1968) (Isacks & Oliver & Sykes)
Some problems of Geodynamics (1911) (Love)
Strength and structure of the Earth (1940) (Daly)
Thesaurus Geographicus (1587) (Ortelio)
The Great Rift Valley. Being the narrative of a journey to Mount Kenya and Lake Baringo. With some account of the geology, natural history, anthropology, and future prospects of British East Africa (1896) (Gregory)
The North Pacific: An example of tectonics on a sphere (1967) (McKenzie & Parker)
The Place of Origin of the Moon. The Volcani Problems (1907) (Pickering)
The strength of the Earth's crust (1914) (Barell)
The viscosity of the lower mantle (1966) (McKenzie)
The World Ocean Floor Panorama (1977) (Berann & Heezen & Tharp)
Typus Orbis Terrarum (1570) (Ortelio)

Bibliografia essenziale

- aa.aa *Dizionario di scienze della Terra*, Rizzoli, Milano 1984
- Accordi, Bruno (1916-1986) *Storia della geologia*, Zanichelli, Bologna 1984
- Bolt, Bruce Alan (1930-2005) *L'interno della Terra*, Zanichelli, Bologna 1986
- Bosellini, Alfonso (1934-) *Tettonica delle placche e geologia*, Bovolenta, Ferrara 1978
- Cox, Allan Verne (1926-1987) & Hart, Robert Brian *La tettonica delle placche. Meccanismi e modalità*, Zanichelli, Bologna, 1990
- Federici, Paolo Roberto (1937-) & Axianas, Luciano *Nuovi lineamenti di geografia generale*, Bulgarini, Firenze 1984
- Fowler, Christine Mary Rutherford (1950-) *The solid earth. An introduction to global geophysics*, 2a ed. 2005
- Gasprini, Paolo (1937-2016) & Mantovani, Marta Silvia Maria (1944-) *Fisica della Terra solida*, Liguori, Napoli 1981
- Ippolito, Felice (1915-1997) (a cura) *La dinamica della Terra*, Letture da Le Scienze, Milano 1980
- Ippolito, Felice (1915-1997) (a cura) *Tettonica a zolle*, Quaderni n. 32, Le Scienze, Milano 1986
- Kearey, Philip (1948-2003) & Vine, Frederick John (1931-1997) *Tettonica globale*, Zanichelli, Bologna, 1994
- Phillips, Owen Martin (1930-2010) *La geofisica*, Mondadori, Milano 3a ed. 1978
- Press, Frank (1924-2020) & Siever, Raymond (1923-2004) *Introduzione alle scienze della Terra*, Zanichelli, Bologna 1985
- Segala, Marco *La favola della Terra mobile. La controversia sulla teoria della deriva dei continenti*, Il Mulino, Bologna, 1990
- Takeuchi, Hitoshi (1920-2004) & Uyeda, Seiya (1929-2023) & Kanamori, Hiroo (1936-) *La deriva dei continenti*, Bollati Boringhieri, Torino 1970
- Tazieff, Haroun (1914-1998) *Vulcani e tettonica*, Zanichelli, Bologna 1983
- Uyeda, Seiya (1929-2023) *La nuova immagine della Terra: si muovono i continenti, si muovono gli oceani*, Zanichelli, Bologna 1983
- Wegener, Alfred Lothar (1880-1930) *La formazione dei continenti e degli oceani*, Bollati Boringhieri, Torino 2 voll., 1976
- Whitten, Doug Gilbert Alban (1921-1996) & Brooks, John Reginald Verney (1938-) *Dizionario di geologia*, Mondadori, Milano 1978

