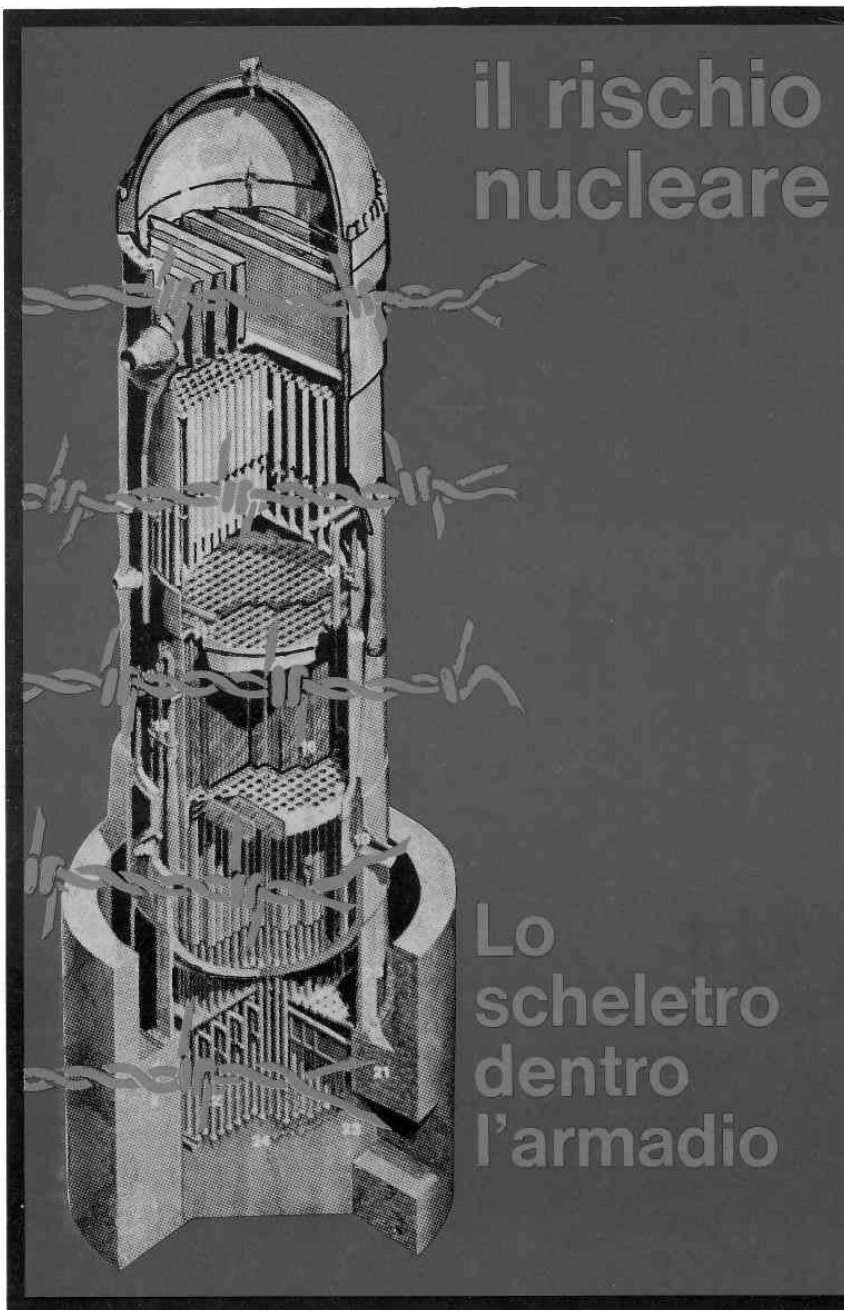


sapere

spedizione in abbon. postale gruppo III 70%

mensile / n. 819 / giugno 1979 / edizioni Dedalo / CL 22-9134-7 / lire 1.300



**il rischio
nucleare**

**Lo
scheletro
dentro
l'armadio**

S. Vaghi

**I padroni della
astronomia**

M. Ingrosso

**Lavoro scientifico
e capitale**

W. Ganapini

**Agricoltura
inquinante ed
inquinata**

U. Maggioli

**Informazione
e tendenze
di sviluppo
in agricoltura**

G. Calsamiglia

**Dalla deriva dei
continenti alla
tettonica a placche**

**TACCUINO
ESPERIENZE
INTERVENTI
LETTURE**

Storia della scienza e rapporti sociali

Prosegue con questi articoli di G. Calsamiglia e M. Ingrosso la serie « Storia della scienza e rapporti sociali » a cui hanno sinora contribuito C. Boldrighini e M. Tomei, La tecnica nell'antichità classica (n. 778); R. Falavigna, Teoria della relatività e obiettività della scienza (n. 783); R. Bergamini, S. Bergia, C. Morandi, La scienza tra uomo e natura (n. 792); F. Marchetti, Il metodo assiomatico nella matematica moderna (n. 800); F.P. Gliorioso, Dialettica e scienza (n. 801); E. Bellone, La scienza e i suoi nemici (n. 802); E. Donini, T. Tonietti, Conoscenza e pratica, e A. Baracca, S. Capraro, R. Livi, M. Pettini, A. Politi, S. Ruffo, Nemici per la pelle (n. 808); G. Scotto, Chimica e società tedesca nell'800 (n. 815).

All'interno del dibattito della stessa serie, nel ciclo « Scienze e seconda rivoluzione industriale » sono apparsi i contributi di G. Ciccotti e E. Donini, Sviluppo e crisi del meccanicismo (n. 786); A. Baracca e A. Russo, I primi sviluppi della teoria dei quanti (n. 794); A. Rossi, Epistemologia e prassi scientifica, I (n. 797) e II (n. 804); C. Boldrighini, L'insegnamento delle matematiche moderne e T. Tonietti, Algebra e teoria degli insiemi nell'insegnamento medio e superiore (n. 805); E. Donini, La meccanica quantistica tra Germania e Usa (n. 812); S. Ruffo e A. Russo, Modelli d'atomo e prassi scientifica ai primi del '900 (n. 818).

Dalla deriva dei continenti alla tettonica a placche

di Giorgio Calsamiglia

L'ipotesi di grandi spostamenti orizzontali delle masse continentali nel corso dei tempi geologici è oggi quasi unanimemente accettata, e, da almeno una decina d'anni, costituisce il punto indiscusso di riferimento, il paradigma¹, di gran parte della ricerca nel campo della geologia e delle discipline ad essa affini.

Contrariamente a quanto propone la storiografia tradizionale, l'affermarsi di tale paradigma nelle scienze della terra è stato tutt'altro che caratterizzato da una progressione lineare: più di 60 anni fa, A. Wegener e A. Du Toit formularono ipotesi del tutto simili a quelle attualmente accettate, incontrando complessivamente molta più ostilità che favori e, a partire dagli anni '30, si verificò un generale quanto apparentemente poco giustificato abbandono del dibattito sull'argomento, che venne ripreso solo negli anni '60.

A nostro parere, non è possibile rendere pienamente conto di una tale evoluzione senza assumere un criterio di indagine storica che considera lo sviluppo dei concetti scientifici come parte di un contesto storico sociale più vasto, nel quale esiste profonda interazione fra formulazione di ipotesi, il loro successo, e le gerarchie di valore, gli interessi materiali, gli orientamenti culturali e politici dominanti.

La tettonica a placche

Come è noto, l'assunzione dell'ipotesi di grandi spostamenti orizzontali nel quadro di un'interpretazione globale dell'evoluzione strutturale della superficie del nostro pianeta è oggi denominata tettonica a placche o zolle crostali: la litosfera, l'involucro ri-

gido più esterno della terra, viene considerata mobile rispetto alla sottostante e plastica astenosfera, e frammentata in grandi placche o zolle (figura 1), soggette a tre tipi di movimento reciproci, ai quali sarebbero da attribuire gran parte dei fenomeni più importanti che interessano le scienze della terra (vulcanismo, orogenesi², terremoti):

a) *movimenti divergenti*, di due placche che si allontanano, a partire da estese zone di natura vulcanica che vengono interpretate come grandi spaccature dalla astenosfera; tali zone sono in massima parte coincidenti con gli assi delle dorsali oceaniche, catena di rilievi sottomarini che si estende negli oceani per circa 70.000 km, e il fenomeno è stato pertanto chiamato « espansione dei fondi oceanici »: esso viene ipotizzato in base alla progressiva giovinezza geologica della crosta oceanica man mano che ci si avvicina alle dorsali; inoltre, le rocce del fondo presentano, simmetricamente e parallelamente alle dorsali, strisce contigue di anomalie magnetiche opposte, e ciò sembra spiegarsi solo ammettendo nel passato una determinata sequenza di inversioni del campo magnetico terrestre, e, contemporaneamente, a partire dalle dorsali, formazione di nuova crosta, che acquista così magnetizzazioni alternate a bande parallele;

b) *movimenti convergenti*, di due placche in collisione, dove una delle due finisce per « sprofondare » sotto l'altra (questo processo è chiamato subduzione) fino a fondersi e a diventare materiale indifferenziato del mantello, distruggendo, in tal modo, quantità di crosta pari a quelle che si formano in corrispondenza delle dorsali; la subduzione attiva è segnalata soprattutto da estese e ben de-

lineate fasce sismiche — come quelle di gran parte della «cintura circum-pacifica» —, caratterizzate da terremoti i cui ipocentri giacciono su una superficie immergentesi sotto la crosta, che ben può rappresentare l'andamento della zolla subdotta (figura 2).

Secondo diversi autori, è la stessa subduzione a determinare, oltre che i terremoti suddetti, una prima parziale fusione della parte superficiale della litosfera che sprofonda e la conseguente risalita di magmi che danno origine a quei fenomeni vulcanici così frequenti nelle adiacenze delle zone sismiche citate.

Nei modelli classici, quando nella subduzione sono coinvolte due masse continentali, la subduzione incontrerà maggiori difficoltà a causa della minore densità delle rocce che vi partecipano e quindi della loro resistenza isostatica³ allo sprofondamento; il processo sarebbe così destinato ad arrestarsi, mentre la zona interessata ritroverà il proprio equilibrio sollevandosi⁴; diventa in tal modo possibile reperire le forze orizzontali (collisione) e verticali (sollevamento) necessarie per rendere conto della formazione di strutture geologiche assai complesse come quelle di molte catene montuose;

c) *movimenti conservativi*, di due zolle adiacenti che slittano una rispetto all'altra lungo un margine, senza che si determini distruzione o formazione di nuova crosta. Margini di questo tipo vengono chiamati faglie trasformi e sono spesso sedi di eventi sismici di media profondità (la più nota è studiata faglia trasforme è quella di S. Andreas, che percorre tutta la California).

L'ipotesi più accreditata circa la natura del processo responsabile delle dinamiche descritte è quella che prevede l'esistenza di correnti di convezione termica la cui circolazione all'interno del mantello terrestre, interessando l'astenosfera, provocherebbe i movimenti delle placche. Non vi è tuttavia sufficiente chiarezza sulla geometria delle correnti, sulla loro genesi e sui motivi della loro costanza nel tempo; si può anzi sicuramente dire che questa ipotesi è oggi accettata più perché appare, nel quadro della tettonica a placche, l'unica spiegazione plausibile, che per formulazioni convincenti e dati diretti a sostegno.

Questo fatto è sicuramente sorprendente se si pensa che, mezzo secolo

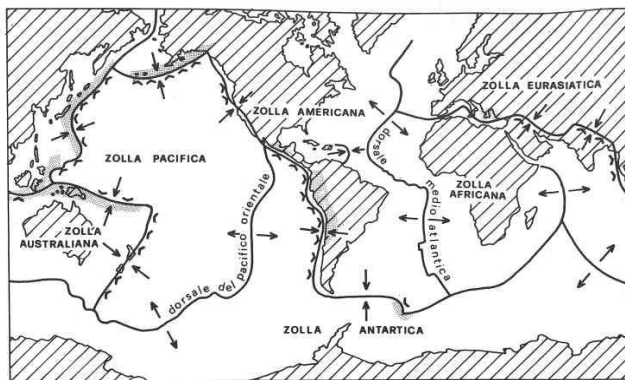


Fig. 1. Le principali zolle in cui, secondo la teoria attuale, risulta suddivisa la litosfera terrestre. Dove le frecce divergono si ha distensione e formazione di nuova crosta. Dove le frecce convergono avviene lo sprofondamento di una zolla sotto l'altra. In questo modo si rende conto degli spostamenti relativi delle terre emerse senza ricorrere all'ipotesi di uno «scivolamento» dei continenti sopra i fondi oceanici.

fa, il motivo principale per cui, almeno apparentemente, non vennero accettate le idee di Wegener, fu proprio la lacunosità del meccanismo da lui proposto per spiegare la deriva continentale.

A. Wegener e la deriva dei continenti

Wegener non fu il primo sostenitore della mobilità orizzontale delle masse continentali, ma a lui certamente occorre riconoscere la prima ricerca sistematica di prove per suffragare questa ipotesi e una grande tenacia nel sostenerla per tutta la sua vita. Come egli stesso riferisce, l'idea gli fu suggerita, intorno al 1910, dalla constatazione della corrispondenza morfologica fra coste africane e sudamericane, che lo portava ad ipotizzare una precedente unione fra i due continenti; quando poi, l'anno successivo, ebbe occasione di esaminare una relazione che riportava le identità di reperti paleontologici fra tali coste, si convinse ad approfondire la propria intuizione.

Astronomo e metereologo, Wegener era sufficientemente estraneo all'ambiente sclerotico e chiuso della geologia ufficiale del tempo da non avere reticenze nel cogliere e sottoporre ad analisi critica le difficoltà nelle quali già versava il paradigma ottocentesco che reggeva le scienze della terra.

I geologi e i geofisici ritenevano allora quasi unanimemente che il modello — risalente a C. Lyell — di un pianeta in contrazione per raffreddamento spiegasse sufficientemente bene le principali caratteristiche della superficie terrestre: la contrazione avrebbe dato origine alle catene montuose, in analogia alle increspature di una mela che si secca e si raggrinzisce, e l'innalzamento avrebbe fagliato e portato al collasso alcuni settori della crosta, creando le depressioni occupate dagli oceani. Col tempo, poi, alcune aree continentali rimaste emerse, sprofondando con velocità maggiore rispetto alle adiacenti, sarebbero state invase dal mare, mentre le parti più stabili del fondo oceanico sarebbero ritornate ad emergere.

In definitiva si ipotizzava una quasi totale interscambiabilità fra continenti ed oceani, spiegando in tal modo la presenza di depositi marini sulle aree attualmente emerse. Così, le somiglianze o le identità fra numerose specie faunistiche presenti su continenti lontani, apparentemente inspiegabili per motivi di isolamento genetico, venivano risolte teorizzando la esistenza di «ponti» di terraferma che in passato avrebbero collegato le masse continentali, e sarebbero poi sprofondati al livello del fondo oceanico.

Queste concezioni, culminate nell'ampio trattato di E. Suess, *Das Antlitz*

der Erde, pubblicato agli inizi del secolo, costituivano il quadro di riferimento principale di una scienza sostanzialmente a cavallo fra l'impostazione naturalistico-filosofica caratteristica delle grandi dispute dei secoli precedenti e le crescenti spinte ad una sua più «moderna» ristrutturazione in termini di scienza sperimentale delle risorse naturali, spinte interpretate soprattutto dalla geofisica, branca più legata ad interessi economici e alla evoluzione già in corso nelle altre scienze.

Wegener attaccò il paradigma dominante proprio partendo da considerazioni di natura geofisica: nel 1912 tenne una conferenza a Francoforte e pubblicò due brevi articoli intitolati *Die Entstehung der Kontinente und Ozeane*, in cui affrontava direttamente gli argomenti geofisici che evidenziavano le lacune e le contraddizioni della teoria ortodossa.

Dall'analisi statistica della topografia terrestre risultava evidente come una grande percentuale della superficie fosse concentrata su due quote, corrispondenti una al livello delle aree continentali, l'altra a quello dei fondi oceanici. Una tale distribuzione risultava incompatibile con la teoria della contrazione, secondo la quale le variazioni in elevazione erano in defini-

tiva casuali: in tal caso, infatti, si sarebbe dovuto registrare una distribuzione gaussiana delle quote.

Inoltre, osservava Wegener, la scoperta della radioattività delle rocce e del calore da esse emanato poneva seri problemi sulla validità di un modello di raffreddamento del pianeta come quello in auge; tale modello risultava anche del tutto insoddisfacente a chiarire la localizzazione molto disomogenea dei corrugamenti montuosi, che, stando all'analogia con la mela avvizzita, avrebbero dovuto essere più uniformemente distribuiti.

La distribuzione effettiva delle quote diveniva invece plausibile ipotizzando, in accordo con le misure gravimetriche e con il principio di isostasia (Airy, 1859; Pratt, 1895), una crosta composta da due grandi strati, uno costituente i continenti e l'altro i fondi oceanici: il primo, composto prevalentemente di silicati di alluminio (Sial), si troverebbe, per la sua minore densità, a «galleggiare» sul secondo, composto di silicati di magnesio (Sima).

Ma ciò escludeva la presunta interscambiabilità fra aree oceaniche e continentali, poiché non si poteva spiegare come fosse possibile una così ampia alterazione degli equilibri, e per lo stesso motivo crollava la possi-

bilità dell'esistenza degli antichi ponti intercontinentali: una ragione di più, quindi, per postulare una diretta unione dei continenti nel passato geologico, a spiegazione delle corrispondenze faunistiche.

Del resto, scriveva Wegener, se ammettiamo che i blocchi continentali possano disporsi in equilibrio verticale, non vi è ragione per non prevedere la possibilità di spostamenti orizzontali; assumendo questo punto di vista, egli trovò una vasta serie di corrispondenze di carattere geologico, paleontologico e paleoclimatico fra le coste di diversi continenti, tale da permettergli il famoso paragone con i frammenti di un giornale che, se riavvicinati, forniscono la prova della validità della ricostruzione attraverso la coincidenza di numerose righe di stampa.

La ricostruzione effettuata da Wegener proponeva l'esistenza, nel Mesozoico, di un supercontinente, la «Pangea», successivamente frammentatosi: le Americhe avrebbero iniziato a separarsi da Europa ed Africa nel Cretaceo, e la resistenza offerta dal Sima allo spostamento verso Ovest avrebbe determinato la formazione delle Cordigliere occidentali americane, mentre le Antille e le isole del

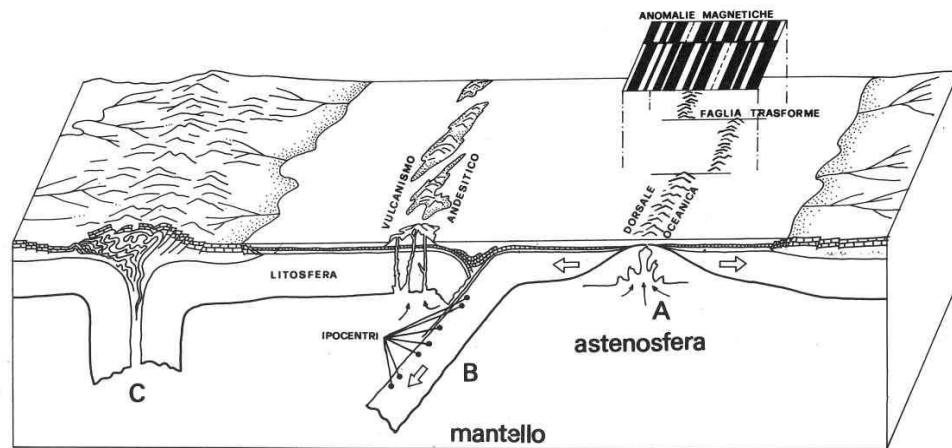


Fig. 2. Modello generale degli spostamenti delle zolle secondo la teoria attuale. Nella zona A le zolle divergono e la risalita del materiale dalla astenosfera forma nuova crosta oceanica, che assume magnetizzazioni alternate a bande parallele, a causa delle inversioni del campo magnetico terrestre. Nella zona B è rappresentato lo sprofondamento (subduzione) di zolla oceanica ai margini di un continente: la parziale fusione della sua crosta genera il vulcanismo di tipo andesitico. Nella zona C sono delineati gli effetti dell'interazione fra due zolle «continentali», dove la subduzione ha determinato la formazione di una catena di montagne (orogenesi).

mar della Scozia sarebbero frammenti minori di Sial rimasti indietro.

Nel Giurassico avrebbe cominciato ad aprirsi l'Oceano Indiano, e dal Cretacico al Terziario l'India stessa, in movimento verso Nord, avrebbe causato il corrugamento himalayano. Australia e Nuova Guinea, legate all'Antartide fino all'Eocene, si sarebbero spostate verso Nord alla fine del Terziario (figura 3).

Wegener pubblicò in forma estesa le sue ipotesi nel 1915⁵, in un testo che ebbe successive edizioni nel 1920, 1922 e 1929, nell'ultima delle quali gli arricchimenti sulle corrispondenze geologiche dei continenti meridionali furono dovuti alla collaborazione con A. Du Toit⁶, che, autonomamente, aveva elaborato una teoria simile.

Come abbiamo cercato di esporre, le argomentazioni di Wegener erano tutt'altro che fragili e fantasiose: la impossibilità di coniugare l'ortodossia contrazionista con l'isostasia, la paleontologia con la geofisica, e la difficoltà a sostenere che tutte le corrispondenze geologiche e paleontologiche trovate fossero frutto di pure coincidenze, erano indubbiamente punti importanti a suo favore; il vecchio paradigma era quantomeno incrinato, e nessun altro se ne profilava all'orizzonte; la coerenza dell'impianto e la fecondità dell'approccio mobilista di Wegener erano in grado, come vedremo, di fondare un nuovo programma di ricerca; in questa direzione si sarebbe dunque potuta supporre una svolta storica nelle scienze della terra di quegli anni, ma le cose andarono diversamente.

La replica a Wegener

Le reazioni del mondo scientifico furono inizialmente abbastanza diversificate: si andava dal consenso di geofisici e paleontologi allo scetticismo o all'indignazione dei geologi; prevalente fu comunque l'indifferenza, che si avviò a diventare antagonismo solo verso la metà degli anni venti.

Nel 1925 Harold Jeffreys pubblicò un trattato dal titolo *La terra*⁷, nel quale entrava nel merito della natura delle forze ritenute da Wegener responsabili della deriva continentale.

Secondo Wegener, le caratteristiche chimico fisiche dei materiali costituenti la crosta, sollecitati dinamicamente, avrebbero potuto essere paragonate a quelle della pece, che a sforzi rapidi reagisce come un solido elastico, acquistando invece comportamenti da flu-

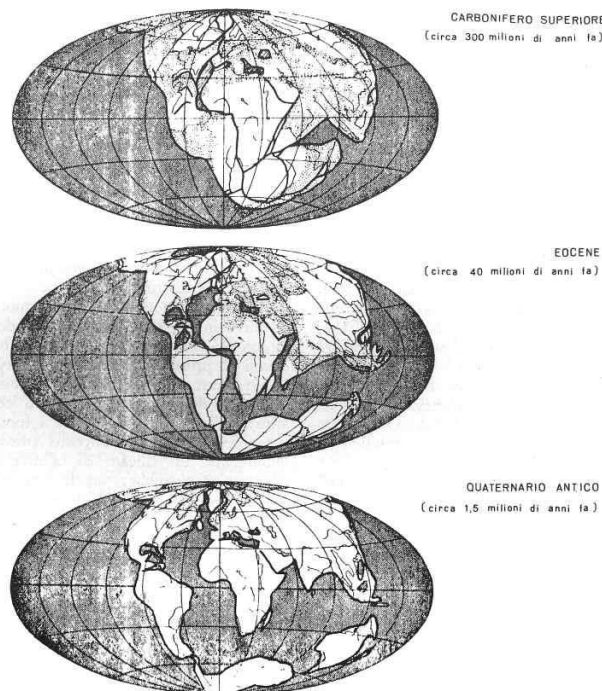


Fig. 3. Ricostruzione della carta della Terra secondo l'ipotesi della deriva dei continenti di Wegener. Nel Carbonifero i continenti erano riuniti in un unico supercontinente (Pangea); successivamente è iniziata la deriva che avrebbe portato alla disposizione attuale. Zona tratteggiata: oceani; zona punteggiata: mari poco profondi; zona bianca: terre emerse.

do in presenza di azioni più deboli ma persistenti; con queste premesse egli aveva proposto due tipi di forze motrici possibili: le forze della Poliflucht (fuga dai poli), componenti gravitazionali agenti verso l'equatore già studiate dall'ungherese R. Eötvös, e le forze di marea, responsabili dei movimenti verso occidente.

Jeffreys calcolò che entrambe queste forze non erano in grado di comportare spostamento dei continenti, essendo le prime manifestamente troppo deboli, e le seconde tali per cui, se fossero state abbastanza intense da causare la deriva, avrebbero provocato in breve tempo anche l'arresto della rotazione terrestre.

Il dibattito ebbe il suo culmine nel 1926, in occasione del simposio organizzato sull'argomento dalla associazione americana dei geologi del petro-

lio (AAPG), nel quale la maggioranza dei relatori si mostrò contraria alle ipotesi di Wegener⁸.

Vennero espresse obiezioni circa l'imprecisione dell'incastro fra i continenti atlantici e sollevati dubbi in merito alla rigorosità di alcune corrispondenze geologiche e paleoclimatiche.

Molti si chiedevano per quale motivo la Pangea fosse rimasta a lungo un supercontinente unito per scindersi poi in tempi geologicamente tanto brevi; altri ancora sottolinearono l'impossibilità di spiegare i corrugamenti montuosi precedenti la scissione, e le difficoltà connesse alla presenza della dorsale medio-atlantica, che doveva implicare uno spostamento verso Est dell'Africa, non previsto dalla teoria. Inoltre, se le zattere sialiche navigassero su un Sima supposto meno rigido, come era possibile che esso provocasse

un retromovimento tale da determinare la formazione delle cordigliere americane, e che i fondi oceanici presentassero rilievi e strutture tipiche delle aree continentali?

Ma l'argomento forte dell'opposizione rimaneva quello sulla natura delle forze motrici: i calcoli di Jeffreys apparivano a tutti più convincenti delle repliche di Wegener. Di questi si arrivò a dire (E. Berry) che era talmente intossicato dalla propria idea da confondere convinzioni soggettive con fatti oggettivi.

Wegener non riuscì a fronteggiare l'ondata di critiche e di pubblicazioni a lui contrarie: nell'ultima edizione del suo libro rispose solo indirettamente ad alcune obiezioni, limitandosi ad integrare il testo con nuove prove a sostegno della sua ipotesi; egli sottolineava comunque che, se non si volevano ignorare i dati empirici, una forza motrice doveva pure essere trovata, anche se «per la teoria della deriva dei continenti non è ancora nato un Newton».

Solo un anno più tardi, nel 1930, Wegener perse la vita mentre guidava una spedizione meteorologica in Groenlandia.

Declino della teoria e contesto storico in cui avvenne

Come abbiamo accennato, a partire da quegli anni il dibattito sulla teoria subì una notevole flessione, e ciò malgrado le critiche mosse a Wegener fossero tutt'altro che esaurienti e le obiezioni insuperabili.

Già alla fine degli anni '20, infatti, prima J. Joly e poi A. Holmes⁹, riprendendo un'idea di Ampferer, avevano introdotto il concetto di correnti termiche convettive interne al mantello terrestre: il primo le aveva considerate responsabili dei movimenti orogenetici verticali, accennando solo parzialmente a possibili implicazioni con la deriva; Holmes, invece, andò assai oltre, e propose un meccanismo per cui le correnti convettive, risalendo e dividendosi sotto i continenti, provocherebbero tensioni e spaccature, allontanando i frammenti continentali come su un nastro trasportatore: il crepaccio apertosi sarebbe quindi stato riempito dal magma, formando il fondo oceanico. Questa idea, nelle sue linee generali, anticipava di trenta anni la tettonica a placche.

Da parte sua, Du Toit, integrò con nuove prove l'opera di Wegener e ricostruì con maggiore precisione la Pan-

gea, dividendola in due supercontinenti, la settentrionale Laurasia e la meridionale Gondwana, con storie parzialmente indipendenti; in particolare, egli interpretò anche i corrugamenti premesozoici come effetto della deriva, superando così molte obiezioni presentate al congresso della AAPG.

Ma tutto ciò sembrò contare assai poco, così come il fatto che illustri nomi della geologia del tempo, da H. Daly a E. Argan a R. Staub, si richiamassero sempre più insistentemente, nei loro lavori, a movimenti orizzontali dei continenti.

Le contraddizioni evidenziate da Wegener permanevano, e ben pochi, ormai, cercavano di rivitalizzare il vecchio paradigma; le basi teoriche della futura tettonica a placche erano praticamente tutte già individuate; ciononostante, non si ebbe conversione di ricerche in questa direzione, e ognuno ripiegò sulla propria specializzazione: pubblicazioni e convegni sull'argomento diminuirono assai rapidamente e la deriva continentale venne presto considerata e menzionata, nelle lezioni universitarie, come una fantasia del passato, un suo sostenitore rischiava, negli anni del '30 ad oltre il '50, di giocarsi la carriera.

Per quali motivi avvenne tutto ciò? L'accusa di ottusità nei confronti dei geologi del tempo è troppo superficiale per essere verosimile; quantomeno, l'insensibilità e l'ostilità di una intera comunità scientifica non possono avere radici puramente soggettive.

A nostro avviso un buon punto di vista per inquadrare gli avvenimenti è fornito dalla riflessione su quella che fu la vera svolta delle scienze della terra negli anni '20: lo sviluppo impetuoso della geologia del petrolio.

Da un decennio ormai la crescente utilizzazione dei motori a scoppio e Diesel, nonché le strade aperte alla grande industria chimica dall'impiego dei derivati del petrolio, avevano prodotto un forte aumento della domanda dell'importanza strategica degli idrocarburi, rendendo urgente un salto qualitativo nei criteri e nelle tecniche di ricognizione e di individuazione dei giacimenti. Già all'inizio degli anni '20 molti furono gli studiosi impegnati in questa direzione ed altri vi si convertirono rapidamente: vennero fondate le basi delle correlazioni stratigrafiche con lo studio dei microfossili dei giacimenti ed approfonditi gli studi sulle condizioni geologiche di formazione delle «trappole» petrolifere; in particolare, si svilupparono notevolmente le prospezioni geofisiche: la sismica di

rifrazione, i metodi gravimetrici, e successivamente la sismica di riflessione subirono grandi perfezionamenti, e vennero per la prima volta utilizzati con successo nella scoperta dei giacimenti. Parallelamente alla sintonizzazione di tutte le scienze alla seconda rivoluzione industriale, anche se le scienze della terra subivano così mutamenti di direzione e di impostazione: nuovi e promettenti orizzonti si aprivano a specializzazioni e ricerche sperimentali finalizzate in senso non «naturalistico», proiettate in una direzione di più immediata utilizzabilità economico-produttiva. In un contesto in cui andavano mutando gli stimoli finanziari e intellettuali e le regole di successo, si formava una mentalità in cui cambiava radicalmente la gerarchia delle domande più importanti a cui rispondere. Nelle comunità scientifiche dei paesi più industrializzati, ed in particolar modo negli USA, le nuove generazioni crescevano in un clima di nuova efficienza e parcellizzazione del lavoro.

In questo quadro non è difficile scorgere le radici del mancato successo della deriva, e si può capire perché i più tenaci oppositori si siano rivelati proprio i geofisici, coloro cioè che appena un decennio prima si erano mostrati fra i più aperti nei confronti delle idee di Wegener: sulla scia dei successi conseguiti nella geologia del petrolio, essi erano in pochi anni divenuti i portabandiera della svolta pragmatico-efficientista in corso, poco conciliabile con una proposta teorica e di ricerca, quella di Wegener, che non sembrava stimolare approfondimenti nelle specializzazioni più affermate e non prospettava applicazioni pratiche visibili.

Dietro l'opposizione a Wegener vi è quindi l'opposizione ad un approccio qualitativo-globale alle scienze della terra considerato non in sintonia con gli orientamenti da seguire: non a caso, nel quadro del mutamento di prassi scientifica che si realizza negli anni '20, argomentazioni quantitative come quelle di Jeffreys e pareri (negativi) degli «specialisti» acquistano, come mai precedentemente, peso determinante.

Dalla deriva dei continenti alla tettonica a placche

A partire dagli anni '50, un crescente convogliamento di interessi, di attenzione e di studi si realizza intorno ai fondi oceanici: piattaforme continentali, dorsali, piane abissali, fondo e sot-

to fondo marino diventano, nell'immediato dopoguerra, oggetto di numerose indagini tese a determinarne le caratteristiche morfologiche e le proprietà geofisiche; le esplorazioni oceanografiche e le attività ad esse connesse subiscono un impulso che nel giro di pochi anni porta a decuplicare mezzi finanziari e tempi di ricerca.

Alla radice di tale fenomeno vi è indubbiamente il grande interesse militare e strategico che i fondi oceanici hanno assunto a partire dalla seconda guerra mondiale: navigazione e comunicazioni via oceano richiedono ormai conoscenze assai più dettagliate, ma soprattutto il controllo politico-militare (e quindi anche scientifico) degli oceani assume un rilievo particolare nel quadro degli equilibri imperialistici fra le grandi potenze; negli USA, paese dove si produce lo sforzo più intenso in questa direzione, le ricerche vengono finanziate e coordinate direttamente dall'United States Office of Naval Research, cioè dalla marina militare statunitense.

Occorre anche considerare che precisi interessi economici si innestano su quelli politici: il problema del reperimento delle risorse, infatti, raggiunge una soglia che fa intravedere la possibile economicità dello sfruttamento minerario dei fondi marini: l'attenzione maggiore è sempre riservata al petrolio, le cui riserve continentali cominciano ad impoverirsi, ma una certa attrazione è esercitata anche dai noduli di manganese, la cui massiccia presenza sui fondi oceanici era nota già da parecchi decenni, ed il cui contenuto in metalli pregiati fa presagire future possibilità di coltivazione.

Si determinano dunque le condizioni per un salto qualitativo nei problemi che si pongono alle scienze della terra: le numerose ricerche che si mettono in moto negli anni '50 assumono gradualmente una nuova proiezione strategica, pur mantenendo marcate finalizzazioni pratiche e riflessi immediati: le spedizioni oceanografiche rilevano la morfologia, il magnetismo e la sismicità del fondo marino, e ne misurano il flusso di calore, avendo come obiettivo immediato la compilazione di carte più precise e lo studio delle correnti; accanto a queste attività si inserisce complementariamente lo studio della crosta oceanica, eseguito attraverso metodi geofisici notevolmente perfezionati e carotaggi profondi¹⁰.

All'inizio degli anni '60, sullo slancio del rinnovato interesse e delle più dettagliate conoscenze acquisite, in particolare rispetto alle dorsali (morfologia,

sismicità, elevato flusso di calore, vulcanismo), nasce l'ipotesi dell'espansione dei fondi oceanici, formulata da R. Dietz (1961) e da H. Hess (1962)¹¹; essa si fonda su una duplice interpretazione: le dorsali vengono viste come strutture di distensione ed i piani di sismicità immergenti verso l'esterno del Pacifico, sotto i bordi continentali o gli archi insulari, sono posti in relazione con correnti convettive discendenti: se ne ricava, per quanto riguarda il Pacifico, l'esistenza di un doppio anello di convezione che determina risalita del mantello terrestre in corrispondenza delle dorsali, scorrimento della crosta oceanica e sua immersione ai bordi dell'oceano. Questa ipotesi, che ancora non implica movimenti delle aree continentali, troverà sostegno nella già accennata interpretazione, ad opera di F. Vine e D. Matthews¹², delle anomalie magnetiche osservate parallelamente alle dorsali.

E' nel 1965 che J. Wilson pubblica un lavoro sulle faglie dell'Atlantico, dove si propone per la prima volta il collegamento fra le zone mobili in un reticolato continuo, che divide la superficie terrestre in numerose placche soggette a movimenti reciproci¹³; pochi anni più tardi (1968), J. Morgan e X. Le Pichon¹⁴, e successivamente J. Dewey¹⁵, delineano il quadro della tettonica globale sintetizzata all'inizio di questo articolo.

Il successo della tettonica a placche

La differenza più profonda fra deriva dei continenti e tettonica a placche risiede indubbiamente nella diversità fra i rispettivi modelli di mobilità orizzontale: nel primo caso, infatti, i continenti vengono considerati come navi rompighiaccio che si aprono la strada lungo i fondi oceanici, mentre nel secondo appaiono più come elementi passivi trascinati da nastri trasportatori che si generano da una parte e si consumano da un'altra; la superficie di scorrimento non è più il limite chimico fra Sial e Sima, ma un limite di natura fisica più profondo che distingue litosfera e astenosfera.

Abbiamo visto tuttavia che i presupposti per un simile perfezionamento-superamento del modello di Wegener erano già tutti contenuti nei lavori di Holmes, e risulta pertanto arduo giustificare l'abbandono e la successiva ripresa dell'ipotesi mobilista contrapponendo i due modelli, tanto più che, come detto, in quello attuale non sono

ancora chiariti i meccanismi della convezione termica.

Neppure risultano fondate altre argomentazioni portate dalla storiografia tradizionale¹⁶ secondo le quali il successo della teoria odierna è dovuto al suffragio di «prove indipendenti», prima inesistenti, fornite dal magnetismo fossile. E' sicuramente vero che oggi abbiamo a disposizione più informazioni di quante ne potessero disporre Wegener e Holmes, ma queste «prove», che consistono in interpretazioni di dati secondo l'ipotesi dell'espansione oceanica, non sono più «indipendenti» di quanto lo fossero fra loro le correlazioni paleoclimatiche, paleontologiche e geologiche riportate nei lavori degli anni '20, e non possono essere quindi considerate decisive. Si ripropone dunque la necessità di un'ottica più ampia per rendere pienamente conto dell'affermarsi della tettonica a placche alla fine degli anni sessanta; in particolare, sicuramente determinante nel successo del nuovo programma di ricerca è il mutamento di orientamenti, la «disponibilità» che si viene formando nella comunità scientifica, conseguenza della accennata conversione di studi verso i fondi oceanici, che coinvolge nel dopoguerra molti dei più importanti centri di ricerca. Man mano che questi sono investiti da interessi militari ed economici di più ampio respiro, si fa strada una lungimiranza sostanzialmente rifiutata nel trentennio precedente.

I risultati ottenuti dalle esplorazioni di M. Ewing, dallo Scripps Institute californiano e dal Lamont Laboratory della Columbia University, ed il successo loro accreditato, fanno sì che l'oceano divenga sempre più «interessante» per geologi e geofisici; una teoria generale acquista gradualmente ragione d'essere, motivata anche dalla necessità di cercare e selezionare informazioni, e di attuare previsioni, relative ad un campo di indagine sostanzialmente nuovo, la cui vastità e la cui difficoltà nel reperimento dei dati rendono dispersiva e dispendiosa la ricerca. Inoltre, assumendo la mobilità delle placche, si intravede la possibilità di formulare finalmente modelli per i fenomeni sismici.

In definitiva, il programma di ricerca che si va delineando, principalmente negli USA, riceve consensi proprio perché, essendosi modificate le richieste e gli stimoli finanziari ed intellettuali, diventa possibile e trasparente una connessione fra risultati ottenibili e risultati che è «importante» ottenere (nella ricerca mineraria, in sismologia etc.).

Occorre anche considerare che nella fase storica di cui stiamo parlando la potenza economica politica (e scientifica) USA è tale da esercitare un dominio internazionale quasi incontrastato e da imporre una divisione internazionale del lavoro anche nel campo della ricerca scientifica: un programma di ricerca che ha successo oltre oceano ben difficilmente viene messo seriamente in discussione, almeno nei paesi che come il nostro fanno parte del sistema di alleanze USA.

Questo per capire come mai, benché tutt'oggi esistano almeno due alternative dotate di una certa dignità teorica alla tettonica a placche, rappresentate dalla scuola sovietica¹⁷ e dalle ipotesi di espansione del diametro terrestre¹⁸, non vi sia praticamente dibattito su di esse e a livello divulgativo siano in Italia assolutamente sconosciute. Non è certo nostra intenzione esprimere qui affrettati giudizi di valore sulla tettonica a zolle e sulle sue possibili alternative, tuttavia, in un contesto culturale dove ogni teoria che ottiene successo viene presentata come «verità» indubitabile o come tappa di una marcia lineare e univoca della Scienza, queste note ci sembrano sicuramente utili.

Giorgio Calsamiglia

porta alla formazione delle catene montuose.

³ L'isostasia è la tendenza all'equilibrio idrostatico fra le masse continentali e la parte inferiore della litosfera. Le prime, meno dense, si troverebbero a «galleggiare» sulla seconda.

⁴ Nei modelli più recenti, tuttavia, si tende a suddividere la crosta (parte superiore della litosfera) in due strati a densità diverse, separati da un diaframma viscoso. Nella subduzione continente/continente o crosta oceanica/continente, si potrebbe verificare lo scollamento della crosta superficiale continentale, meno densa, che fornisce materiale ai corrugamenti montuosi, mentre la crosta inferiore e la rimanente litosfera, che risultano avere densità pari a quella della crosta oceanica, potrebbero sprofondare. In tal modo è possibile ipotizzare sia la subduzione di zolla continentale sotto quella oceanica, sia il non arresto della subduzione che coinvolge due masse continentali, adattando meglio la teoria ai dati geofisici (catena delle Ande, Himalaya etc.).

⁵ Wegener A., *Die Entstehung der Kontinente und Ozeane*, Vieweg & Sohn, Braunschweig, 1929; traduzione italiana: *La formazione dei continenti e degli oceani*, Boringhieri, Torino 1964.

⁶ Du Toit A., *A geological comparison of South America with South Africa*, Carnegie Inst., Wash. Publ., 381, 1927.

⁷ Jeffreys H., *The Earth: its origin, history and physical constitution*, Cambridge Univ. Press, 1924.

⁸ Cfr. Von Waterschoot van der Gracht W. et al., *Theory of continental drift: a symposium*; «American Association of Petroleum Geologists», Tulsa, 1928.

⁹ Holmes A., *Radioactivity and earth movements*, «Trans. geol. Soc.», Glasgow, 18, 1929.

¹⁰ Il sostegno economico alle spedizioni oceanografiche da parte delle società petrolifere inizia a farsi consistente verso la fine degli anni '50: i finanziamenti puntano, più che ad improbabili scoperte di petrolio, al reperimento di notizie utili, su eventuali altri tipi di giacimenti, ed insieme a stimolare lo sviluppo di tecnologie più sofisticate di esplorazione e sfruttamento della crosta oceanica, da poter successivamente trasferire sui fondali più bassi delle piattaforme continentali, sede di già intense attività estrattive.

¹¹ Dietz R., *Continental and ocean basin evolution by spreading of the sea floor*, «Nature», 190, 1961. Hess H., *History of ocean basins*; in A. Engel et al. ed., *Petrologic studies: a volume in honor of A.F. Buddington*, «Geol. Soc. of America», Colorado 1962.

¹² Vine F. e Matthews D., *Magnetic anomalies over oceanic ridges*, «Nature», 199, 1963.

¹³ Wilson G., *A new class of faults and their bearing on continental drift*, «Nature», 207, 1965.

¹⁴ Morgan W., *Rises, trenches, great faults and crustal blocks*, «Jour. of Geophys. Res.», 73, 1968. Le Pichon X., *Sea floor spreading and continental drift*, «Jour. of Geophys. Res.», 73, 1968.

¹⁵ Dewey J., *Plate tectonics*, «Scientific American», 226, 1972.

¹⁶ Si veda ad esempio, Takeuchi H., Uye-da S., Kanamori H., *Debate about the Earth*, Freeman, Cooper & C., S. Francisco, 1967; traduzione italiana, *La deriva*

dei continenti, Boringhieri, Torino 1970, p. 89.

¹⁷ La tettonica dei sovietici (V. Belousov, A. Bogdanov, M.V. Muratov) appare più attenta a rendere conto delle disposizioni geologiche determinatesi nella fase finale dell'orogènesi: ne consegue una maggiore importanza attribuita alle dislocazioni verticali che a quelle orizzontali, ritenute essenzialmente una conseguenza delle prime, dovuta alla gravità. Rimane quindi dominante, in Urss, il paradigma fissista, secondo il quale non vi sarebbe stata nei tempi geologici una apprezzabile variazione delle posizioni dei continenti e degli oceani; questi ultimi si sarebbero originati con un processo di oceanizzazione in situ, di natura magmatica.

Una tale impostazione non è esente da difficoltà: per spiegare le anomalie magnetiche parallele alle dorsali è necessario concepire un sistema di colate sottomarine di estensione regolarmente decrescente nel tempo (fatto abbastanza improbabile), ed inoltre risulta problematico rendere conto dei dati del paleomagnetismo continentale, che sembrano coincidere solo se si ammettono spostamenti orizzontali e rotazioni delle terre emerse.

Tuttavia occorre riconoscere che, relativamente agli scopi originari (descrizione dell'orogènesi), la tettonica sovietica «funziona» spesso assai bene, e che le critiche a quelle che vengono ritenute quantomeno estrapolazioni arbitrarie della tettonica a placche, sono quasi sempre ben argomentate.

Rimane l'impressione di un atteggiamento teorico «prudente» ed insieme eclettico, che potrebbe avere radici nel ritardato interesse dell'Urss per i fondi oceanici — e quindi per una tettonica globale —, date le grandi ricchezze minerarie ancora presenti nel paese; in definitiva si tratta di un approccio alle scienze della terra che preferisce utilizzare modelli meno complessi, ma ritenuti al momento i più efficaci, senza troppe preoccupazioni di coerenza: di qui il verticalismo nella geologia ufficiale, e, a fianco, il mobilismo orizzontale utilizzato in sismologia.

¹⁸ Si tratta di un filo di ricerca abbastanza recente, sostenuto da diversi geologi e fisici in tutto il mondo (Egyed, Carey, Jordan, Hilgenberg ecc.), dei quali il più noto è forse S.W. Carey: egli sostiene che l'espansione dei fondi oceanici può essere messa in relazione, anziché con la subduzione, con l'aumento del diametro terrestre, fenomeno che risulterebbe in accordo con le ipotesi cosmologiche di diminuzione della costante di gravitazione universale. Pertanto, anche le zone dove si ritiene avvenga subduzione andrebbero interpretate come strutture di distensione e non di compressione. Carey, come i sovietici, ritiene l'orogènesi un processo dovuto essenzialmente a movimenti verticali, e, criticando come troppo semplificati i modelli geodinamici in auge, sostiene che occorre considerare l'inclinazione del nostro pianeta sull'eclittica e l'azione gravitazionale di pianeti e pianetoidi come variabili assai importanti nella geologia, in quanto responsabili degli equilibri gravitativi della crosta.

Si tratta di ipotesi che per la prima volta legano una parte delle scienze della terra all'astrofisica: ipotesi tutto sommato attualmente «scomode», che sono state finora sostanzialmente ignorate o liquidate con eccessiva sufficienza dalla geologia ufficiale.