

PER CAPIRE I FENOMENI GEOLOGICI (1)

DINAMICA GLOBALE E TETTONICA DELLE PLACCHE

di Maria Cristina Speciani

Nel campo delle scienze della Terra, in cui i fatti osservati sono spesso contraddittori e le verifiche sperimentali pressoché impossibili, il cammino compiuto da scienziati e ricercatori nella formulazione di modelli e teorie che possano soddisfare i dati che via via si accumulano è estremamente interessante. Non solo nella prospettiva dell'arricchimento culturale personale, ma anche in una prospettiva didattica - come fil rouge per accostarsi a un argomento così vasto e così attuale come quello della tettonica, che riguarda tutti i cambiamenti che avvengono, provocando sconvolgimenti più o meno gravi, sulla superficie della Terra. Lo sviluppo illustrato in questo contributo ha anche un importante risvolto pedagogico: l'acquisizione di contenuti specifici non è una faccenda mnemonica, ma mette in gioco la creatività dell'alunno e l'utilizzo di capacità logiche, quali l'analisi e la sintesi, tipiche del pensiero scientifico.

Ci sono eventi geofisici che sollecitano in modo forte la nostra attenzione - sto pensando allo *tsunami* del dicembre 2004 che tanto dolore ha suscitato in tutto il mondo, o alle eruzioni ricorrenti e spettacolari dell'Etna -, ma ci sono fenomeni imponenti, come la formazione delle catene montuose e il continuo modellamento della crosta terrestre, così «normali» che neppure ce ne accorgiamo. Un'ampia branca della Geologia, la Tettonica, «studia le cause e i meccanismi che portano alla deformazione delle rocce» si occupa cioè di spiegare quei fenomeni che tanto ci spaventano quanto ci incuriosiscono per la loro imponenza. Per conoscere un po' meglio la Terra su cui viviamo, propongo una breve trattazione della Tettonica delle Placche, ossia la complessa dinamica delle placche in cui è suddivisa la crosta terrestre che è all'origine dei fenomeni sopra accennati, seguendo il percorso che ho utilizzato per molti anni insegnando al liceo scientifico.

Delimito l'ambito del mio contributo: non intendo trattare l'argomento in tutti i suoi aspetti, e neppure discutere le acquisizioni più recenti, compito che altri, specialisti, potranno fare anche sulle pagine di questa rivista. Intendo invece prospettare una chiave di lettura

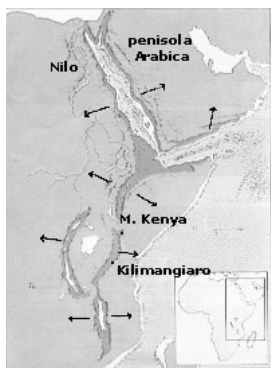


L'Etna vista dal satellite durante l'eruzione del 22 luglio 2001

LINEA DIRETTA

per un argomento di estrema attualità e sul quale c'è una forte domanda di comprensione che non è colmata dai vaghi riferimenti messi in campo dagli esperti, o dai *media*, in occasione di eventi naturali più o meno catastrofici.

Chiarisco i criteri che guidano il percorso. In primo luogo una collocazione storica degli eventi, perché senza questo sguardo le informazioni - in questo caso numerosissime - non acquistano significato. Poi uno sguardo analitico ai dati raccolti dai geofisici nei diversi campi di indagine (l'oceanografia, la sismologia eccetera), dati in base ai quali si è arrivati alla formulazione della teoria e, come sguardo sintetico, una rilettura dei dati alla luce dei fondamenti teorici: per distinguere dati e interpretazione dei dati da un lato e per sottolineare il modo con cui procede la ricerca dall'altro. Infine uno sguardo al futuro: anche in una teoria «globale» alcuni eventi possono restare proble-



matici, lasciando aperte domande che danno impulso al progredire ulteriore della scienza.

Sono convinta che è più importante sapere, anche a grandi linee, quali sono i fondamenti di una teoria e quali i problemi che lascia aperti, piuttosto che conoscerne in modo frammentario tutti i particolari; in questa direzione sono da leggere i riquadri - come informazioni riassuntive/sintetiche intermedie che aiutano gli studenti a orientarsi in una presentazione complessa. Allora, credo che queste pagine possano dimostrare che la presentazione di una teoria non deve tralasciare la concretezza della realtà, ma anzi deve fondare il livello delle interpretazioni sui dati che scaturiscono dal mondo reale tenendo ben distinti le une dagli altri.

Tettonica delle placche: che cos'è?

«Esiste un quadro teorico complessivo, per la geofisica della terra solida, nel quale possono rientrare tutte le osservazioni e le loro estrapolazioni, sia per la Terra che per i pianeti terrestri. Questa nuova concezione dinamica omnicomprensiva della Terra ci consente di capire la natura della tettonica globale, la genesi dei differenti tipi di rocce eruttive e sedimentarie, la distribuzione e lo sviluppo nel tempo di piante ed animali in condizioni ambientali mutevoli ed altri fenomeni che non potrebbero essere spiegati semplicemente dall'idea, abituale prima degli anni Sessanta, della terra in stato stazionario.»

H.G. Owen, *La terra dinamica*, Jaca Book, Milano 1992.

¹ *Esplorare il pianeta per ricostruirne la storia, Intervista a Alfonso Bosellini, in Emmeciquadro n. 2, giugno 1998.*

Alfonso Bosellini, geologo che ha vissuto da protagonista i momenti più significativi della ricerca geologica negli ultimi quarant'anni, durante l'intervista rilasciata a *Emmeciquadro* nel 1998¹ raccontava come, ancora negli anni Settanta, sembrava eresia parlare dell'argomento nell'ambiente universitario e nella letteratura specialistica.

E così sintetizzava la questione: «La teoria della tettonica delle plac-

che dà una spiegazione unitaria, in maniera logica e coerente, di tutti i fenomeni che si osservano sulla Terra. Essa venne formulata compiutamente in tempi molto rapidi, tra il 1959 e il 1967, provocando nella geologia una rivoluzione paragonabile a quella provocata in biologia dalle teorie di Darwin. Negli ultimi trent'anni di studi, le navi per le ricerche hanno esplorato tutti gli oceani, hanno compiuto carotaggi in tutte le parti del mondo e hanno documentato al 90% la tettonica delle placche. [...] Dopo trent'anni dalla sua prima esposizione, i punti ancora oscuri riguardano soprattutto i fenomeni profondi, i moti convettivi che avvengono nel mantello e trascinano i continenti.»

La traccia indicata da Bosellini si è rivelata, a scuola, molto valida. Per motivi di spazio descrivo in questo contributo solo la prima parte del percorso: le tappe principali che hanno portato alla formulazione della teoria della Tettonica delle placche. Anche nella didattica questa fase non mette a fuoco tanto una cronologia, ma intende mostrare come l'osservazione, e lo studio analitico, dei fenomeni che avvengono sulla superficie della Terra hanno posto domande alla scienza e hanno suscitato nuovi campi di indagine mettendo all'opera l'ingegno di geologi, fisici e ricercatori.

Nella seconda parte del contributo, che sarà pubblicata nel prossimo numero, presenterò brevemente i cardini della teoria e come questi permettano di spiegare, a livello globale, i fenomeni sismici, vulcanici e orogenetici. Infine, come sempre nella scienza occorre fare, accennerò ai problemi ancora aperti e ai fenomeni che la teoria non spiega in modo soddisfacente.

I precedenti: la deriva dei continenti

Sono state le prime osservazioni sui profili delle coste continentali - e sulle strutture geologiche presenti - a suscitare l'idea che i continenti non siano sempre stati nella posizione in cui li vediamo oggi. Già Francesco Bacone, nel *Novum Organum* (1620), aveva evidenziato la sorprendente corrispondenza di forma tra la costa occidentale dell'Africa e la costa orientale del Sud America e, nei secoli successivi, molte teorie cercarono di spiegare questa corrispondenza in genere come risultato di qualche supposta catastrofe (per esempio lo sprofondamento di Atlantide). James Hutton, nell'Ottocento, aveva riconosciuto per primo le discordanze angolari esistenti tra i vari gruppi di rocce e aveva capito che i processi di trasformazione della Terra avvengono in tempi di milioni di anni. Mentre nel 1858, circa due secoli dopo Bacone, Antonio Sneider-Pellegrini (*La création e ses mystères dévoilés*) osservò una somiglianza tra le piante del Carbonifero in America e in Europa e per primo suggerì la possibilità che i continenti facessero un tempo parte di un'unica grande massa continentale.



LINEA DIRETTA



Eduard Suess (1831-1914)

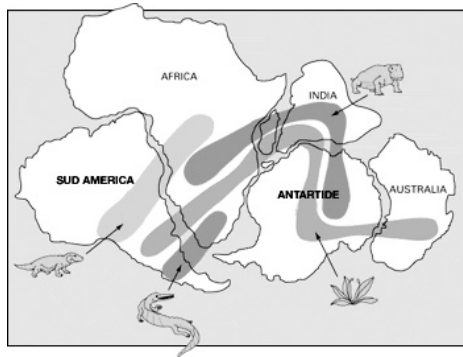


Alfred L. Wegener (1880-1930) durante la spedizione in Groenlandia in cui trovò la morte a soli 50 anni

Solo alla fine del XIX secolo i geologi intervennero in pieno nella questione.

Eduard Suess, austriaco, sostenitore della teoria della contrazione della Terra per raffreddamento, notò la corrispondenza tra le formazioni geologiche affioranti nell'emisfero meridionale e riunì idealmente le terre emerse in un unico continente che chiamò Gondwana. F.S. Taylor nel 1910 e Alfred L. Wegener nel 1912, indipendentemente uno dall'altro, suggerirono che la crosta terrestre avesse subito movimenti laterali e formularono l'ipotesi di una deriva dei continenti. Wegener conosceva solo una piccola parte delle informazioni disponibili oggi, eppure la sua teoria anticipò di molto alcuni aspetti fondamentali della concezione attuale: la sua idea fu discussa per decenni dai geofisici e infine rifiutata come improbabile. Nel 1912 le teorie prevalenti sulla formazione e l'evoluzione della Terra non potevano adattarsi alla deriva dei continenti: i geologi e i geofisici credevano allora che la Terra si fosse formata allo stato fuso e si stesse ancora solidificando e contraendo, modello che sembrava spiegare i tratti principali della superficie terrestre, ma non la corrispondenza delle coste se non come un fatto casuale.

Wegener, dall'analisi statistica della topografia, aveva trovato che la crosta è composta di due strati: uno superficiale più leggero (graniti) e uno inferiore più pesante (basalti, gabbri, eccetera) che dovrebbe costituire anche i fondali oceanici. Queste osservazioni erano confermate dalla misura delle variazioni locali della gravità terrestre, ma non erano compatibili con un modello in cui le variazioni derivano da sollevamenti e subsidenze casuali.



Wegener studiò le correlazioni geologiche e paleontologiche che rivelavano una stessa successione di eventi geologici sulle sponde dell'Atlantico e ipotizzò che circa duecento milioni di anni fa (all'inizio dell'era mesozoica) tutti i continenti fossero raggruppati a formare il Pangea.

In particolare, dal punto di vista paleontologico, aveva studiato la distribuzione del *Mesosaurus*, un piccolo rettile presente solo in Brasile e in Sud Africa, distribuzione che veniva spiegata tradizionalmente assumendo che un ponte di terraferma avesse collegato i due continenti e fosse sprofondato in periodi successivi, violando però il principio dell'isostasia: se la terraferma è meno densa come può affondare?

Punti fondamentali della teoria della deriva dei continenti di Wegener (1912)

- composizione della crosta: strato superficiale più leggero (graniti)
strato inferiore più pesante (basalti, gabbri, eccetera) anche sui fondali oceanici
(basata su analisi della topografia e confermata da misure gravitazionali)
- identica successione di eventi geologici sulle sponde dell'Atlantico
(basata su correlazioni geologiche e paleontologiche)
- Ipotesi del Pangea
- il moto dei continenti era dovuto all'azione delle maree sulla crosta

Tra i critici è interessante ricordare l'inglese Harold Jeffreys (1891-1989), anch'egli sostenitore della teoria della contrazione della Terra, che attaccò la teoria della deriva dei continenti in quello che era forse il suo punto più debole: la natura delle forze che potevano provocare il moto dei continenti.

Le basi geofisiche della deriva dei continenti vennero studiate tra il 1920 e il 1940, grazie soprattutto all'opera dell'inglese Arthur Holmes (1890-1965), oggi considerato uno dei più importanti geofisici del XX secolo.

Era un sostenitore della deriva dei continenti e aveva lavorato sulla radioattività delle rocce, sul tempo geologico e sulla petrogenesi, perciò cercò di spiegare il movimento dei continenti identificandone le cause nei processi che avvengono all'interno della Terra. Le sue ricerche lo avevano convinto che sotto la crosta oceanica doveva esserci uno strato di consistenza pastosa che chiamò astenosfera e che una parte del calore prodotto dalla radioattività avrebbe riscaldato il substrato.

Nel 1929 Holmes (seguito poi dall'olandese Vening Meinesz e dal sud africano Alex Du Toit) ipotizzò l'esistenza di moti termoconvettivi nel mantello considerando la necessità che una qualche forza mantenesse le irregolarità della crosta terrestre come apparivano da rilievi gravimetrici eseguiti nelle fosse e negli arcipelaghi del Pacifico.

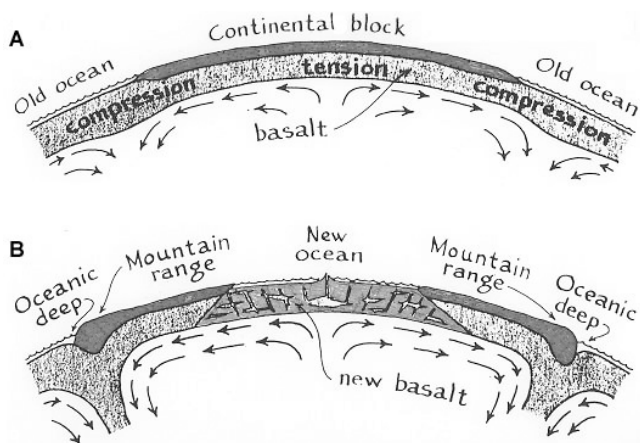
Holmes propose che le correnti convettive presenti nel mantello sotto un grande blocco continentale (per esempio il Pangea) creassero nella crosta forze di tensione.

La sua teoria fu contrastata sostenendo che la crosta e il mantello erano troppo rigidi per permettere movimenti su vasta scala, ma egli continuò per trent'anni a insegnarla ai suoi studenti e visse abbastanza a lungo per vedere convalidate (nel 1963) le sue ipotesi.



Arthur Holmes e la moglie Doris durante un'escursione geologica nel 1940

La deriva dei continenti, la formazione di un oceano e la formazione delle catene montuose rappresentate nello schema originale di Holmes del 1929





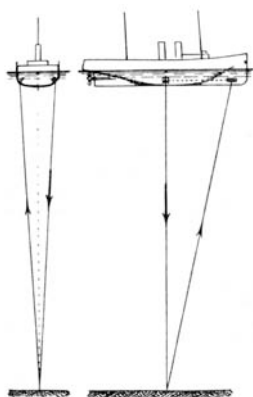
La raccolta dei dati

La geologia degli anni tra il 1950 e il 1960 si può configurare come una raccolta di dati sui fenomeni che avvengono sull'intero pianeta Terra; dati utili per un ragionare «a grande scala, anzi a scala globale» che portò ricchi frutti.

È significativo che questo sia avvenuto grazie al contributo di scienziati - spesso noti solo in una cerchia ristretta di addetti ai lavori - operanti in diverse aree di ricerca: nel campo dell'oceanografia man mano che si approfondiva lo studio morfologico dei fondali oceanici, nel campo della sismologia, nello studio dei fenomeni vulcanici e del magnetismo terrestre.

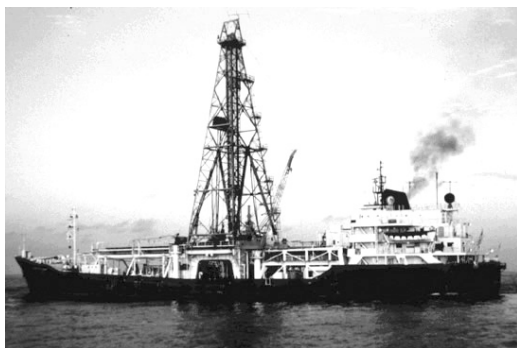
I dati dallo studio dei fondali oceanici

Siamo negli anni immediatamente successivi alla fine della seconda guerra mondiale e si cominciano a sfruttare tecnologie nuove (come per esempio l'*ecosonar* e i sistemi di carotaggio inventati per le ricerche petrolifere) per scoprire la morfologia, la costituzione e la dinamica dei fondali oceanici, per molti secoli «pensati» come immense distese piatte e silenziose. Risalgono al 1855 le prime carte batimetriche che segnalavano la presenza di catene montuose sottomarine nell'oceano Atlantico e si deve ai rilievi effettuati durante la prima guerra mondiale (1915-1918) la dimostrazione della dimensione e della continuità di quella che venne chiamata da allora dorsale medio-atlantica.

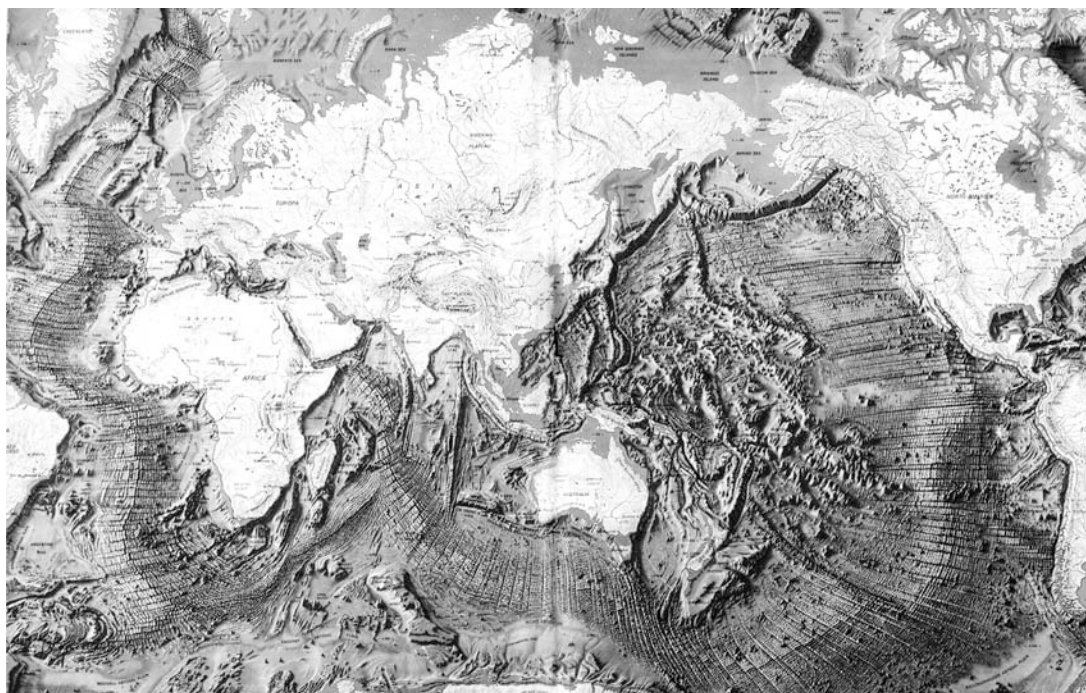


Le ricerche oceanografiche

- 1952 si costituisce l'*American Miscellaneous Society* (AMSOC) per studiare i fondali oceanici utilizzando tecniche di esplorazione sottomarina e metodi di perforazione profonda sviluppati dalle ricerche petrolifere
- 1957 le ricerche compiute con la nave CUSS I dimostrano l'esistenza di dorsali sottomarine in tutti gli oceani
- 1961 si comincia a ipotizzare che i fondali oceanici si siano formati per emissione di basalto dalle dorsali. Si costituisce il *Joint Oceanographic Institutions for Deep Earth Sampling* (JOIDES)
- 1966 inizia la fase I del *Deep Sea Drilling Project* (DSDP)
- 1967 Viene varata la *Glomar Challenger* (immagine a lato), la prima nave progettata apposta per studiare i fondali oceanici con il metodo del carotaggio profondo
- 1968 La prima spedizione raccoglie campioni intorno alla dorsale medio-atlantica; si conferma l'ipotesi vulcanica della formazione dei fondali oceanici
- 1970 - 1972 (fase II del DSDP) la *Glomar Challenger* esplora gli oceani documentando la deriva dei continenti e la formazione del fondale oceanico; inizia la fase internazionale del progetto, cui partecipano molte nazioni

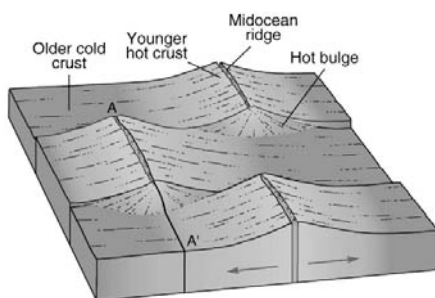


Negli anni tra il 1952 e il 1972 le ricerche oceanografiche fornirono una mappa dei fondali oceanici che evidenziava, in modo sorprendente, la presenza di immense catene montuose sottomarine - complessivamente lunghe più di 50000 km, in alcuni punti larghe più di 800 km e alte (rispetto al fondale) in media 4500 m - situate tra i continenti.



Si mise nuovamente in evidenza la corrispondenza delle forme dei continenti in particolare alla profondità media della scarpata continentale (isobata dei 2000 m) e vennero con più sistematicità datate le rocce.

John Tuzo Wilson (1908-1993), canadese, definito dal suo allievo Derek York un uomo che «fino alla sua morte non cessò mai di produrre idee», nel 1963 aveva identificato nei fondali un tipo particolare di faglie che chiamò faglie trasformati (immagine a lato) e aveva poi pubblicato un lavoro che si rivelò fondamentale intitolato *A New Class of Faults and their Bearing on Continental Drift*.



Morfologia dei fondali oceanici

- corrispondenza delle forme dei continenti alla profondità media della scarpata continentale (isobata dei 2000 m) e vennero con più sistematicità datate le rocce
- le faglie trasformati dimostrano che l'espansione dei fondali oceanici avviene per fasce separate



I dati dalla sismologia: terremoti e vulcani

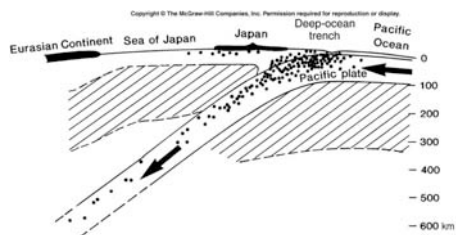
Intorno al 1930, mentre venivano messi a punto sismografi tecnologicamente avanzati, lo studio dei terremoti sembrava aprire nuovi promettenti campi di ricerca.

Nel 1935 il giapponese Kiyoo Wadati pubblicò un articolo in cui collegava i terremoti e i vulcani del Giappone con la deriva dei continenti; così si deve a lui la prima introduzione dell'espressione "zona di subduzione".

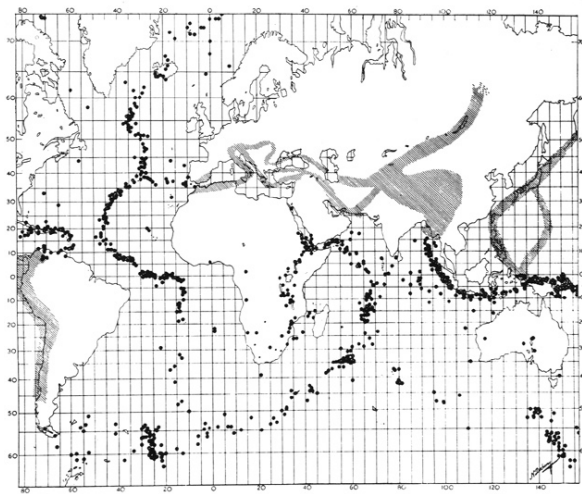
Ma i tempi non erano maturi per raccogliere quella che sarà uno dei fondamenti della tettonica delle placche.

Le ricerche sui terremoti, che ebbero una stasi durante il conflitto mondiale, ripresero con più intensità dopo la fine della seconda guerra mondiale: tra il 1945 e il 1950 vennero identificate parecchie zone sismiche parallele alle fosse e l'idea generale di Wadati fu riscoperta e generalizzata dal sismologo americano Hugo Benioff, ma pose molte domande sul fatto che gli epicentri dei terremoti erano molto profondi.

Queste zone vennero chiamate zone di Wadati-Benioff in onore dei due scienziati che per primi le riconobbero. Lo studio della sismicità globale progredì notevolmente negli anni



Mappa relativa alla distribuzione globale dei terremoti pubblicata dal sismologo francese Jean Paul Rothé nel 1954



Sessanta con la costituzione del *World-wide Standardized Seismograph Network* (WWSSN) una rete di rilevazione per monitorare le eventuali violazioni del trattato del 1963 che metteva al bando i test nucleari sotterranei. Così vennero ricostruite le mappe che localizzano precisamente sulla superficie del pianeta le aree in cui si concentrano i terremoti: soprattutto lungo le fosse oceaniche e le dorsali medio oceaniche.

Ma qual è il significato della connessione tra terremoti, fosse oceaniche e dorsali? Come vedremo, il riconoscere questa connessione aiutò a confermare l'ipotesi dell'espansione dei fondali oceanici identi-

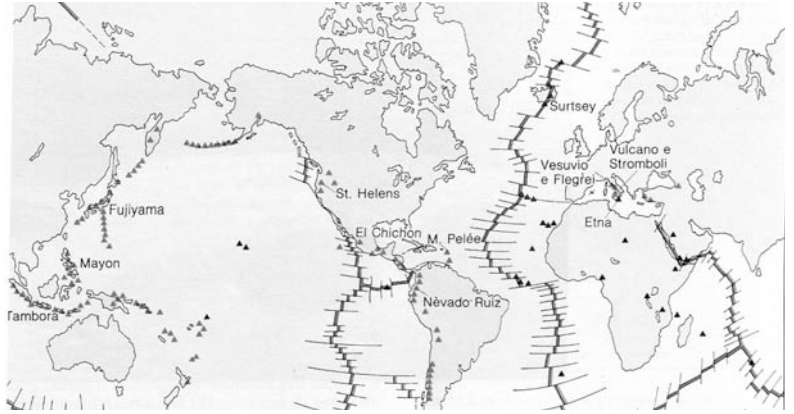
Gli studi sismici

- rivelano che i sedimenti dei fondali erano solo un sottile strato e che i vulcani e le isole sottomarine erano geologicamente giovani
- permettono l'identificazione delle zone di Wadati-Benioff
- identificano, tra 100 e 200 km sotto la superficie, una zona in cui la velocità di propagazione è più bassa e ciò suggerisce l'esistenza di una zona plastica (parzialmente fusa- astenosfera) su cui si può muovere la crosta terrestre grazie a celle di convezione



cando le zone dove Hess aveva predetto che si generasse nuova crosta e quelle dove la litosfera oceanica si reimmerge nel mantello.

I vulcani non sono distribuiti in modo casuale sulla superficie terrestre, ma si concentrano intorno ad aree instabili della crosta terrestre. Essi si trovano, per esempio, in corrispondenza di quella che viene chiamata cintura di fuoco, la linea di vulcani che circonda tutto l'oceano Pacifico. Essa è costituita da vulcani con attività di tipo



Mapa globale dei vulcani attivi in epoca storica

esplosiva e i magmi eruttati, piuttosto viscosi, sono per lo più di tipo andesitico (da ciò viene chiamata anche linea dell'andesite). Ci sono vulcani in corrispondenza delle dorsali, caratterizzati da magmi meno viscosi e sono quindi più fluidi e formano grandi espansioni lavici. Una zona dove è possibile osservare questo tipo di vulcanismo è l'Islanda, in quanto si può considerare un tratto di dorsale affiorante dall'oceano Atlantico. Un vulcanismo simile a quello delle dorsali si può osservare in Africa Orientale nella zona dei grandi laghi. E poi abbiamo i vulcani come quelli delle isole Hawaii con attività simile al vulcanismo delle dorsali oceaniche.

La distribuzione geografica dei vulcani coincide in grandissima parte con quella dei terremoti, indicando che sismicità e vulcanismo sono legati a una stessa causa.

Le fasce di rocce magnetizzate sui fondali

Siamo ancora intorno alla metà del XX secolo e gli scienziati trovano un altro modo nuovo per studiare le profondità oceaniche: adattano i magnetometri, usati negli anni della guerra per rivelare la presenza di sottomarini, e cominciano a riconoscere variazioni del magnetismo nelle rocce basaltiche che costituiscono il pavimento degli oceani.

La scoperta più sorprendente è la registrazione (effettuata da alcuni ricercatori americani e giapponesi in navigazione nelle vicinanze delle dorsali oceaniche atlantica e indiana), a quattromila metri sotto il livello del mare, sulle rocce dei fondali, di un fenomeno già registrato a terra: alcune colate basaltiche di origine antica mostravano l'orientazione del campo magnetico opposta a quella attuale (il polo Nord era al posto del polo Sud).



Dave Mason (il secondo da destra), con l'equipaggio di una delle navi che negli anni Cinquanta effettuarono rilevazioni magnetiche sui fondali oceanici.



LINEA DIRETTA

In quegli anni, mentre si costruivano le mappe magnetiche dei fondali, si cominciava riconoscere un andamento particolare nella distribuzione delle fasce di rocce magnetizzate: sul fondo degli oceani si alternavano fasce di rocce magnetizzate con polarità «normale» e fasce di rocce magnetizzate con polarità «inversa»; si scoprì poi, in modo sorprendente, che questo schema di magnetizzazione a strisce si ripeteva in modo simmetrico ai lati delle dorsali.

Anche se nel nostro percorso non è fondamentale, va notato che lo studio della magnetizzazione delle rocce nelle terre emerse aveva permesso a Patrick M. S. Blackett e a Stanley Keith Runcorn di notare che rocce formatesi in uno stesso periodo e presenti su continenti diversi erano orientate in modo diverso rispetto ai poli e questo - che sui testi scolastici viene chiamato «spostamento apparente dei poli magnetici» - costituiva una conferma della deriva dei continenti. Nella didattica occorre fare molta attenzione, perché spesso sia i testi, sia gli studenti, sovrappongono i due aspetti, inversione della polarità magnetica e spostamento dei poli magnetici e non riescono più a distinguere quali sono i dati e quali i fenomeni dimostrati.

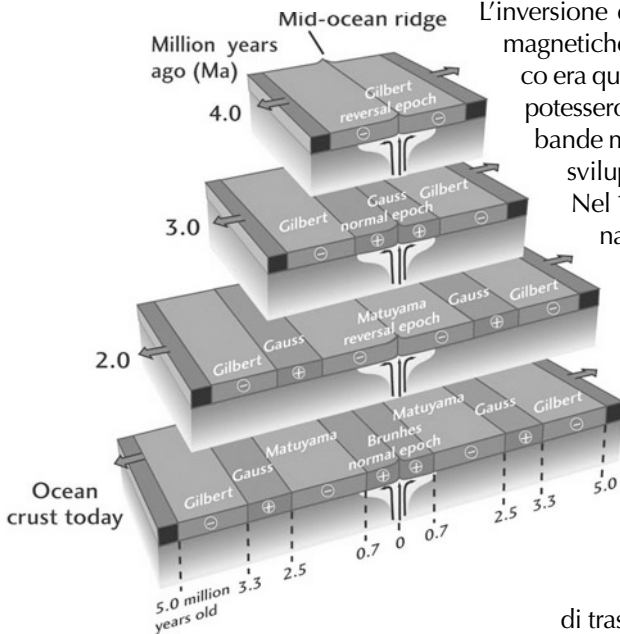
Nel 1962 gli scienziati del *Naval Oceanographic Office* degli Stati Uniti fornirono i dati sulle fasce magnetiche mappate per le rocce vulcaniche dei fondali oceanici. Questi dati furono presi in seria considerazione da Fredrick Vine, da Drummond Matthews e da Lawrence Morley. Nel 1963 essi ipotizzarono che le fasce magnetiche fossero prodotte da ripetute inversioni del campo magnetico terrestre, non, come prima si pensava, da cambiamenti nell'intensità del campo magnetico.

L'inversione dei poli era già stata dimostrata per le rocce magnetiche sui continenti e il passo successivo più logico era quello di vedere se queste inversioni magnetiche potessero essere correlate, in tempi geologici, con le bande magnetiche. Questo avvenne anche grazie allo sviluppo di nuove tecniche per datare le rocce.

Nel 1966 ancora Vine, Matthews e Morley paragonarono queste età note delle inversioni magnetiche con l'andamento delle bande magnetiche: era stata rilevata un'inversione della polarità del campo magnetico terrestre con un ritmo ben definito in un arco di tempo di 3,6 milioni di anni e lo stesso ritmo di inversione era stato osservato negli strati più antichi dei sedimenti oceanici. Contemporaneamente l'osservazione evidenziava il fatto che la crosta oceanica non si era formata tutta insieme. C'erano quindi i presupposti per ipotizzare l'avvenimento di trasformazioni nella crosta ancora più radicali di



Stanley Keith Runcorn
(1922-1995)



quelle ipotizzate da Wegener.

Come emerse in modo chiaro dalle molteplici comunicazioni che cercavano di stabilire una connessione tra tutti i dati raccolti, alla riunione della Società geologica Americana tenuta a San Francisco nel 1966, il magnetismo terrestre poteva rappresentare la chiave per costruire la storia dei fondali oceanici.

Le domande a cui rispondere erano: come si sono formate e perché hanno un andamento simmetrico. E una prima risposta ipotizzava quello che sarà poi chiamata espansione dei fondali oceanici.

Gli studi sul magnetismo terrestre permettono di ricostruire la storia dei fondali oceanici

- le rocce, al momento della loro formazione, si magnetizzano in modo corrispondente alla polarità del campo magnetico terrestre (paleomagnetismo)
- rocce formatesi in uno stesso periodo erano orientate in modo diverso rispetto ai poli (conferma dello spostamento dei continenti)
- magnetizzazione dei fondali oceanici: strisce simmetriche a partire dalle dorsali, invertono la polarità (come il campo magnetico terrestre con un ritmo ben definito in un arco di tempo di 3,6 milioni di anni) a conferma dell'espansione dei fondali

L'ipotesi fondamentale: l'espansione dei fondali oceanici

All'inizio degli anni Sessanta, Harry Hess (1906-1969) e Robert Sinclair Dietz formularono separatamente l'ipotesi che il sistema delle dorsali oceaniche fosse originato da correnti ascendenti del materiale del mantello che successivamente si espandeva verso l'esterno rinnovando i fondali. Essi capirono che la formazione continua di nuova crosta implica la sua distruzione.

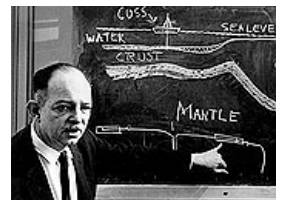
Hess si era interessato alla geologia dei fondali oceanici fin da quando prestava servizio in marina durante la seconda guerra mondiale; egli credeva in molte delle osservazioni che Wegener usava per difendere la sua teoria della deriva dei continenti, ma aveva punti di vista completamente diversi sui movimenti della Terra a grande scala.

Facendo riferimento ai lavori di Arthur Holmes, nel 1959 egli presentò l'ipotesi dell'espansione dei fondali oceanici in un manoscritto che circolò ampiamente tra gli scienziati e la pubblicò successivamente (1962) in un'opera intitolata *History of Ocean Basins* (1962) che si rivelò uno dei più importanti contributi allo sviluppo della tettonica delle placche.

L'ipotesi viene accolta con favore dagli scienziati che sostenevano che la Terra è in espansione ma non aveva cambiato le sue dimensioni dall'epoca della sua formazione, 4,6 miliardi di anni fa: come può aggiungersi nuova crosta senza che cambino le dimensioni?

Robert S. Dietz, geologo americano che lavorò soprattutto alla *Scripps Institution of Oceanography* (allora c'erano poche cattedre

Harry Hess mentre scrive la sua ipotesi





LINEA DIRETTA



Robert Dietz nel 1967 durante le ricerche sulla nave *Oceanographer*

universitarie in un campo di ricerca nuovo) fu un pioniere nello studio della geologia marina. Dopo la fine della seconda guerra mondiale aveva partecipato a diverse esplorazioni del bacino del Pacifico e aveva pubblicato parecchi lavori che esplicitavano alcune delle questioni fondamentali connesse alla teoria della tettonica delle placche, in particolare il concetto che egli chiamò per primo «espansione dei fondali oceanici».

Nella spedizione della *Glomar Challenger* del 1968 vennero prelevati molti campioni intorno alle dorsali; i risultati dell'analisi paleontologica e isotopica dei campioni prelevati portarono conferme all'ipotesi dell'espansione dei fondali oceanici. Mettendo in relazione queste scoperte con l'idea di Hess che le dorsali oceaniche corrispondessero a zone di risalita e di espansione dei materiali messi in movimento dalle correnti di convezione magmatica e che sprofondavano in corrispondenza delle fosse, si ipotizzò un «modello» dell'espansione dei fondali oceanici.

Il modello

Secondo le ipotesi di Hess, l'oceano Atlantico si stava espandendo, mentre l'oceano Pacifico si stava consumando. Mentre la vecchia crosta oceanica si stava consumando nelle fosse, nuovo magma fuoriusciva dalle dorsali oceaniche per formare nuova crosta. I fondali oceanici erano continuamente «riciclati» con la creazione di nuova crosta e la distruzione di vecchia litosfera oceanica contemporanea. Così l'idea di Hess dava ragione del perché la Terra non aumenta di dimensione, perché sono relativamente scarsi i sedimenti accumulati sui fondali oceanici e perché le rocce oceaniche sono molto più giovani delle rocce continentali.

Come abbiamo visto i contributi degli scienziati in diversi campi di indagine sono stati molto importanti ma la paternità dell'idea che la litosfera sia divisa in un certo numero di placche che scivolano sull'astenosfera si deve probabilmente a un giovane ricercatore di Princeton, Jason Morgan, che la espose nel 1967 a una riunione dell'*American Geophysical Union*, suscitando scarso entusiasmo.

Nel contempo gli inglesi Dan Mc Kenzie e Robert Parker pubblicarono su *Nature* una teoria simile fondata su argomenti di ordine sismologico. Sembra dunque che la teoria della tettonica delle placche sia nata da ingegni differenti e da ragionamenti indipendenti circa nello stesso periodo. Alcuni studiosi ritengono che questi fatti dimostrano che quando un'idea scientifica è «matura», la sua formulazione diventa quasi inevitabile. Ma di questa teoria e della sua potenzialità nello spiegare tutti i fenomeni che avvengono sulla superficie della Terra vedremo in seguito.

❖ (continua)

