

F1 - Elementi di sismologia

Le seguenti 'slides' costituiscono solo una base per lo sviluppo delle lezioni e, pertanto, non sostituiscono i testi consigliati

Il *terremoto* è un fenomeno naturale dovuto alla continua evoluzione della crosta terrestre. Si manifesta all'improvviso, con rapidi scuotimenti del suolo.

Quando le scosse avvengono in un luogo abitato dall'uomo e superano una certa soglia, il terremoto può provocare un *disastro*, inteso come interazione distruttiva tra l'evento e i caratteri delle costruzioni.

Dopo un disastro, nulla è più come prima: le *vittime* costituiscono una perdita così grande da non poter essere misurata; i *danni economici e sociali* o sono irrecuperabili, o sono recuperabili solo a lungo termine.



Tra tutti i disastri naturali, il terremoto è quello che incute più paura, come ha ben messo in evidenza Giovanni Vivenzio, che con queste parole apre la sua

I S T O R I A D E' T R E M U O T I

Avvenuti nella Provincia della Calabria ulteriore,
e nella Città di Messina

NELL'ANNO 1783.

E di quanto nella Calabria fu fatto per lo suo
riforgimento fino al 1787.

Preceduta da una Teoria, ed Istoria Generale de' Tremuoti

D I

GIOVANNI VIVENZIO

CAVALIERE DELL' ORDINE REGALE, E MILITARE
COSTANTINIANO DI S. GIORGIO

Primo Medico delle LL. MM., Direttore de' Regali Militari Spedali delle Sicilie,
e delle pubbliche Cattedre di Fisica Sperimentale, Medicina Pratica, Anatomia,
Ostetricia, e Chirurgia, e Protomedico Generale del Regno.

*Membro dell' Accademia Imperiale delle Scienze di Pietroburgo, delle Società Regali
di Medicina di Parigi, e Patriottica di Milano, Socio, e Confore
dell' Accademia Regale degli Speculatori di Lecce, ec.*

VOLUME PRIMO.



C. del.

C. inc.

NAPOLI MDCCLXXXVIII.

NELLA STAMPERIA REGALE.

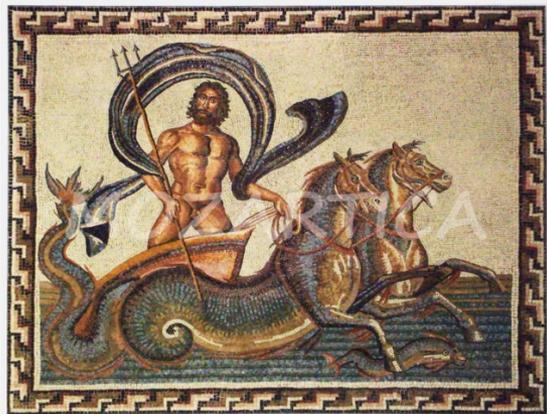


RA i flagelli distruggitori, non credo, che ve
ne fia alcuno, che inspira più profondamente il terrore,
e lo spavento, quanto il Tremuoto. Il suolo, che si
abita non è più un luogo di sicurezza; le abitazioni asili
ordinarj contro i nembi, e le tempeste, sono da temersi
più del male medesimo; il seno della Terra, che potreb-
be essere un sicuro ricovero contro il fulmine (1), cessa
di esserlo, allorchè il nostro Globo, soffrendo delle con-
vulsioni, e degli squarci, sembra di essere scosso fin dalle
sue più profonde fondamenta. I suoi disgraziati Abitatori
pallidi, e tremanti abbandonano i loro ricetti, e dub-
biosi dove dirigere il cammino, si allontanano, fuggen-
do dalla lor Patria, la quale per ogni dove non altro
presenta loro, che l'immagine della morte, e mille og-
getti di orrore: essi temono in ogni momento di veder-
si aprire dinanzi abissi spaventevoli, pronti ad ingo-
jarli.

Nell'antichità non si sapeva nulla della causa dei terremoti, che spesso erano interpretati come *prodigi*.

In tutte le culture e in tutte le epoche passate, infatti, si sono succeduti *miti* che attribuiscono ai terremoti cause soprannaturali. In questo modo i nostri antenati provavano a spiegare fenomeni naturali altrimenti incomprensibili, e a esorcizzare la paura di nuovi disastri.

Per gli antichi **Greci** era il dio del mare, **Poseidone**, a provocare i terremoti. Era un dio irascibile e vendicativo, che non perdeva mai l'occasione per dimostrare il suo potere distruttivo. Ogni sua irritazione si traduceva in uno scuotimento, che faceva tremare tutta la Terra.



In **India**, gli Hindu immaginavano la terra sostenuta da quattro possenti elefanti, appoggiati sulla schiena di una tartaruga, che, a sua volta, si trova in equilibrio su di un cobra. Quando uno di questi animali si muove, la Terra trema.

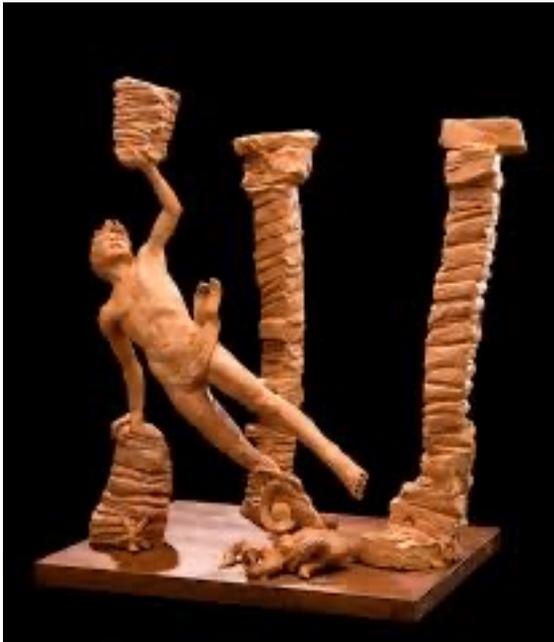


Nel mito *giapponese*, il responsabile dei terremoti è un *pescegatto* gigante, il *Namazu*, che vive sottoterra tenuto sotto controllo dal dio *Kashima*, protettore dai terremoti. Kashima impedisce i movimenti del Namazu tenendogli la testa schiacciata sotto una grande roccia. Tuttavia, non appena Kashima si stanca e abbassa la guardia, il Namazu si agita scuotendo la Terra.



Con le sue continue scosse, l'area del Mediterraneo ha ispirato da sempre storie e leggende legate ai terremoti. Una di queste nasce in Sicilia, e risale intorno al 1200, e vede protagonista un giovane soprannominato Colapesce per la sua abilità di muoversi sott'acqua.

Durante una delle sue immersioni profonde, Colapesce vide che la Sicilia posava su tre colonne, delle quali una piena di vistose crepe. Secondo la tradizione, Colapesce non riemerse più sostituendosi alla colonna per evitare che l'isola sprofondasse. Ma ogni tanto Colapesce, stanco di sorreggere sempre sulla stessa spalla la colonna di Capo Pelòro, la passa sull'altra spalla e in quel momento la terra trema.

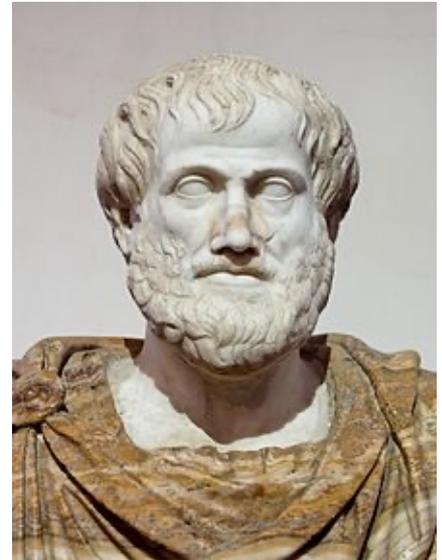


Insieme al fiorire di miti, credenze popolari e superstizioni, sin dall'antichità anche la *filosofia naturale*, indicata in latino come *philosophia naturalis*, si è occupata dei terremoti.

Antesignana della fisica e della scienza moderna, la filosofia naturale ha rappresentato per molti secoli l'avanguardia dell'indagine scientifica, coniugando l'osservazione sperimentale con le riflessioni e le argomentazioni filosofiche, al fine della *comprensione dei fenomeni naturali*.

Per primi, i filosofi greci pensarono che i terremoti avessero un'origine naturale. Tra tutte le numerose teorie che furono enunciate, quella di *Aristotele* (IV secolo a.C.), nota come *teoria pneumatica*, resterà una delle principali per molti secoli, a causa del ruolo fondamentale che le sue opere ebbero per tutto il Medioevo.

Aristotele riteneva che il terremoto era dovuto all'aria imprigionata nelle cavità poste all'interno della Terra. Per effetto del calore interno e dei raggi del Sole, quest'aria tende a muoversi, dando origine a un vento sotterraneo, detto *pneuma*. All'aumentare della pressione, il vento sotterraneo tende a uscire all'aperto, provocando il terremoto.



Tracce di questa teoria si trovano persino nell'Enrico IV di Shakespeare. Dice, infatti, il personaggio Hotspur: “*La natura inferma prorompe spesso in strane eruzioni; sovente la feconda terra è tormentata da una specie di colica, a motivo dei venti impetuosi imprigionati nel suo ventre, i quali facendo forza per uscir fuori, scuotono l'antica madre e abbattono i campanili e le torri coperte di muschio*”.

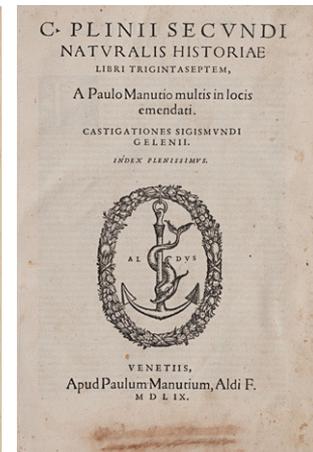
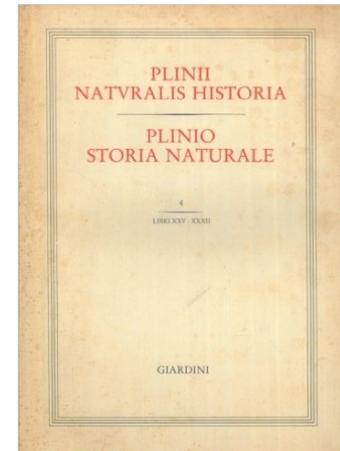
Il filosofo romano *Seneca* (I secolo d.C.) dedicò il sesto libro delle *Naturales Quaestiones* ai terremoti, in cui esamina tutte le teorie precedentemente proposte per individuarne le cause.

Seneca mostra che, in maggioranza, la causa era attribuita all'aria intrappolata (12-24), con cui concorda anch'egli (24, 1) riassumendo così la sua visione (25, 1): *“Quando l'aria ha completamente occupato, muovendosi con veemenza, lo spazio vuoto della terra e ha cominciato a scontrarsi accanitamente, nell'intento di uscirne, percuote con insistenza le pareti stesse tra cui è nascosta, sopra le quali sono talora collocate delle città. Le scosse che esse ne ricevono sono talvolta così volente che gli edifici che ci stanno sopra crollano; ...”*



Anche lo scrittore e naturalista *Plinio il Vecchio* (I secolo d.C.) nella sua ponderosa enciclopedia *Naturalis Historia* affrontò la questione dei terremoti, suggerendo l'impiego di pozzi attorno agli edifici per favorire l'*esalazione del vento sotterraneo*, e l'impiego negli edifici di strutture ad arco e di forti cantonali.

È utile notare che quest'opera è stata il testo di riferimento in materia di conoscenze scientifiche e tecniche fino al Rinascimento e anche dopo.



Il terremoto come punizione divina

Per il lungo periodo *medievale* (circa mille anni), la precarietà della vita quotidiana, elaborata in accordo al pensiero religioso, induceva ad accettare una calamità distruttiva come il terremoto in chiave etica e spirituale.

Le devastazioni sismiche erano considerate una *punizione divina* necessaria per il ravvedimento morale, a causa del cattivo operare dell'umanità e dei *peccati* accumulati. Con i terremoti, tuttavia, morivano anche i giusti e gli innocenti: era una realtà evidente, che veniva spiegata con gli imperscrutabili disegni della Provvidenza Divina.



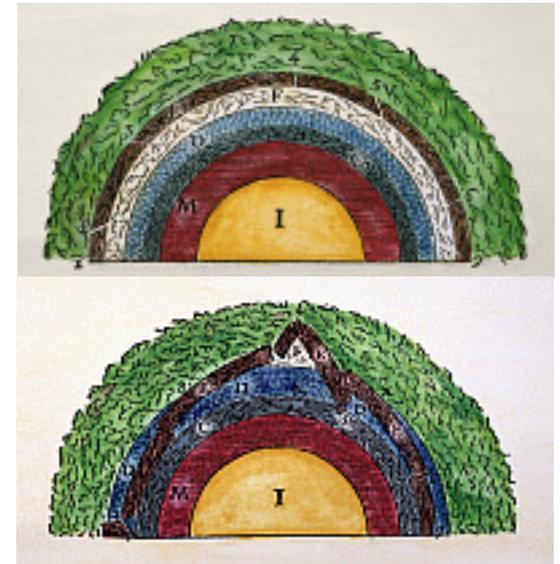
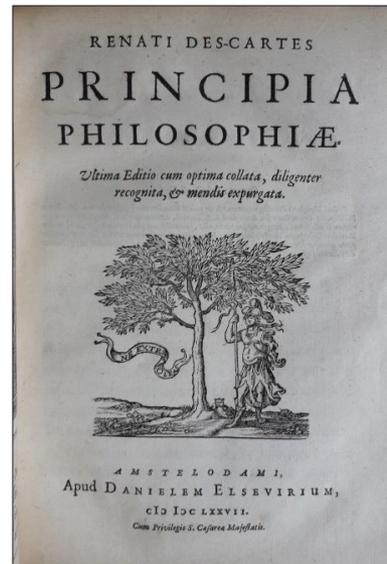
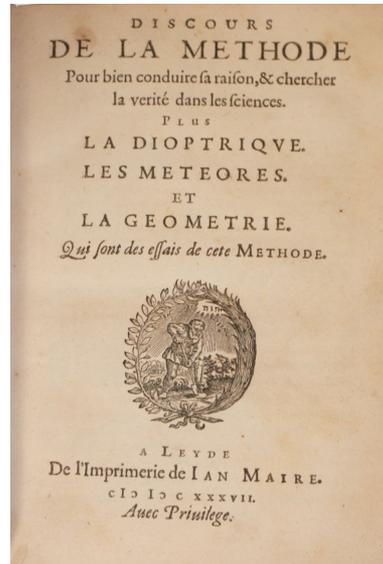
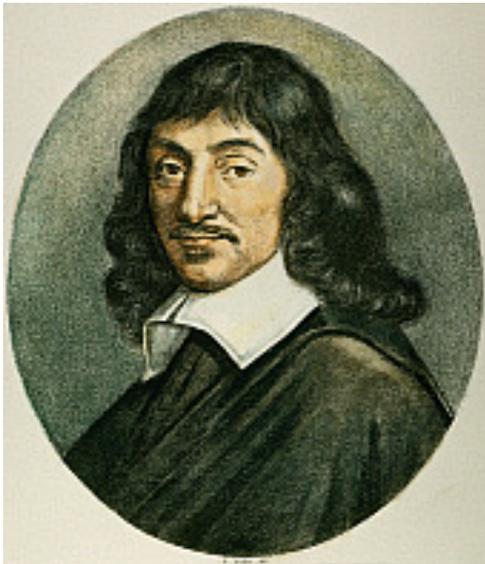
Nel medesimo periodo, le spiegazioni sull'origine naturale dei terremoti non videro alcun progresso: la teoria di Aristotele dei venti sotterranei rimase l'unica disponibile e la realizzazione di pozzi accanto agli edifici fu l'unico rimedio indicato nei trattati antichi fino al Quattrocento.

I progressi nel Seicento

Nel Seicento si aprì una nuova fase del pensiero, basata su un'idea meccanicistica della natura, che portò a una diversa e innovativa concezione del mondo.

Secondo alcuni pensatori, infatti, l'universo è una gigantesca macchina, in cui ogni fenomeno si evolve secondo un principio di causa-effetto governato da precise leggi matematiche.

La figura più importante di questa corrente del pensiero, denominata **Meccanicismo**, fu il filosofo e matematico francese René Descartes (1596-1650), che nei suoi trattati *Discours de la méthode* e *Principia philosophiae* pose i fondamenti della nuova visione del mondo.



Questa nuova concezione della natura, come materia in movimento che può essere descritto da rigorose leggi matematiche, cambiò anche l'approccio allo studio dei fenomeni geodinamici e ai loro effetti, consolidando l'interpretazione del **terremoto** come **fenomeno naturale**.

La teoria dell'inizio del Settecento

Nei primi decenni del Settecento si era andata diffondendo la teoria dell'*elettricismo* (antica denominazione dell'*elettricità*), sostenuta anche da importanti scienziati che studiavano la trasmissione delle scariche elettriche al suolo indipendentemente dal terremoto.

Secondo questa teoria i terremoti avvengono per la difficoltà che trova l'elettricismo per rientrare all'interno della Terra e raggiungere gli strati umidi al di sotto della superficie, provocando così esplosioni sotterranee.

Contemporaneamente venivano sviluppate altre teorie, come quella dovuta al fisico francese Guillaume Amontons (1663-1705) che attribuiva la causa del terremoto all'*aria compressa* imprigionata nel sottosuolo. Quest'aria, nel tentativo di espandersi, determinava il crollo di pareti di caverne sotterranee, facendo così vibrare la crosta terrestre.

Quest'idea era in qualche modo connessa ai coevi esperimenti sui fucili ad aria compressa e si presentava come una variante modernizzata della teoria aristotelica.

Tuttavia, nonostante il diffondersi di diverse teorie che attribuivano il terremoto a cause naturali, la sua interpretazione in chiave soprannaturale e religiosa era ancora molto viva. Proprio in quegli anni, infatti, veniva conferita a Sant'Emidio la qualità di protettore dal terremoto ...



Il Santo protettore contro il terremoto

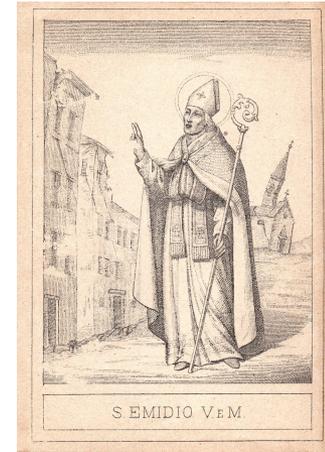
Sant'Emidio

Sant'Emidio (273-309) è il santo patrono della città e della diocesi di Ascoli Piceno e della cittadina di Leporano, **protettore** contro il **terremoto**.

Questa qualità gli viene riconosciuta molti secoli dopo la sua morte, nel 1703. Quell'anno, nei mesi di gennaio e febbraio, l'Italia centrale è funestata da una serie di terremoti devastanti, che colpiscono in particolare Norcia, Amatrice e l'Aquila, ma Ascoli ne viene preservata: nonostante la violenza delle scosse, infatti, gli edifici subiscono danni piuttosto lievi. Inoltre, gli ascolani che per diverse ragioni si trovano nei luoghi più colpiti, scampano - spesso fortunatamente - alla morte.

Come se non bastasse, c'era anche chi sosteneva che la protezione del patrono di Ascoli si fosse estesa anche a quei forestieri che avevano cominciato a invocare l'aiuto, dopo aver notato come i loro conoscenti ascolani tendessero a cavarsela anche nelle situazioni sismicamente più pericolose.

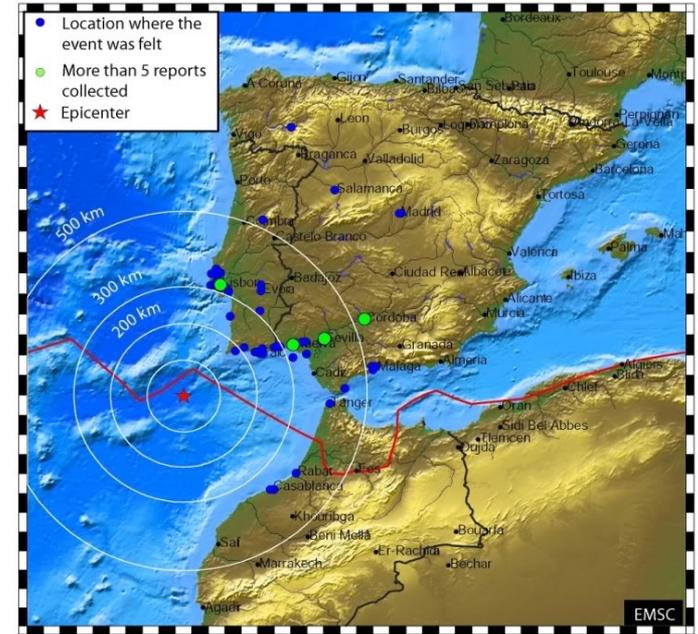
Cominciò così a svilupparsi la consuetudine di invocare sant'Emidio come protettore contro il terremoto. Una devozione che si diffonderà gradualmente non solo in Italia, ma anche all'estero e che è viva anche al giorno d'oggi.



Il terremoto di Lisbona del 1 novembre 1755

Il 1 novembre 1755 un forte terremoto, seguito da un imponente maremoto, colpì Lisbona radendola al suolo e provocando almeno 60.000 vittime. Dopo il terremoto scoppiò anche un violento incendio e in breve la città fu ridotta in cenere. Il terremoto fu sentito anche in quasi tutta Europa e distruzioni e vittime si ebbero anche in Marocco e in Algeria.

L'evento provocò un grande sconvolgimento nel mondo religioso. Lisbona, infatti, era la capitale del Portogallo, Paese fortemente cattolico che nei tempi precedenti aveva prodotto un grande sforzo di cristianizzazione ed evangelizzazione delle colonie. Tuttavia il sisma avvenne il giorno della festa di Ognissanti e distrusse le chiese più importanti. Per i teologi e i filosofi del XVIII secolo, questa inaudita manifestazione della collera divina rimase un mistero assai difficile da spiegare.



L'origine del dibattito

Il terremoto di Lisbona, avvenuto in piena età *illuministica*, costituì un punto di svolta nel modo di affrontare il problema del terremoto. L'ampio dibattito internazionale che ne seguì coinvolse i maggiori pensatori dell'epoca, e determinò un profondo cambiamento nel pensiero filosofico e in tutta la cultura europea.

Nel secolo dominato da un'incrollabile fede nella ragione umana, la nascita della *filosofia del disastro* condusse gradualmente verso la perdita della fiducia nell'ottimismo e nel progresso dell'umanità e della convinzione che quello presente fosse il migliore dei mondi possibili.

Anche il giovane filosofo tedesco Immanuel Kant si appassionò all'avvenimento, raccogliendo tutte le informazioni disponibili.

Contrariamente a molti dei suoi contemporanei che interpretavano il terremoto in chiave religiosa, Kant formulò una personale teoria sulla loro origine fondata su osservazioni razionali.

La sua teoria, espressa in tre scritti successivi, attribuiva la causa all'esplosione di gas caldi infiammabili contenuti in gigantesche caverne presenti nel sottosuolo per effetto del fuoco sotterraneo.

Kant, inoltre, affermò correttamente che le *grandi onde marine* - che oggi chiamiamo *tsunami* - sono provocate da moti sismici verticali del fondo del mare.



Il concetto di *onde sismiche*

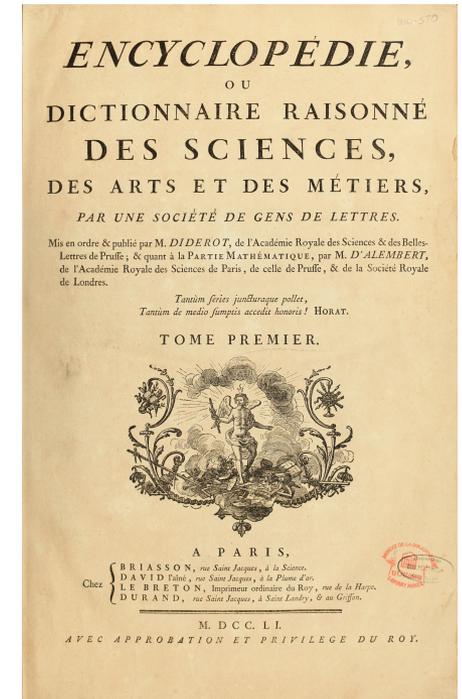
Tra i numerosi scritti che seguirono il terremoto di Lisbona, Desmarest nel 1756 pubblicò una memoria molto significativa del mutamento in atto del pensiero filosofico e scientifico. In tale memoria, la propagazione del moto sismico è spiegato attraverso il concetto di *onda*, prodotta dalla percussione di particelle successive. Si legge infatti:

“... non si tratta di spiegare le cause del terremoto, bensì di comprendere il meccanismo di propagazione delle onde sismiche ...”

Si tratta ovviamente solo di una congettura svolta razionalmente secondo i canoni delle scienze descrittive, ma la si può collocare tra quelle che aprirono il dibattito sul meccanismo di trasmissione delle onde.

Il riflesso di queste nuove idee è immediato. Alla voce *Tremblement de terre* dell'enciclopedia di Diderot e D'Alembert si legge:

“il movimento impresso al terreno è come un'onda ... queste scosse seguono ordinariamente una direzione ben definita; da ciò deriva che talvolta un terremoto rovescia edifici e muraglie secondo una direzione e distrugge completamente quelli in direzione opposta ... uno dei fenomeni più strani del terremoto è la loro propagazione, vale a dire il modo con cui si propagano a distanze spesso prodigiose in un brevissimo lasso di tempo ...”



La teoria di John Mitchell (1760)

Nel 1760 il reverendo John Mitchell (1724-1793), filosofo e scienziato inglese, pubblicò un'importante memoria sulle cause del terremoto, in cui afferma che il movimento del suolo avviene per effetto di *onde* la cui origine è posta all'interno della Terra.

Mitchell evidenziò l'analogia tra i fenomeni sismici e quelli vulcanici e distinse chiaramente la *causa* di uno scuotimento sismico dai suoi *effetti*. In accordo con la sua ipotesi, la causa primaria dei terremoti è il *vapore d'acqua* ad alta pressione prodotto dal contatto di questo liquido con il *fuoco sotterraneo*, che produce improvvise e violente *esplosioni*. In questo ambito, le *eruzioni vulcaniche* costituiscono utili *valvole di sfogo*.

Mitchell studiò nei dettagli il moto del suolo durante il terremoto di Lisbona, applicando per la prima volta ai movimenti terrestri la teoria delle onde. In questo modo riuscì a individuare la posizione approssimata dell'origine del terremoto (quella che oggi chiamiamo *ipocentro*), e fornì un'interpretazione convincente del modo di propagarsi delle onde sismiche e delle onde marine.

Inoltre, dalle registrazioni dei tempi di arrivo delle onde sismiche in diverse località, Mitchell per primo stimò che la loro *velocità* era di circa 20 miglia al minuto (536 m/s).

Egli affermò anche che le *grandi onde marine*, che spesso seguono i terremoti e che si abbattono sui litorali con un'enorme altezza, sono provocate da vibrazioni trasmesse all'acqua del mare quando l'origine del terremoto è al sotto del fondo marino.

La teoria di Mitchell fu certamente la più avanzata della sua epoca e oggi egli è considerato come uno dei principali fondatori della *sismologia*, termine che fu introdotto circa un secolo dopo dall'ingegnere irlandese Robert Mallet.

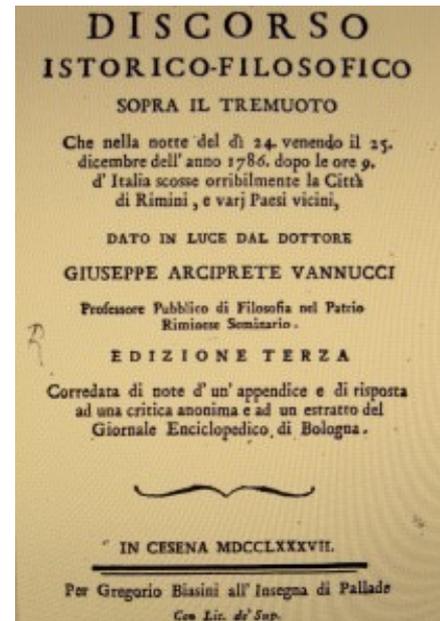
Anche negli anni di fine secolo la teoria dell'elettricismo, sviluppata in precedenza sull'onda delle grandi scoperte sull'elettricità, continuava ancora a incontrare il favore di molti pensatori e scienziati.

Tra questi Pierre Bertholon (1741-1800), un prete dell'oratorio di Saint Lazare di Parigi. Convinto assertore dell'elettricismo, progettò nel 1779 i "*paraterremoti*" come mezzo di difesa dagli effetti delle scosse sismiche. Questo rimedio consisteva nello sprofondare nel terreno lunghe spranghe di ferro, che avevano alle estremità delle punte divergenti, chiamate "verticilli". Le punte inferiori avevano il compito di assorbire il "fuoco elettrico", mentre quelle superiori dovevano disperderlo. Si trattava di un parafulmine inverso, inventato in quegli anni da Benjamin Franklin.

Anche in Italia, dopo il terremoto di Rimini del 1786, fu proposto un rimedio simile.

All'inizio e come di consueto, la *gerarchia ecclesiastica* cercò di servirsi della commozione e del terrore provocato dal sisma per sostenere la tesi del terremoto come castigo divino in risposta alla condotta peccaminosa della popolazione, promuovendo come rimedio tutta una serie di *funzioni religiose e iniziative di penitenza*.

In seguito, però, non mancarono anche i sostenitori dell'origine naturale che cercavano di individuarne la causa e di proporre rimedi concreti. Tra questi, l'arciprete don Giuseppe Vannucci che nel 1787 pubblicò il suo *Discorso storico-filosofico sopra il tremuoto*.



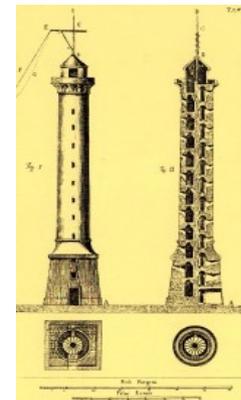
Giuseppe Vannucci partiva da alcuni presunti riscontri effettuati nei momenti del sisma:

“molti osservarono – e nelle case e nelle strade – discendere dai soffitti, dai muri o dai tetti orgogliose e vive fiammelle nella figura, nel colore e nel crepito similissime ad elettriche scintille; né mancarono persone autorevoli le quali affermassero che la croce e la palla dorata del campanile di S. Agostino apparvero allora investite da una palla di fuoco”.

Vannucci si ricollegava così alla **teoria elettricista**, che riteneva il terremoto determinato da una violenta scarica elettrica di origine sotterranea, oppure di provenienza atmosferica:

“la cagione produttrice del tremuoto fu una densissima pioggia di elettrico vapore venuto a noi dalle nubi” ... che si comportavano come un ... *“arco conduttore”*.

La difesa da lui proposta consisteva nella costruzione di **quattro altissime torri** lungo il lido del mare, a distanza di circa 800 metri l'una dall'altra, sulle quali installare **lunghe punte di ferro** collegate ad un *“filo scaricatore”* destinato a convogliare in mare il pericoloso vapore elettrico, proteggendo perciò la città dalle scosse di terremoto.



Anche a seguito del terremoto che colpì la Calabria nel 1783, Giovanni Vivenzio propose il rimedio del paraterremoto. Le sue seguenti considerazioni scritte circa 230 anni or sono, al di là dell'argomento trattato, suonano di una sorprendente attualità:

ISTORIA DE' TREMUOTI

Avvenuti nella Provincia della Calabria ulteriore,
e nella Città di Messina

NELL'ANNO 1783.

E di quanto nella Calabria fu fatto per lo suo
riforgimento fino al 1787.

Preceduta da una Teoria, ed Istoria Generale de' Tremuoti

DI

GIOVANNI VIVENZIO

CAVALIERE DELL' ORDINE REGALE, E MILITARE
COSTANTINIANO DI S. GIORGIO

Primo Medico delle LL. MM., Direttore de' Regali Militari Spedali delle Sicilie,
e delle pubbliche Cattedre di Fisica Sperimentale, Medicina Pratica, Anatomia,
Olfetricia, e Chirurgia, e Protomedico Generale del Regno.

Membro dell' Accademia Imperiale delle Scienze di Pietroburgo, delle Società Regali
di Medicina di Parigi, e Patriotica di Milano, Socio, e Censore
dell' Accademia Regale degli Speculatori di Lecce, ec.

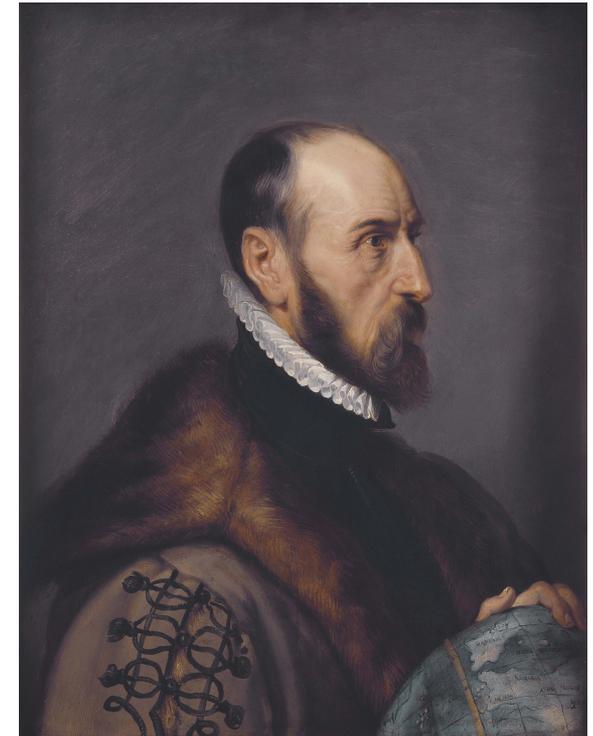
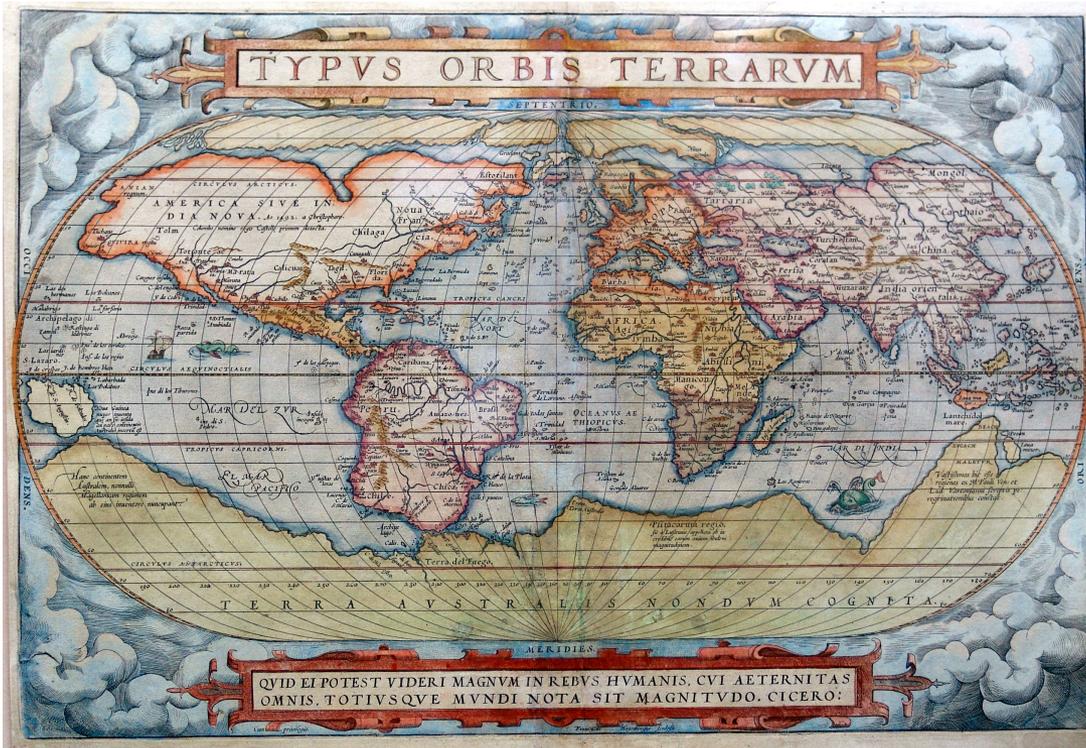
VOLUME PRIMO.



NAPOLI MDCCLXXXVIII.
NELLA STAMPERIA REGALE.

Forse mi si farà l' obbiezione , che il mezzo da me proposto , voglio dire , che i *Para-tremuoti* , e i *Para-vulcani* sono dispendiosi ; ne converrò di buona fede , tutta volta che mi si accorda , che i danni prodotti da' Tremuoti , i quali si desidera di prevenire , cagionano de' mali infiniti . Provincie devastate , Città cadute , e seppellite sotto le loro ruine , molte migliaja di Abitatori ingojati , o schiacciati sotto il precipizio degli edificj , sono oggetti della maggiore importanza ; ed un rimedio non è mai di gran prezzo , allorchè il bene , che si procura lo supera affai di lunga . Appartiene agli Stati a fare queste spese ; non ve ne sono certamente di più necessarie , poichè si tratta di conservar la vita a milioni di Uomini . Ma questa spesa non è così grande , quanto si potrebbe immaginare a prima vista ; essa farà sempre molto inferiore a quelle , che portano le guerre , di ordinario molto ingiuste , le costruzioni di Palagi fontuosi innalzati a dispetto della Natura ec. . Non v'è anche alcuno Stato . che questo flagello distruggitore non abbia immerso nella desolazione , e per cui un preservatore di Tremuoto non sia della più grande utilità . Possano i SOVRANI unirsi di concerto per distruggere i flagelli moltiplicati , che sembrano congiurati contro a questo infelice Globo !

La *deriva dei continenti* è una teoria geologica secondo cui i continenti si muovono l'uno rispetto all'altro. Quest'ipotesi è piuttosto antica: già nel 1590, infatti, il cartografo olandese Abraham Ortelius notava nel suo saggio *Thesaurus Geographicus* che il profilo delle coste dei continenti dimostrava che essi si erano staccati l'uno dall'altro. L'idea di Ortelius fu ripresa nei secoli successivi e divenne ancora più convincente nel XIX secolo, quando lo studio dei fossili fornì le prove che il Nord America e l'Europa avevano avuto nel passato una flora comune. Sulla base di queste osservazioni si arrivò a ipotizzare che i continenti attuali avevano avuto origine dalla frammentazione di un antico supercontinente.



Tuttavia, pur avendo intuito il fenomeno della deriva dei continenti, gli studiosi non riuscivano a fornire una spiegazione coerente delle cause che producevano lo spostamento delle masse continentali. Il meteorologo tedesco **Alfred Wegener** (1880-1930) ebbe il merito di mettere insieme tutti gli elementi che potevano essere riconosciuti come prove indirette dell'antica origine comune dei continenti.

Prove geografiche

Esiste una corrispondenza fra l'andamento delle coste dei continenti contrapposti.

Prove geologiche

Esiste una continuità fra le rocce che si trovano lungo le coste dei continenti sudamericano e africano, attualmente separati dall'oceano Atlantico. Ciò ne testimonierebbe un'origine comune, cui avrebbe fatto seguito la loro separazione.

Prove paleoclimatiche

L'analisi di rocce sedimentarie rinvenute in alcune aree del pianeta indica che esse si sono originate in zone con climi diversi da quelli propri delle latitudini cui ora si trovano. Questa evidente contraddizione si può spiegare ammettendo che i continenti non siano sempre stati alle latitudini attuali, ma che si siano spostati.

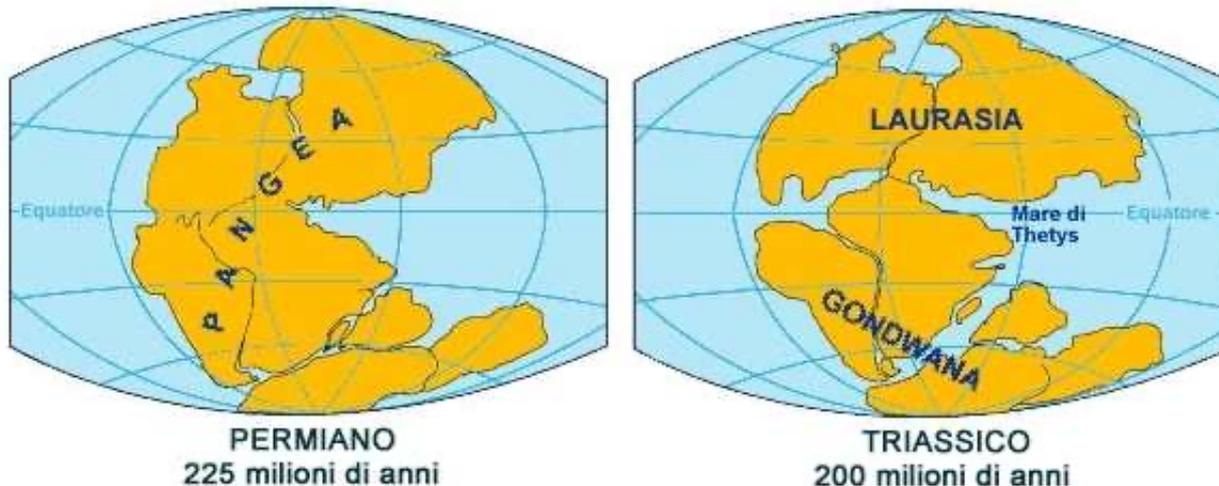
Prove paleontologiche

Esistono notevoli affinità tra i fossili di organismi viventi ritrovati sulle due coste dell'oceano Atlantico. Ciò fu spiegato ammettendo che, in alcuni periodi della storia della Terra, continenti oggi distanti tra loro fossero uniti e popolati da organismi della stessa specie.



Sulla base di queste prove, Wegener formulò nel 1915 la teoria della *deriva dei continenti*, completa di un tentativo di datazione.

Secondo questa teoria, circa 240 milioni di anni fa tutte le terre emerse si sarebbero trovate riunite in un supercontinente chiamato **Pangea** (dal greco *pán*, tutto, e *géa*, terra), circondato da un unico oceano detto Panthalassa (dal greco *pán*, tutto, e *thálassa*, mare). In seguito, circa 180 milioni di anni fa, la Pangea si sarebbe divisa in due grandi parti: a nord, la **Laurasia**, costituita dalle attuali porzioni del Nord America, della Groenlandia, dell'Europa e dell'Asia; a sud, il **Gondwana**, formato dalle attuali porzioni del Sud America, dell'Africa, dell'India, dell'Australia e dell'Antartide. Le due parti erano separate da un oceano chiamato Tetide (da Teti, nome della divinità greca del mare).

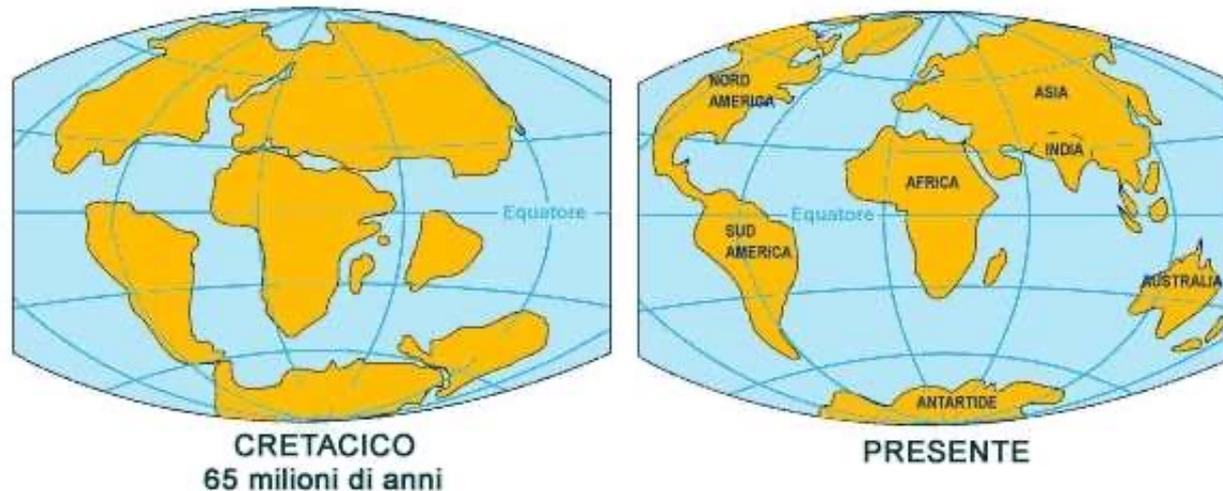


La deriva dei continenti

Queste due parti si sarebbero poi successivamente divise e progressivamente allontanate l'una dall'altra, *andando alla deriva* e originando gli attuali continenti.

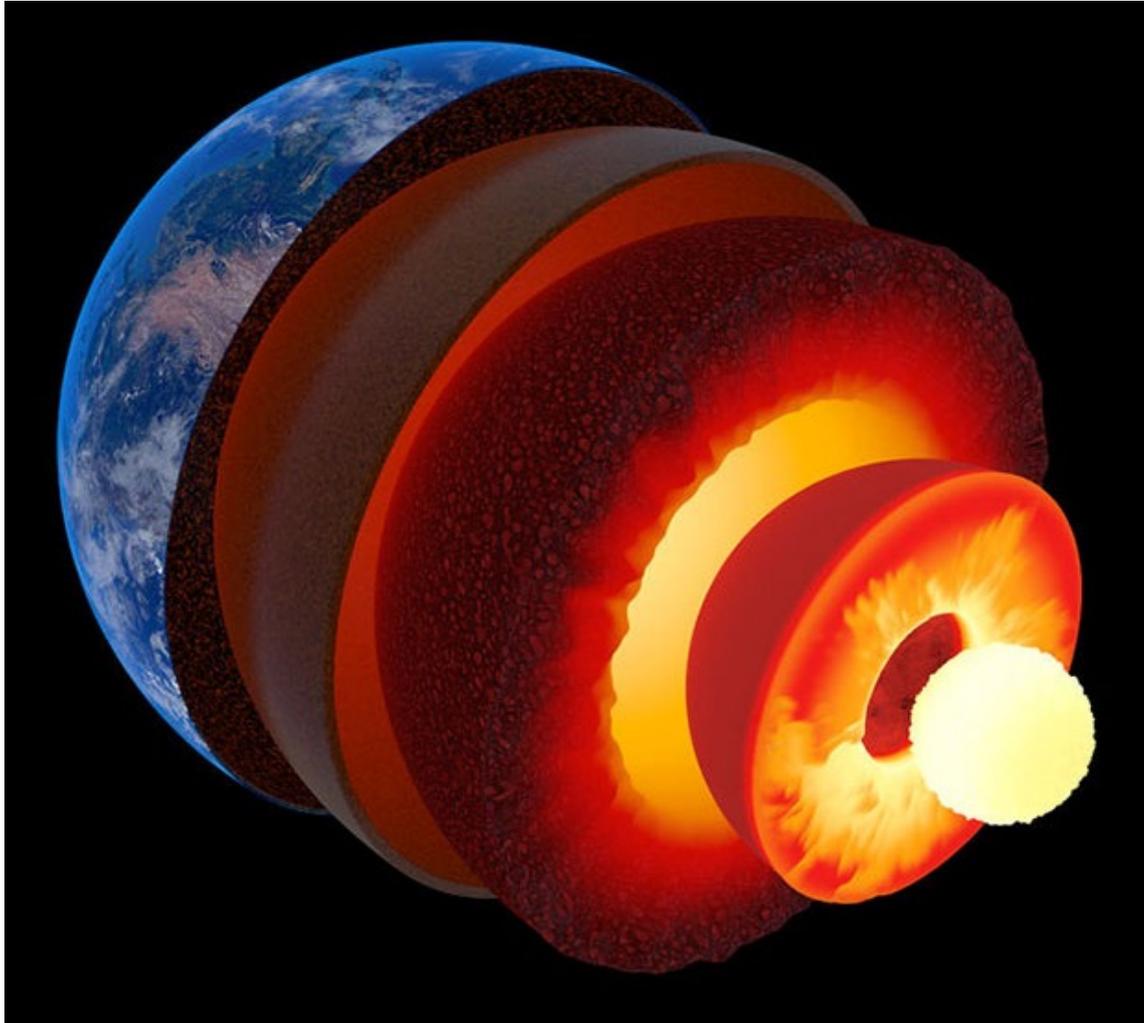
Wegener riteneva che i continenti, formati di materiale relativamente poco denso simile al granito e chiamato *Sial*, galleggiassero come zattere su un involucro fluido sottostante di materiale più denso simile al basalto e chiamato *Sima*.

Tuttavia, ciò che mancava alle attente osservazioni di Wegener era una spiegazione di come tutto questo fosse avvenuto e di quale fosse il *motore* in grado di spostare i continenti.



Per questa ragione, la teoria della deriva dei continenti fu rigettata dalla maggior parte dei geologi e dei geofisici. Negli anni Sessanta, però, fu nuovamente presa in considerazione in seguito alle rilevanti scoperte sulla *struttura della Terra* e a quelle legate all'esplorazione dei *fondali oceanici*.

La Terra si è formata circa 5 miliardi di anni fa attraverso l'addensamento di masse ed il bombardamento di meteoriti e comete. Il grande calore rilasciato ha determinato la fusione dell'intero pianeta, che si sta ancora raffreddando. La Terra è costituita da quattro strati principali: il *nucleo interno*, il *nucleo esterno*, il *mantello* e la *crosta*.

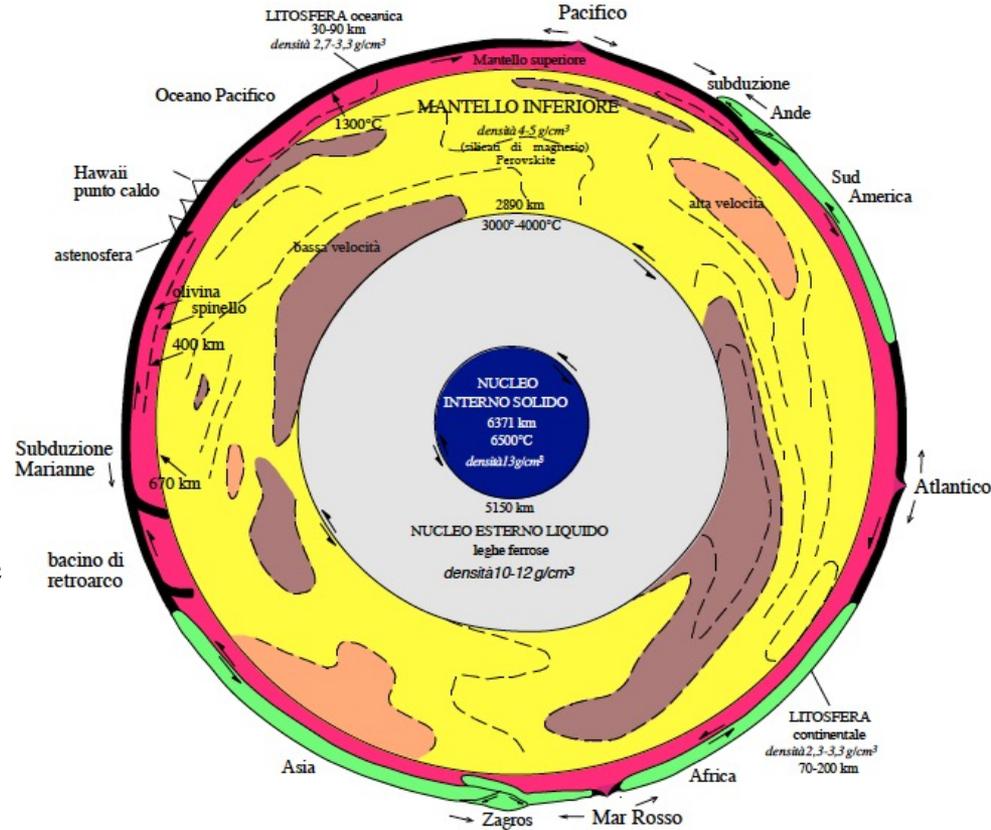


Il *nucleo interno* è costituito principalmente di ferro e, pur essendo notevolmente caldo (circa 4300 °C), si trova allo stato solido per effetto della grande pressione a cui è sottoposto.

Il *nucleo esterno* è fuso e contiene circa il 10% di zolfo.

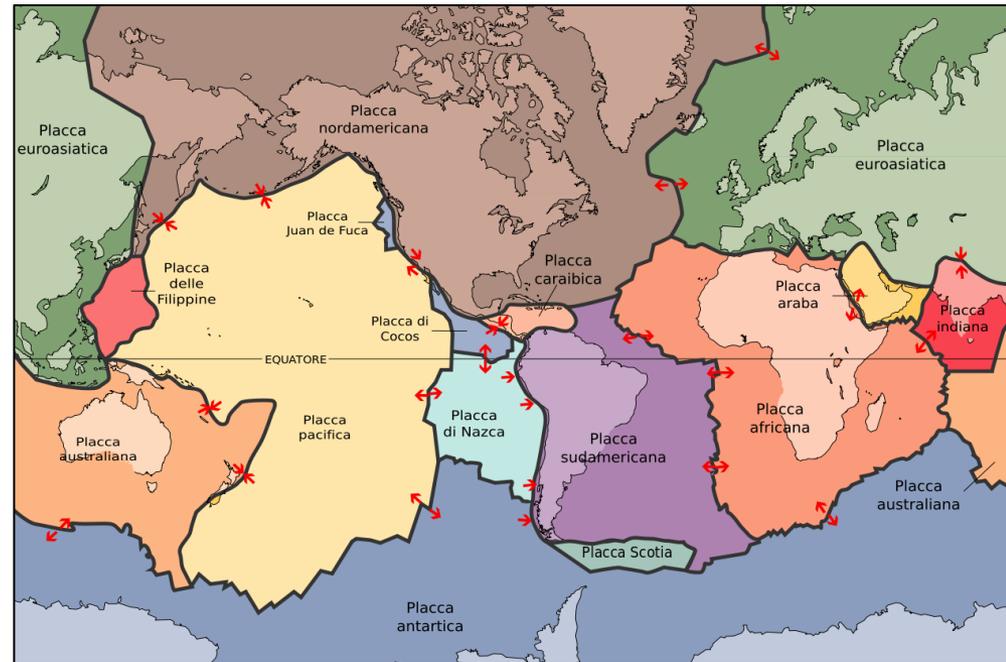
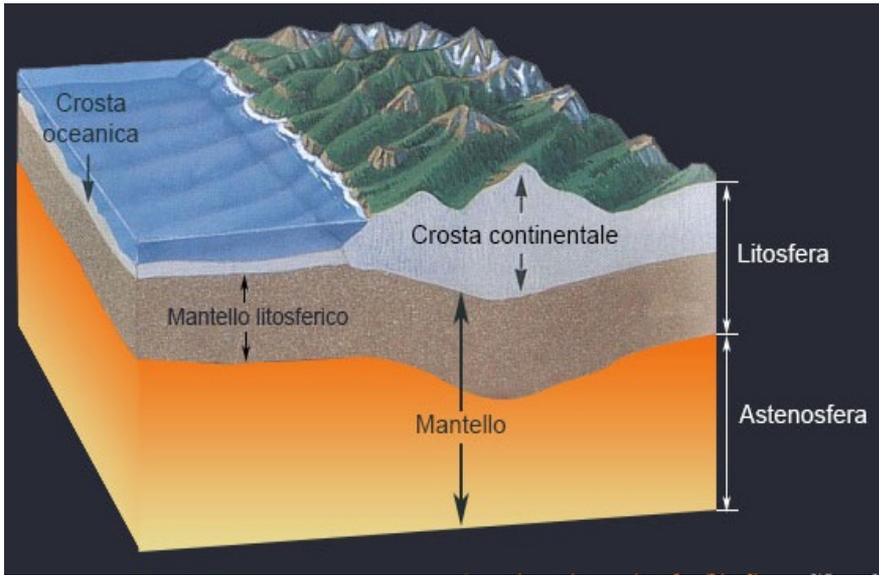
La maggior parte della massa della Terra è contenuta nel *mantello*, che è composta da ferro, magnesio, alluminio, silicio, ossigeno e composti di silicio (silicati). Il mantello ha una temperatura di circa 1000 °C ed è in uno stato prevalentemente *solido*, anche se può deformarsi lentamente in maniera *plastica*.

La *crosta* è molto più sottile degli altri strati (circa 70 km sotto gli oceani e circa il doppio sotto i continenti) ed è costituita da materiali meno densi come calcio, sodio e silicati di alluminio. Essendo relativamente fredda, la crosta è rocciosa, possiede una certa resistenza e presenta un comportamento fragile. Le *fratture* che può subire danno origine ai *terremoti*.



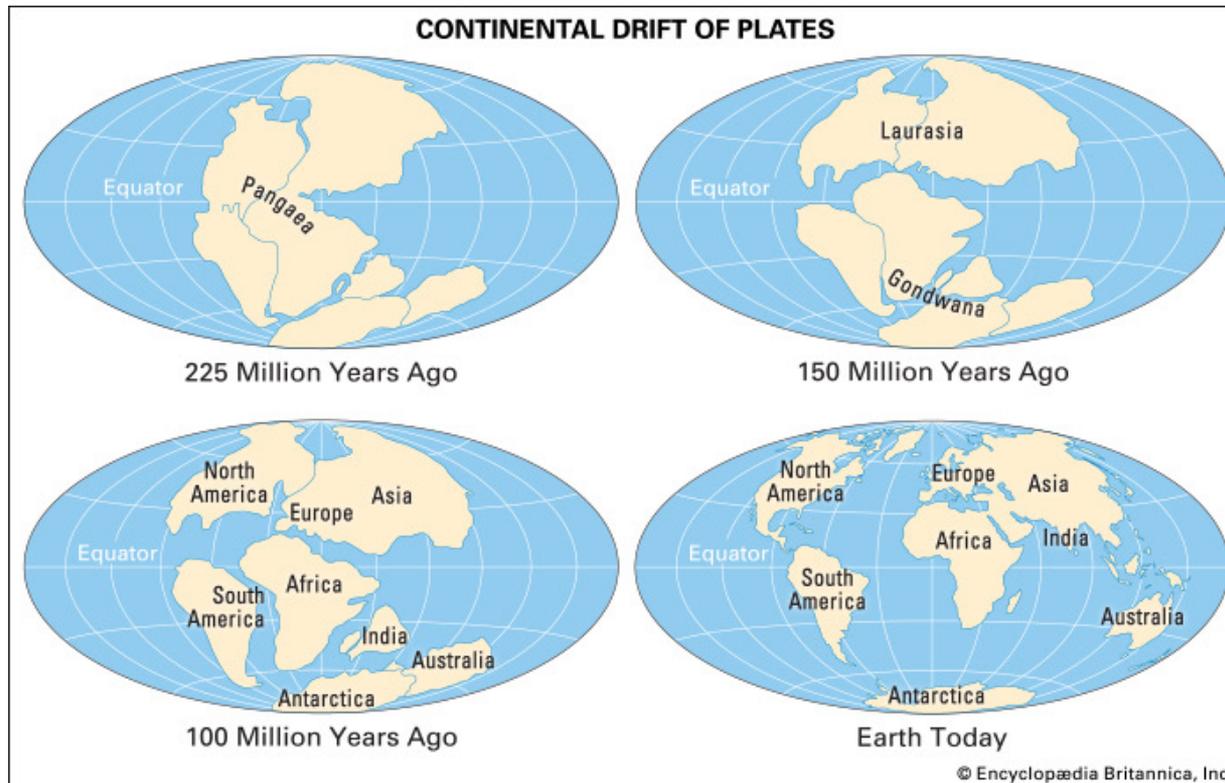
Alla fine degli anni Sessanta, e con il contributo di numerosi scienziati, si giunse alla formulazione della teoria della **tettonica delle placche**, che fornisce una spiegazione largamente condivisa dell'origine dei terremoti e di altri fenomeni naturali, come il vulcanesimo e la formazione delle catene montuose (La **tettonica** è quel settore della geologia che studia le deformazioni e le dislocazioni della crosta terrestre).

La teoria assume che la parte più esterna della Terra, detta **litosfera**, costituita dalla crosta e dal mantello superiore, non possiede una struttura continua, ma è suddivisa in alcune porzioni rigide e abbastanza stabili, dette **placche**, di spessore variabile tra 100 e 200 km.

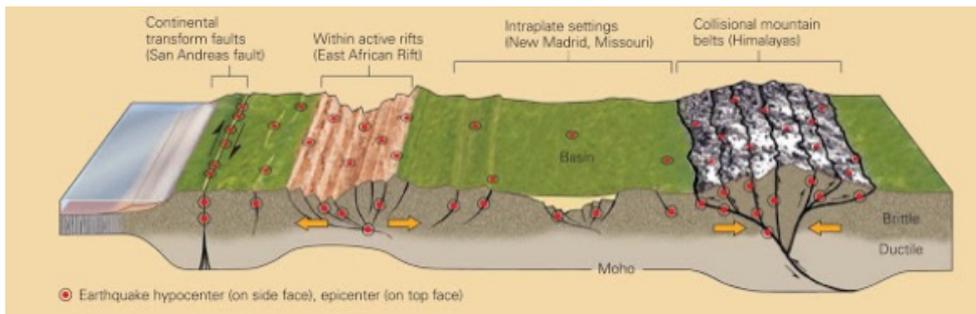
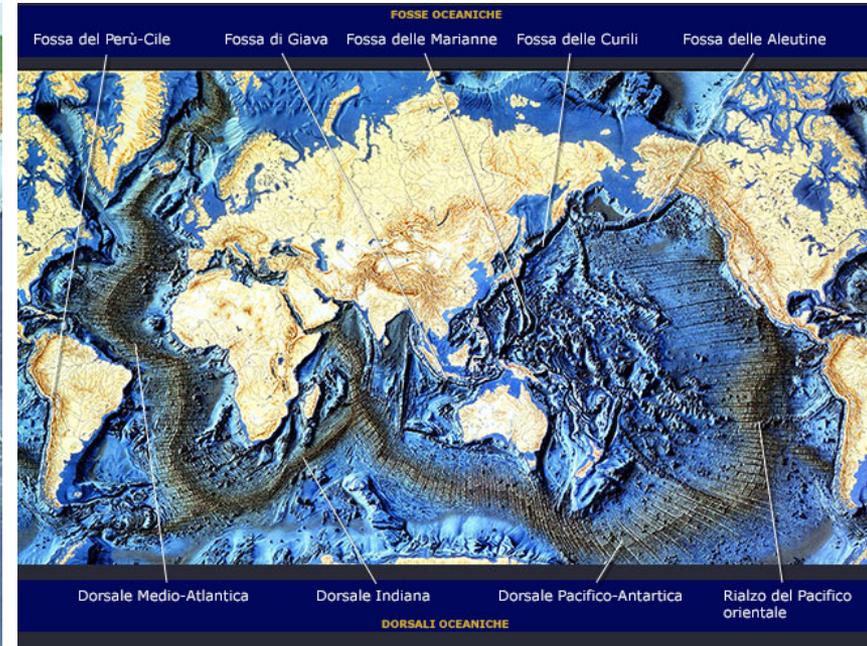
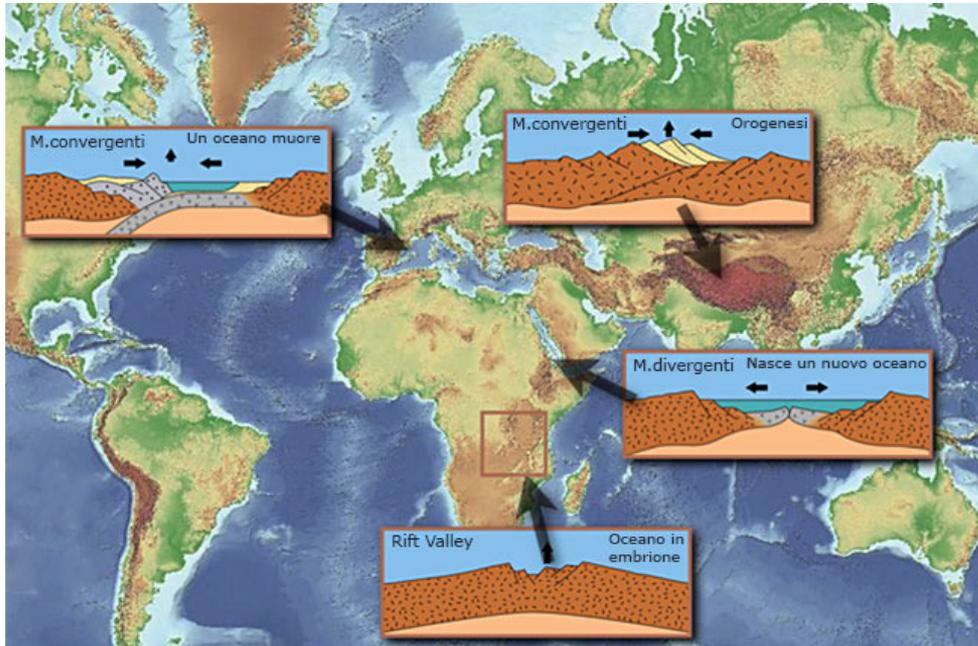


Le placche sono sostenute dallo strato immediatamente sottostante del mantello, detto *astenosfera*. A causa della temperatura elevata, circa 1300 °C, e degli enormi sforzi a cui è sottoposta, l'astenosfera si comporta come un *fluido a elevata viscosità*, i cui movimenti sono significativi su scala geologica, cioè per tempi dell'ordine dei milioni di anni.

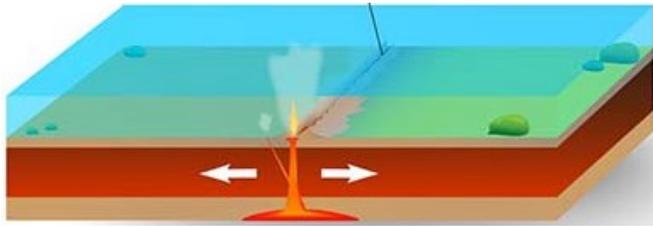
Le placche si possono muovere sopra l'astenosfera e collidere, scorrere l'una accanto all'altra o allontanarsi fra loro. Pur spostandosi di pochi centimetri ogni anno, nei milioni di anni d'età della Terra hanno percorso migliaia di chilometri. Per tale motivo, nel corso della storia della Terra, l'estensione e la forma di continenti e oceani hanno subito importanti trasformazioni.



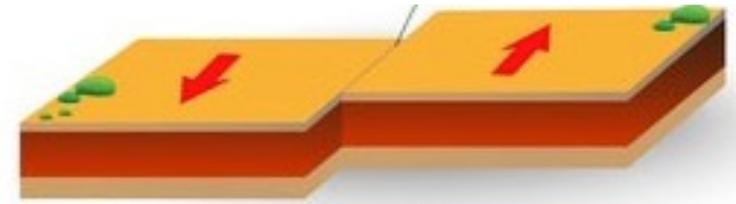
Nulla sulla superficie terrestre resterà immutato nel corso del tempo (geologico). Ci sono montagne che si sollevano, mari e oceani che nascono, mentre altri scompaiono o si espandono.



I movimenti delle placche sono anche responsabili dell'attività vulcanica e sismica. Questi fenomeni si manifestano lungo i margini delle placche, mentre la loro parte interna ne è esente.



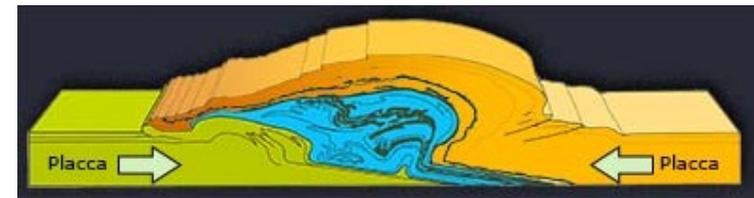
Moto divergente



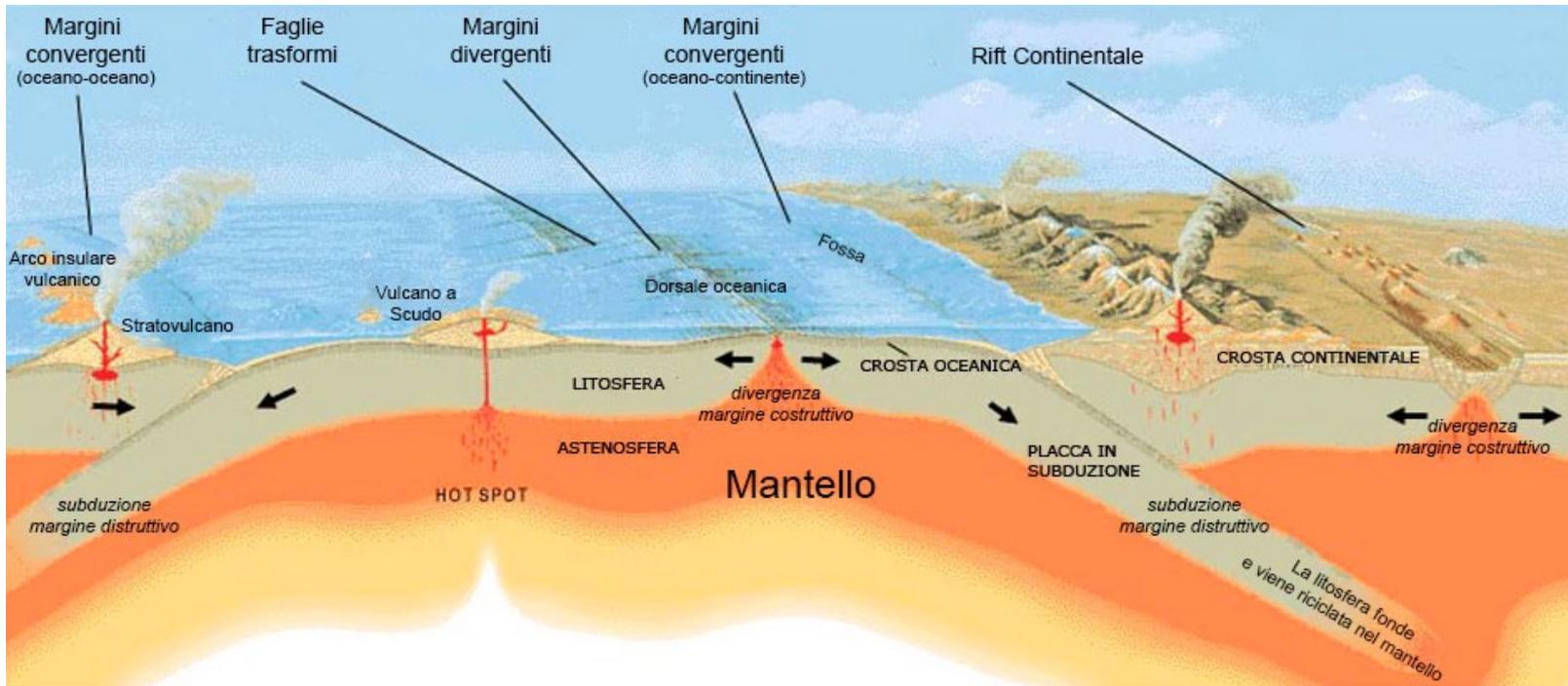
Moto trasforme



Moto convergente (subduzione)

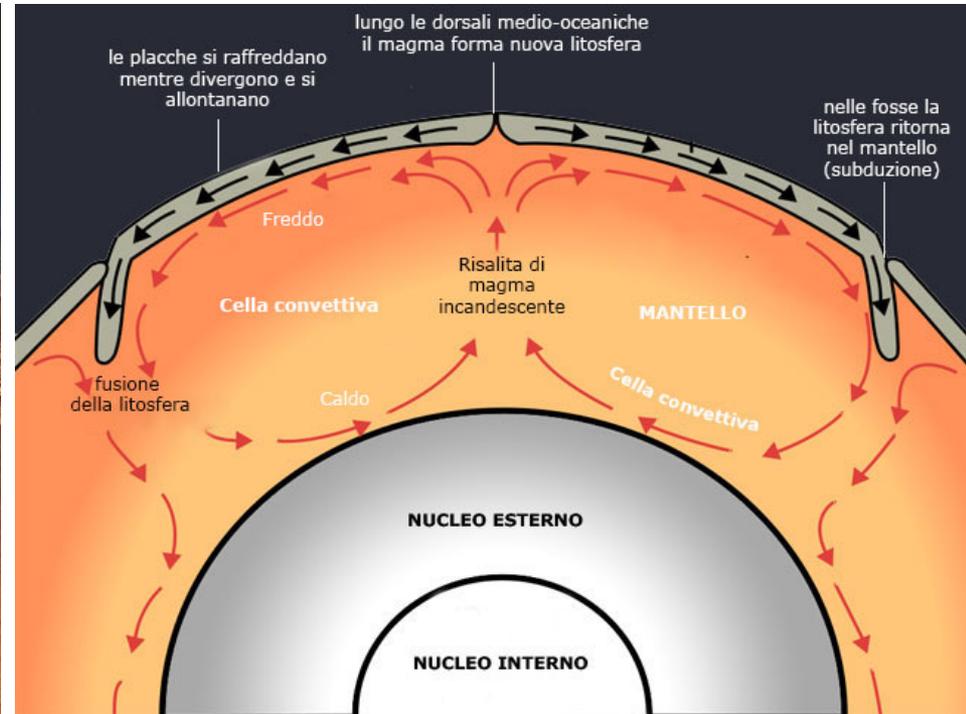
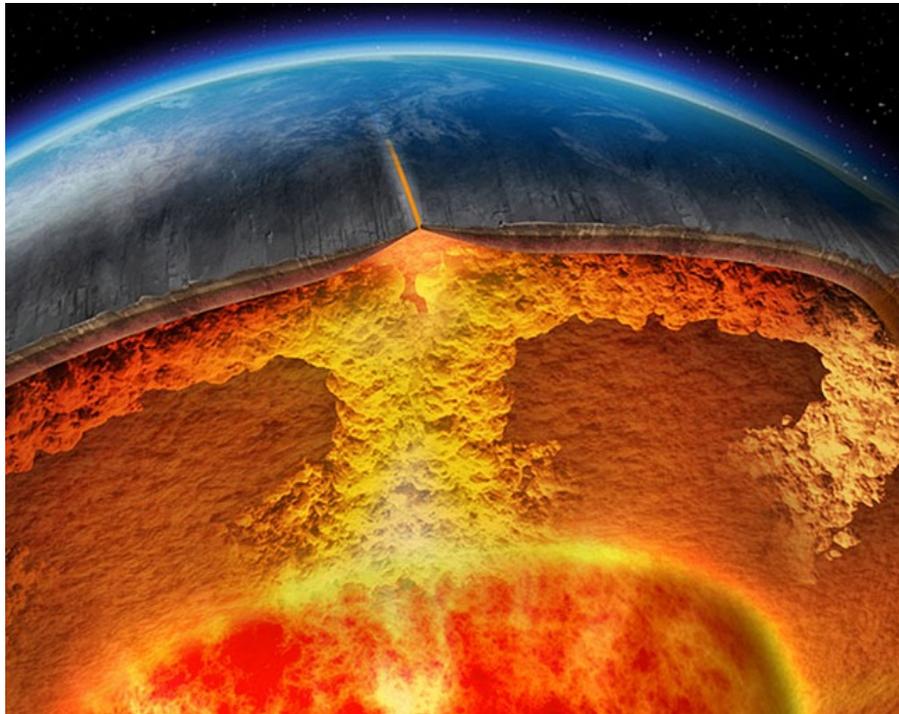


Moto convergente (orogenesi)



È opinione condivisa che il moto delle placche sia causato da lenti *moti convettivi* del materiale presente nel mantello.

Per effetto dell'enorme differenza di temperatura, correnti calde di materiale salgono verso quelle più fredde, mentre quelle fredde ridiscendono, instaurando movimenti circolari chiamati *celle convettive*.



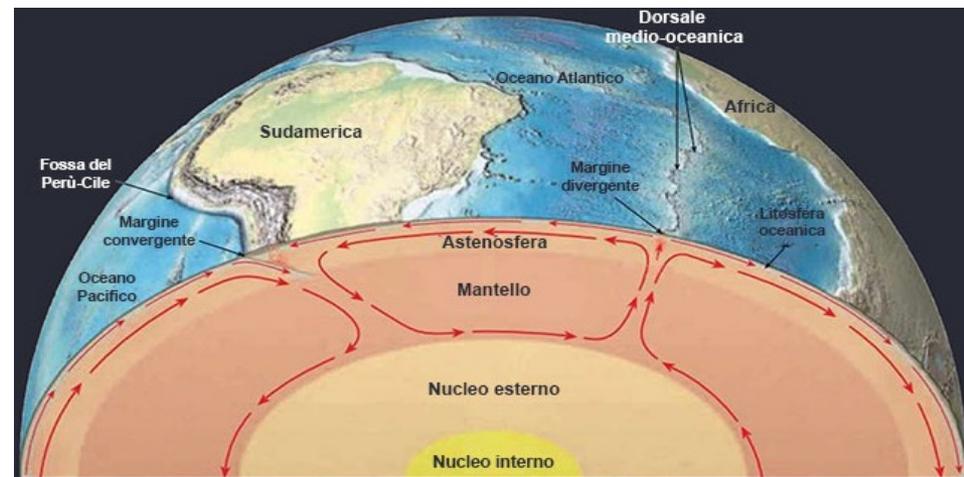
Il riscaldamento del magma avverrebbe per contatto con il nucleo, dove si raggiungono temperature elevate; il magma, riscaldatosi, risale verso la litosfera generando tensioni che ne provocano la rottura in placche e la formazione di spaccature (dorsali oceaniche e *rift* continentali), da cui il magma stesso fuoriesce.

Prima di incominciare la sua discesa di nuovo verso il nucleo, il magma si sposta orizzontalmente provocando il movimento delle placche che possono allontanarsi (in corrispondenza di correnti ascendenti del magma), o scontrarsi (in corrispondenza di correnti discendenti del magma).

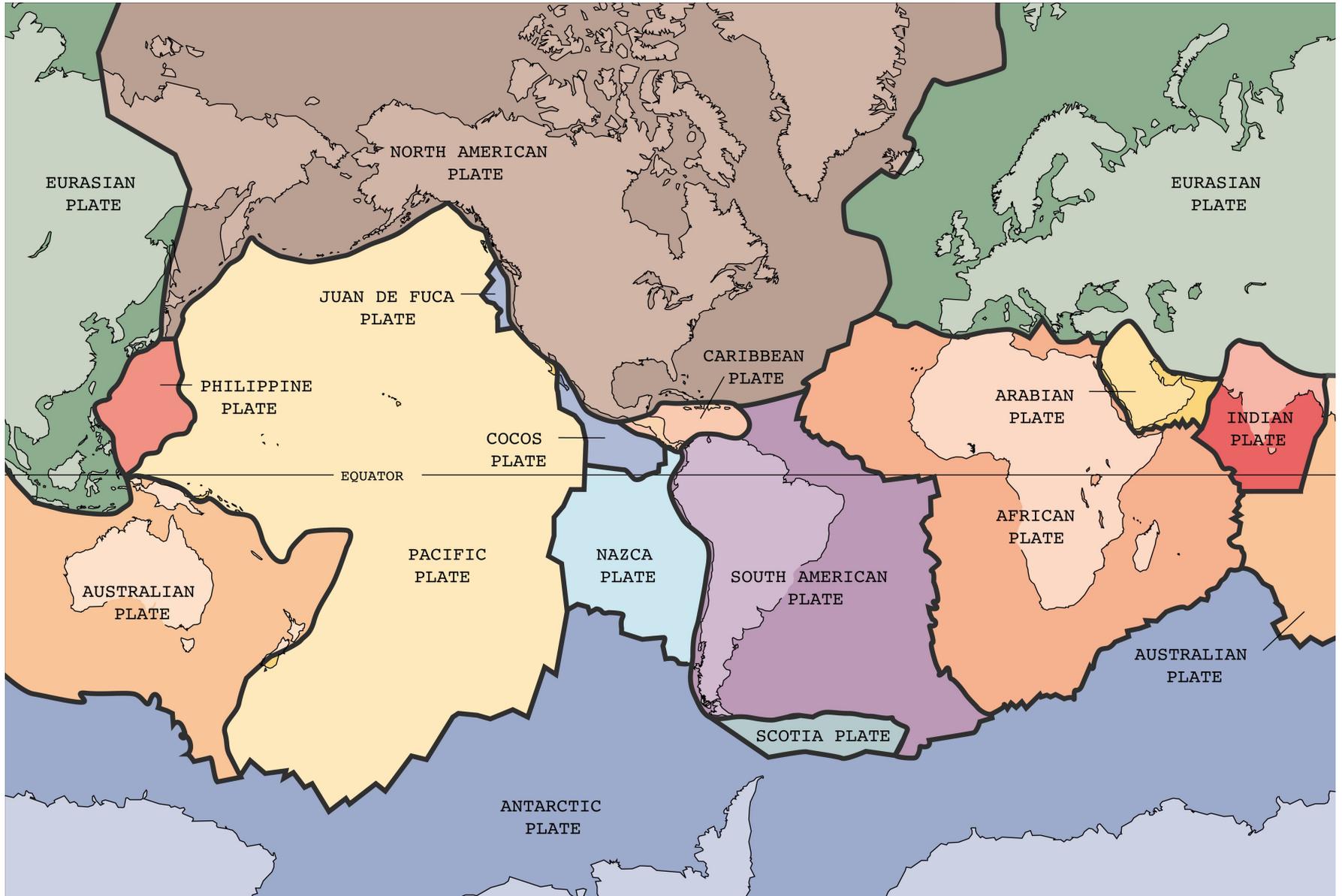
Sarebbe dunque questo il meccanismo che avrebbe provocato la fratturazione della Pangea, i cui frammenti, spostati dalle correnti convettive sottostanti, vanno alla deriva e tendono a convergere e scontrarsi dove le correnti convettive ridiscendono verso il basso.

La teoria della *tettonica delle placche* presenta un carattere fortemente unificante ed è in grado di interpretare e spiegare i fenomeni che si originano all'interno della Terra e della loro distribuzione.

Non bisogna però dimenticare che, anche se i suoi punti essenziali sembrano oramai del tutto acquisiti, la teoria presenta ancora lacune e debolezze ed è in continua evoluzione.

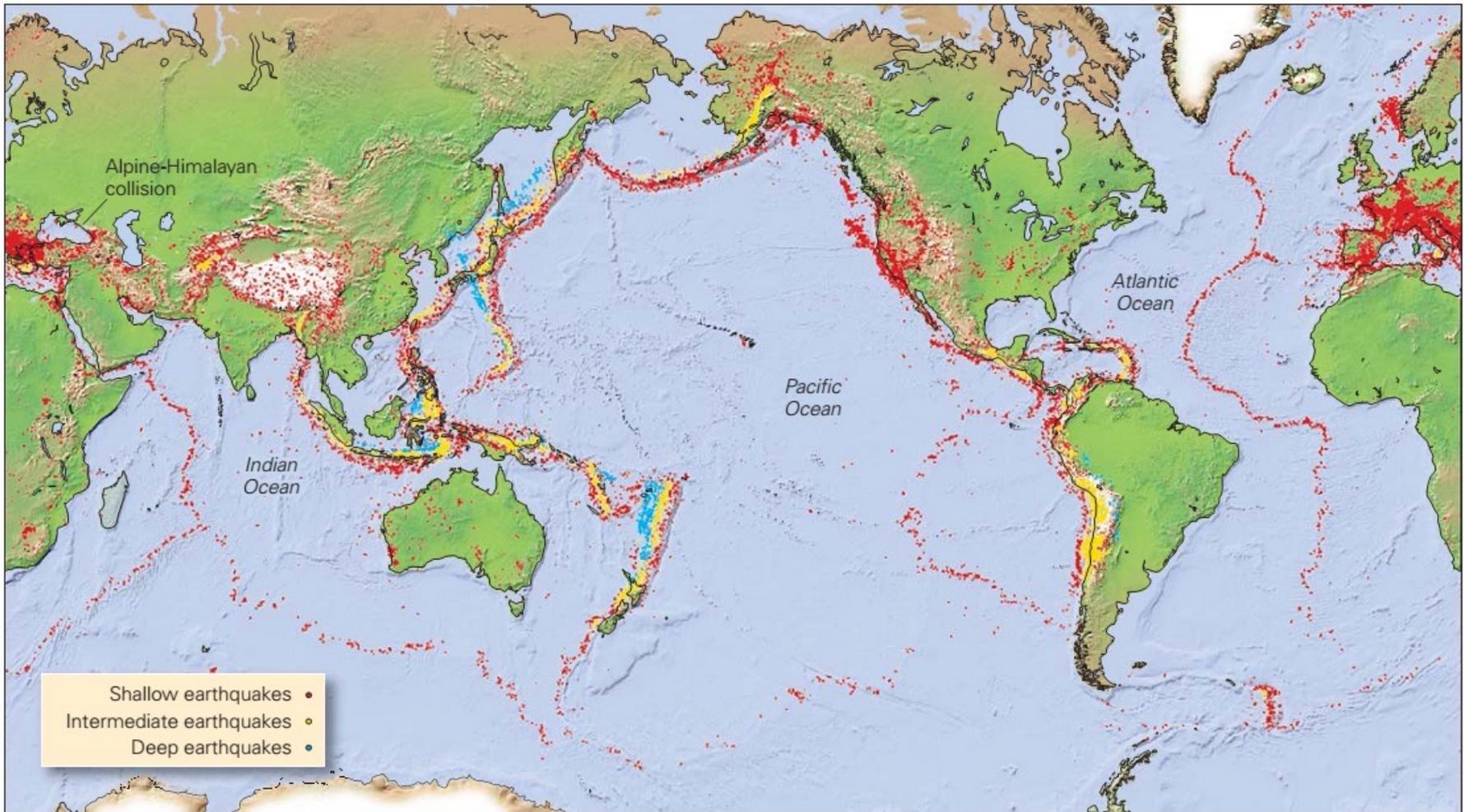


Le principali placche



Mappa dei terremoti

Come mostra la seguente mappa, i terremoti non avvengono ovunque, ma tendono a concentrarsi in corrispondenza dei margini delle placche, che individuano delle cosiddette fasce sismiche. I territori lontani dai margini delle placche sono generalmente esenti dal fenomeno sismico.



La teoria del *rimbalzo elastico* (*elastic rebound theory*)

In sismologia la teoria del *rimbalzo elastico* costituisce un modello geofisico che spiega la causa dei terremoti che avvengono per azioni tettoniche.

La teoria è dovuta a Henry Fielding Reid, professore di geologia alla Johns Hopkins University, che la enunciò dopo un attento esame degli spostamenti del suolo posto ai lati della faglia di Sant'Andrea, avvenuti in concomitanza con il forte terremoto che colpì San Francisco nel 1906.

Le misure provarono che le pareti opposte della faglia di Sant'Andrea si stavano muovendo lentamente in direzioni opposte, a causa di enormi forze tettoniche. Da questo Reid concluse che il terremoto fu l'effetto del *rimbalzo elastico* dell'energia precedentemente accumulata nelle masse rocciose.

La teoria assume che le rocce ubicate ai lati opposti di una faglia accumulano energia elastica a causa del lentissimo movimento relativo che le deforma gradualmente. Le deformazioni aumentano di pochi centimetri all'anno e il processo, che può durare per moltissimo tempo - anche centinaia di anni - si arresta quando gli sforzi interni superano la resistenza della roccia. In quell'istante la roccia si frattura e *rimbalza* verso la configurazione iniziale indeformata. La faglia subisce un improvviso slittamento e l'energia elastica accumulata in così tanto tempo viene repentinamente rilasciata, in parte sotto forma di calore e in parte sotto forma di *energia cinetica*, che si propaga in tutte le direzioni secondo un meccanismo di *onde elastiche*, producendo violente *vibrazioni*.



Ipocentro ed epicentro

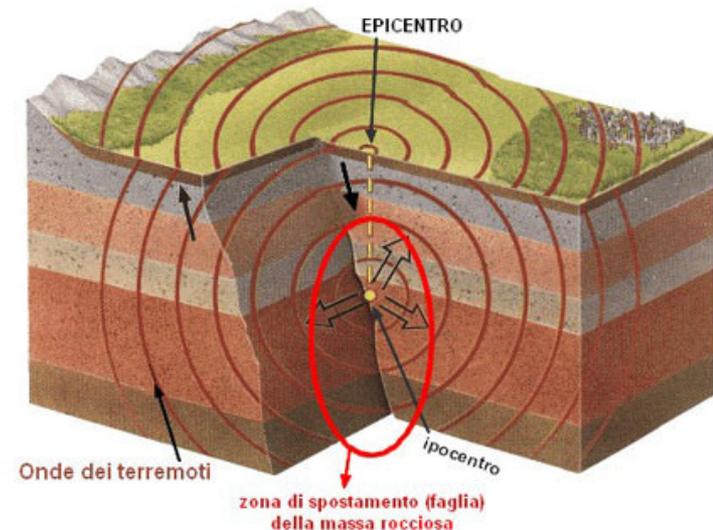
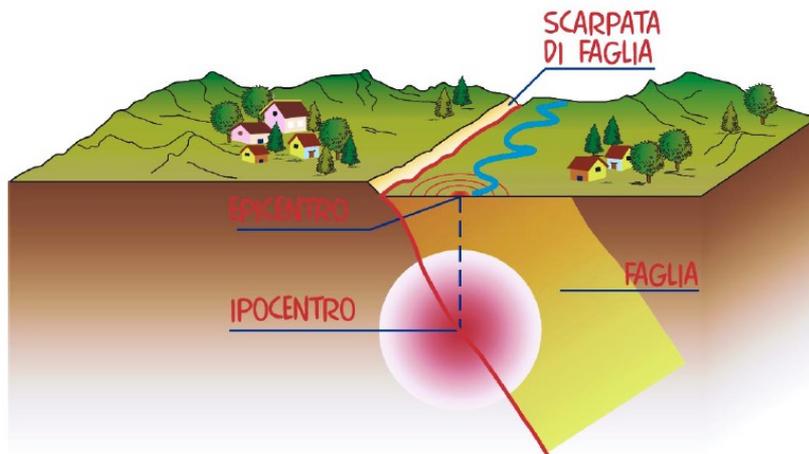
Ipocentro ed epicentro

Il punto in cui si origina il terremoto è detto *ipocentro*; il corrispondente punto in superficie sulla verticale si chiama *epicentro*.

L'ipocentro può essere:

- *superficiale*, quando la profondità arriva fino a 70 km; in questa fascia si concentra il 75% dei sismi;
- *intermedio*, con profondità fino a 300 km; vi appartiene il 22% dei sismi;
- *profondo*, se si verifica da 300 km fino alla base del mantello superiore (circa 700 km); in questa zona si ha circa il 3% dei terremoti.

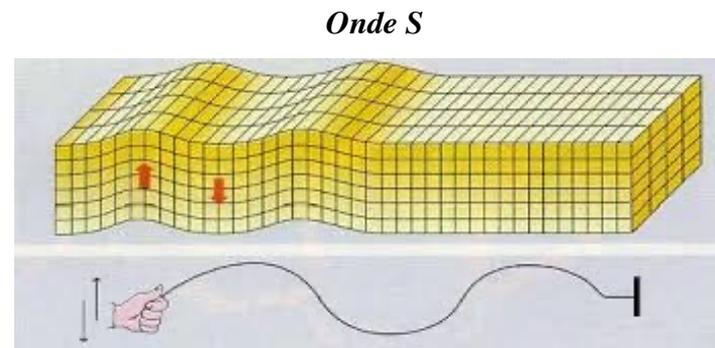
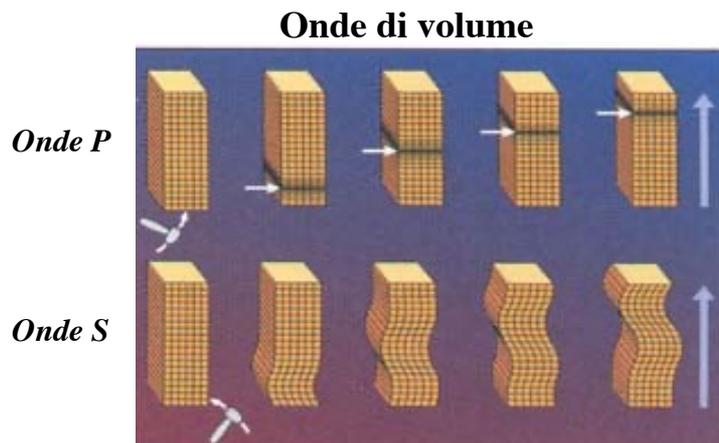
Un terremoto ad ipocentro superficiale dà fenomeni più intensi, ma più localizzati rispetto a quello con ipocentro profondo.



Dall'ipocentro hanno origine le **onde sismiche**, vibrazioni del terreno che si irradiano in tutte le direzioni e che per questo sono chiamate **onde di volume**. Queste, a loro volta, si suddividono in **onde P** e **onde S**.

Le **onde P** (*Primae* o *Primary waves*) sono onde longitudinali molto veloci (7-13 km/s), che inducono un'oscillazione della roccia nella stessa direzione di propagazione, provocandone cambiamenti di volume e di forma. Attraversano sia i solidi sia i fluidi e sono responsabili del rombo cupo che talvolta si avverte all'inizio del terremoto.

Le **onde S** (*Secundae* o *Shear waves*) sono onde trasversali più lente delle precedenti (4-7 km/s), che provocano un'oscillazione della roccia perpendicolare alla direzione di propagazione, modificandone solo la forma. Attraversano solo i solidi e non si propagano nei fluidi.

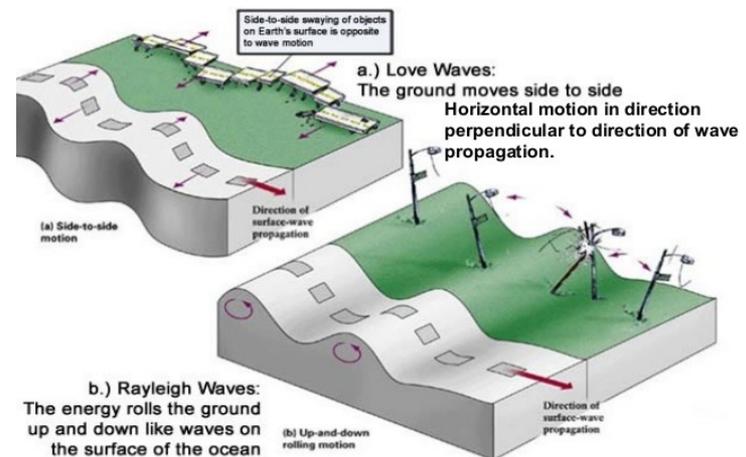
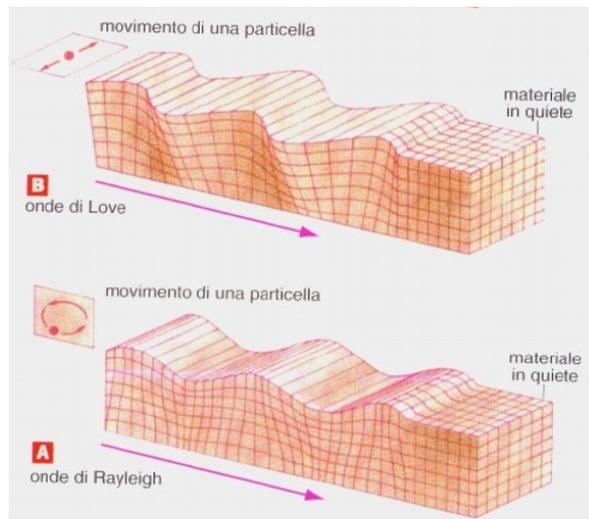


Quando le *onde di volume* raggiungono la superficie terrestre danno origine a *onde di superficie*, che costituiscono il fenomeno che chiamiamo *terremoto* e che sono le responsabili dei danni prodotti.

Le onde superficiali sono più lente rispetto a quelle di volume (3 km/s), e anch'esse sono suddivise in due categorie:

- le *onde L* (onde di *Love*) in cui le particelle oscillano trasversalmente rispetto alla direzione di propagazione
- le *onde R* (onde di *Rayleigh*) in cui le particelle oscillano perpendicolarmente al terreno, come nel caso delle onde marine, producendo movimenti ellittici del suolo in piani orientati nella stessa direzione di propagazione dell'onda.

Onde di superficie



Il processo che si ripete sistematicamente tra un terremoto e il successivo si chiama *ciclo sismico* e comprende 4 stadi.

Stadio intersismico

In questo periodo si accumula l'energia elastica per l'azione di forze tettoniche.

Stadio presismico

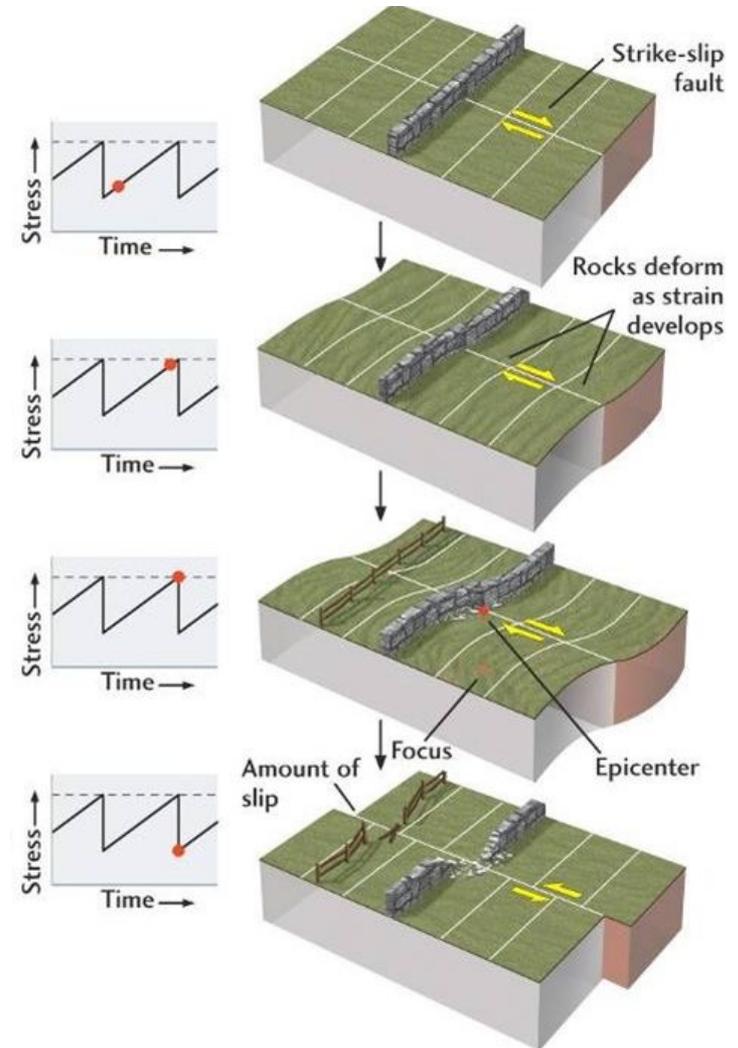
La deformazione della roccia arriva al livello critico di resistenza producendo variazioni delle caratteristiche fisiche della roccia stessa.

Stadio cosismico

Si ha il terremoto con liberazione dell'energia elastica in forma di calore e con movimento reciproco dei blocchi rocciosi.

Stadio postsismico

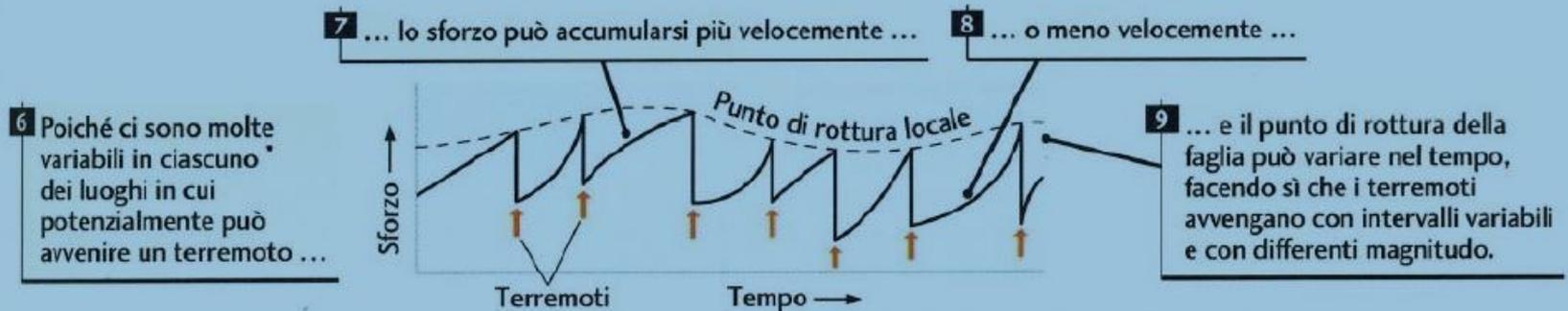
Scosse di assestamento riportano l'area ad un nuovo equilibrio.



LO SFORZO SI ACCUMULA FINCHÉ NON SUPERA IL PUNTO DI ROTTURA

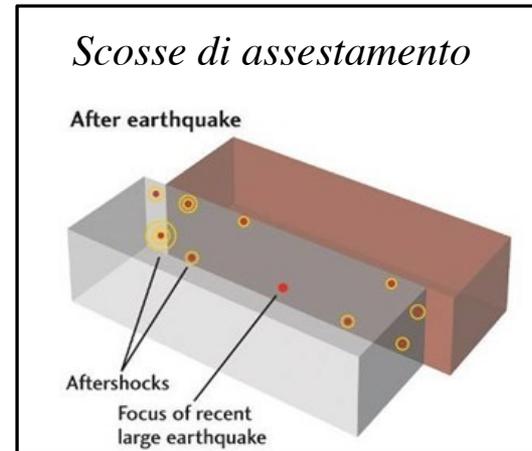
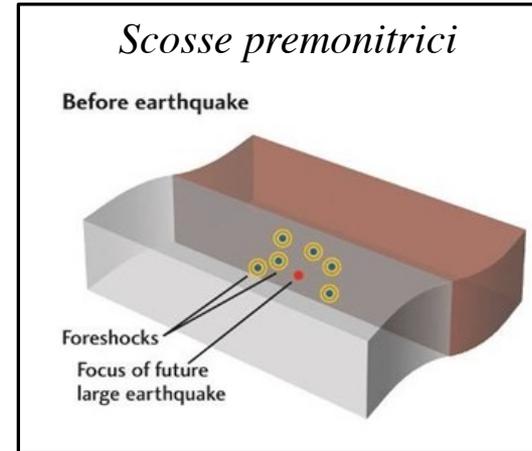
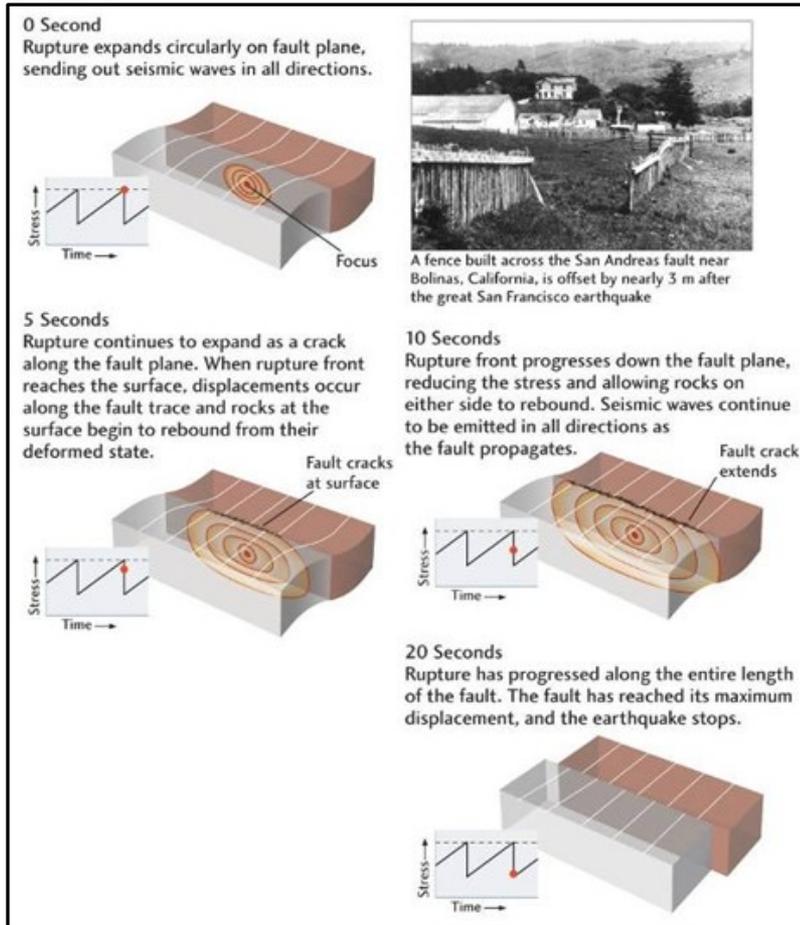


IL PUNTO DI ROTTURA DELLE ROCCE E LO SFORZO POSSONO VARIARE



Stadio cosismico

Lo *stadio cosismico* avviene in generale attraverso le seguenti fasi ed è generalmente preceduto da *scosse premonitrici* e seguito da *scosse di assestamento*

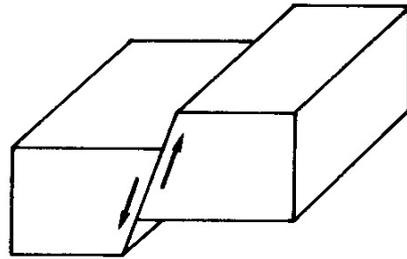


La teoria del rimbalzo elastico fu la prima teoria a spiegare i terremoti in maniera soddisfacente. Prima si riteneva che le rotture della superficie erano il risultato delle forti scosse e non la loro causa.

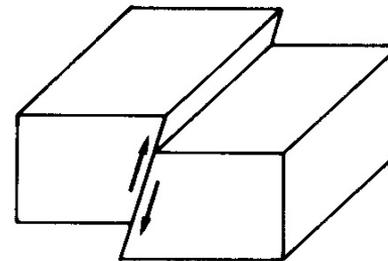
Tipi di faglie

A seconda del tipo di moto relativo le faglie si dicono *normali*, *inverse* o *trascorrenti*.

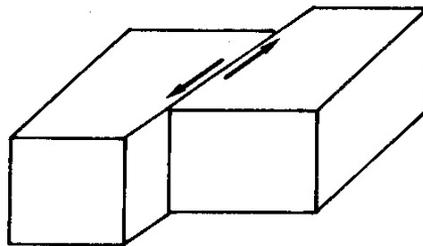
Le faglie normali sono associate ad una tettonica distensiva, le faglie inverse ad aree di compressione, accorciamento o subduzione, le faglie trascorrenti ad uno scorrimento orizzontale.



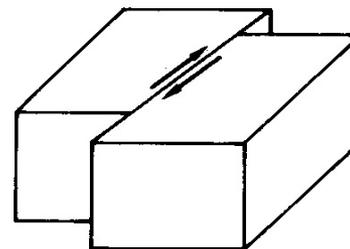
(a) *Faglia normale*



(b) *Faglia inversa*



(c) *Faglia trascorrente sinistra*



(d) *Faglia trascorrente destra*

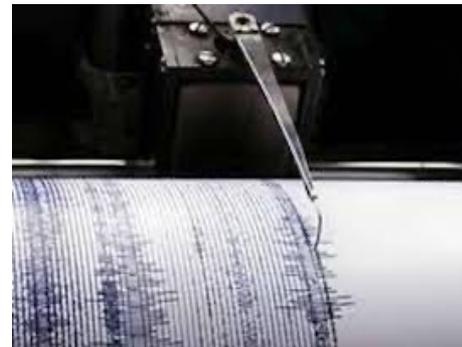
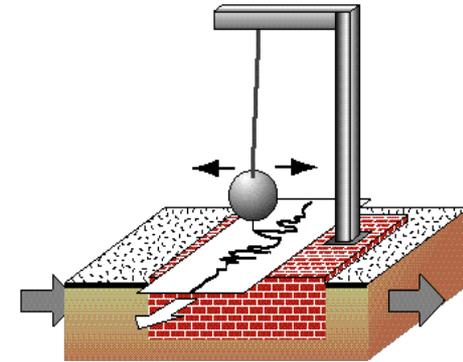
Sismografi e sismogrammi

Un *sismografo* è uno strumento in grado di misurare il moto del suolo dovuto ad un sisma.

Nella sua forma elementare, un sismografo è formato da una massa con un pennino oscillante in una direzione, che scrive su un rullo di carta rotante solidale con il suolo, lasciando una traccia detta **sismogramma**. Poiché le onde possono arrivare da diverse direzioni, occorrono almeno tre sismografi in grado di registrare le oscillazioni secondo le tre direzioni dello spazio.

Al giorno d'oggi esistono *sismografi digitali* molto sofisticati.

Come esempio, si riporta un sismogramma con l'indicazione dell'arrivo delle onde *P*, *S* ed *L*.

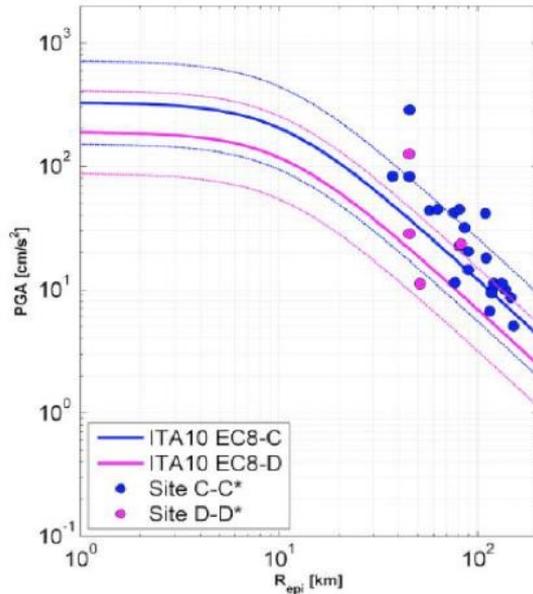


Intensità di un terremoto

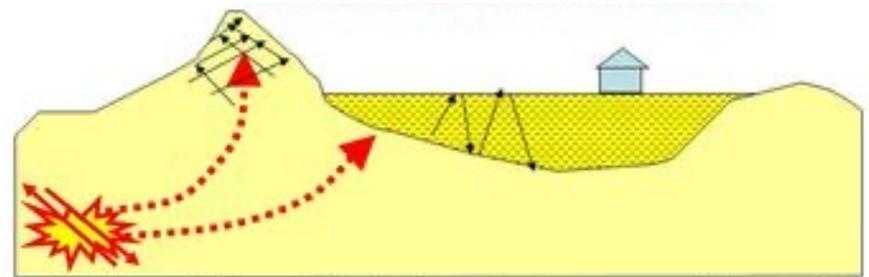
L'ampiezza delle onde sismiche usualmente decresce rapidamente all'aumentare della distanza dall'epicentro. Le onde di superficie spesso dominano i sismogrammi degli eventi superficiali, poiché in questo caso raggiungono ampiezze maggiori di quelle P ed S e sono, pertanto, le responsabili dei maggiori danneggiamenti.

La capacità distruttiva di un terremoto, tuttavia, dipende da molteplici fattori come l'**energia liberata**, la **durata** e le **condizioni geologiche locali** (effetti di sito). Si possono, infatti, osservare elevati valori del moto sismico anche a grandi distanze dall'epicentro per effetto delle amplificazioni locali causate da terreni particolarmente deformabili.

Legge di attenuazione



Effetto di sito



Scale macrosismiche d'intensità – La scala Mercalli Modificata

Per misurare l'entità dei terremoti si utilizzano scale sia qualitative sia quantitative. Le scale qualitative sono quelle di *intensità macrosismiche*, che si basano sull'entità degli effetti su *persone, cose e manufatti*.

Le scale di intensità sono caratterizzate da valori interi e quindi sono discrete; le intensità sono espresse da numeri romani.

Poiché non richiedono alcuna misura strumentale, le misure di intensità permettono di fare riferimento anche a *terremoti storici* (quando non erano disponibili registrazioni strumentali) per la stima della pericolosità sismica del territorio.

Tra le scale più utilizzate vi è la *Mercalli Modificata*.



Giuseppe Mercalli (1850-1914)

SCALA MERCALLI		
I	- Strumentale	Avvertita solo dagli strumenti
II	- Debole	Avvertita solo da poche persone sensibili in condizioni particolari
III	- Leggera	Avvertita da poche persone
IV	- Moderata	Avvertita da molte persone; tremiti di infissi e cristalli; oscillazione di oggetti sospesi
V	- Piuttosto forte	Avvertita da molte persone, anche addormentate; caduta di oggetti
VI	- Forte	Qualche lesione agli edifici
VII	- Molto forte	Caduta di comignoli; lesione agli edifici
VIII	- Distruttiva	Rovina parziale di alcuni edifici; vittime isolate
IX	- Rovinosa	Rovina totale di alcuni edifici; molte vittime; crepacci nel suolo
X	- Disastrosa	Crollo di parecchi edifici; numerose vittime; crepacci evidenti nel terreno
XI	- Molto disastrosa	Distruzione di agglomerati urbani; moltissime vittime; crepacci; frane; maremoto
XII	- Catastrofica	Danneggiamento totale; distruzione di ogni manufatto; pochi superstiti; sconvolgimento del suolo; maremoto

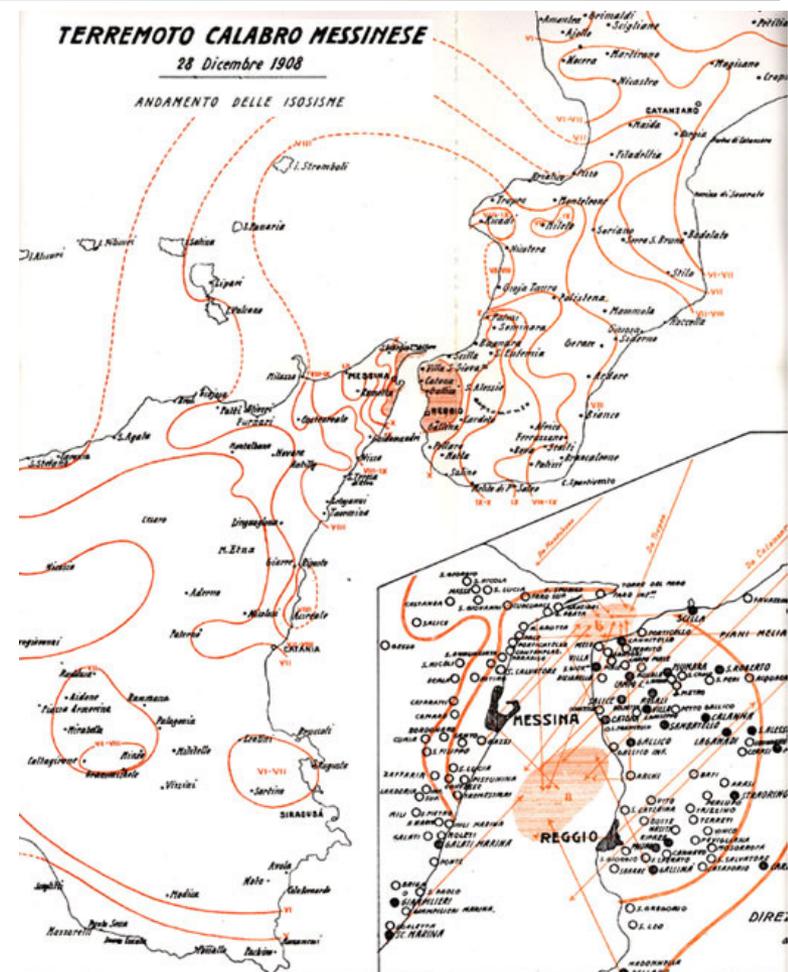
Mappe isosismiche

Dopo un terremoto si procede alla rilevazione dei danni e si costruisce una carta delle *linee isosismiche*, cioè delle linee che congiungono i punti in cui si è rilevata la stessa intensità sismica.

Tali linee, più o meno regolari, sono chiuse intorno all'epicentro del terremoto e la più interna racchiude l'area che lo comprende.

In generale, l'intensità diminuisce con la distanza dall'epicentro, ma le linee isosismiche non formano delle perfette circonferenze perché la struttura del terreno non è omogenea.

L'insieme delle linee isosismiche costituisce una *mappa isosismica*.



L'intensità macrosismica si basa su una valutazione empirica degli effetti e dei danni. Per questa ragione mantiene un carattere di soggettività e non può ovviamente essere utilizzata dove non ci sono costruzioni, come ad esempio in mare aperto o in zone desertiche.

La *magnitudo* è stata definita nel 1935 dal sismologo Charles Richter (1900-1985) come misura oggettiva della quantità di energia elastica emessa durante un terremoto. Si tratta di una grandezza, espressa da un numero puro, che si ricava dal sismogramma confrontando l'ampiezza massima dell'onda registrata con quella di un terremoto campione.

Attraverso una formula empirica si giunge a ricavare la *quantità di energia* liberata dal terremoto. Per questa ragione, il suo valore risulta indipendente dal luogo dove è stata effettuata la misurazione.

Ogni incremento di una unità di magnitudo corrisponde a un incremento di *trenta volte* dell'energia emessa.



I terremoti più piccoli percettibili dall'uomo hanno una magnitudo intorno a 3,5, mentre quelli che possono provocare danni alle abitazioni e vittime hanno una magnitudo superiore a 5,5.

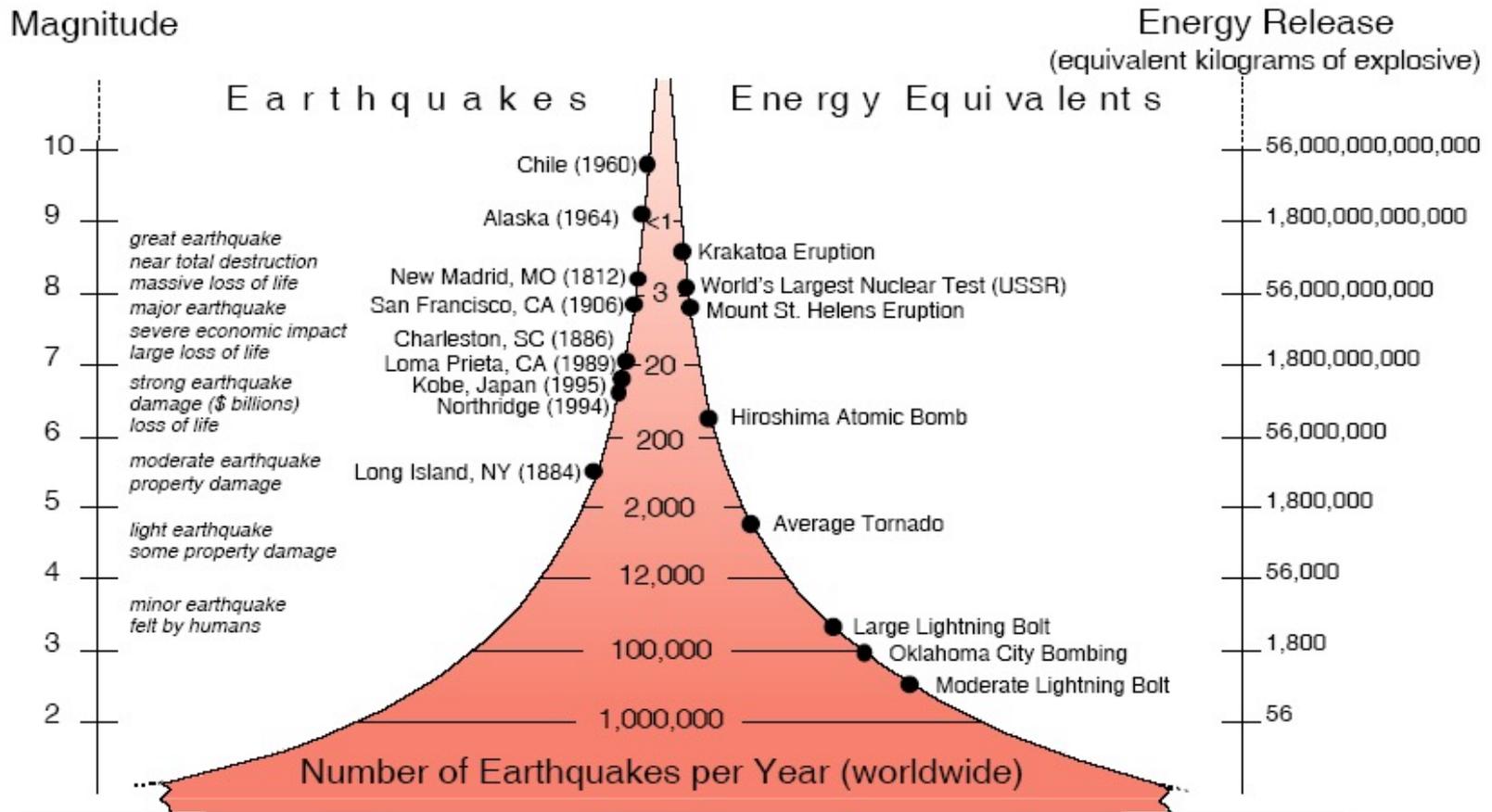
La magnitudo non ha un limite superiore, ma finora i più grandi sismi registrati non hanno superato il valore di 9,5.

<i>Magnitudo</i>	<i>Effetti</i>
< 3.5	Rilevato solo da strumenti.
3.5-5.4	Spesso sentito, ma raramente causa danni.
< 6.0	Lievi danni ad edifici ben progettati. Danni importanti ad edifici mal costruiti in aree vicine.
6.1-6.9	Può essere distruttivo in aree distanti anche 100 km.
7.0-7.9	Terremoto importante; può causare danni seri in aree molto estese.
> 8	Grande terremoto. Può causare gravi danni in aree distanti più di 100 km.

Frequenza annua dei terremoti in funzione della Magnitudo

I forti terremoti avvengono almeno una volta l'anno. I terremoti più piccoli, come quelli di magnitudo 2, avvengono alcune centinaia di volte al giorno. Per dare origine ad un sistema montuoso ci vogliono alcuni milioni di terremoti di media grandezza in un periodo di alcune decine di milioni di anni.

In questo grafico è riportato il numero medio di terremoti in un anno in funzione della magnitudo e della quantità di esplosivo che rilascia la stessa energia. Per esempio, il terremoto di Northridge del 1994, che fu di media grandezza (magnitudo 6.7), ha rilasciato una quantità di energia circa 100 volte quella della bomba atomica che distrusse la città di Hiroshima.



La parola *tsunami* (sinonimo di maremoto) è di origine giapponese e significa "onda di porto", ad indicare un tipo di onda anomala che non viene fermata dai normali sbarramenti posti a difesa dei porti.

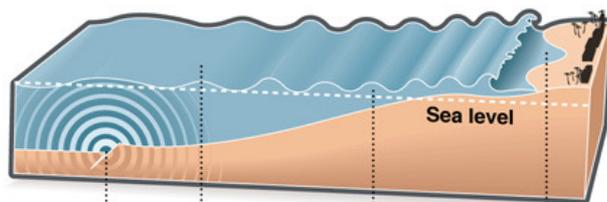
Il fenomeno consiste in una serie di onde che si propagano attraverso l'oceano, provocate o da forti terremoti sottomarini, o da eruzioni vulcaniche, o da grosse frane sottomarine.

Le *onde di tsunami* si propagano con una velocità proporzionale alla profondità del mare in quel punto, che negli oceani può superare gli 800 km/ora. La loro lunghezza d'onda, misurata da cresta a cresta, va da alcune decine fino ad alcune centinaia di km, con un periodo di oscillazione che può andare da 5 a 60 minuti e con una altezza da qualche centimetro ad 1 metro. Per questo le onde di tsunami che si propagano in mare aperto non sono percepibili dai marinai a bordo delle navi.

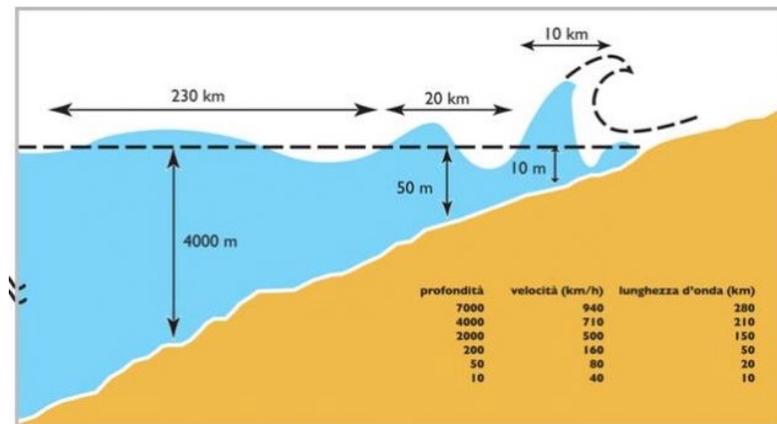
Quando le onde di tsunami raggiungono le acque poco profonde dei litorali, rallentano la loro velocità di propagazione ma aumentano di altezza, superando anche i 10 metri. Queste onde sono di una potenza straordinaria: abbattendosi sulla costa, sono capaci di distruggere gli edifici, mentre le correnti generate dall'acqua, dell'ordine di 10-20 m/s, possono facilmente trasportare enormi massi. In genere l'inondazione penetra solo per qualche centinaio di metri, ma può interessare tratti di costa di migliaia di km.



Tsunami waves travel rapidly in the deep ocean, but their destructive power comes from the towering heights attained as they approach the coast.

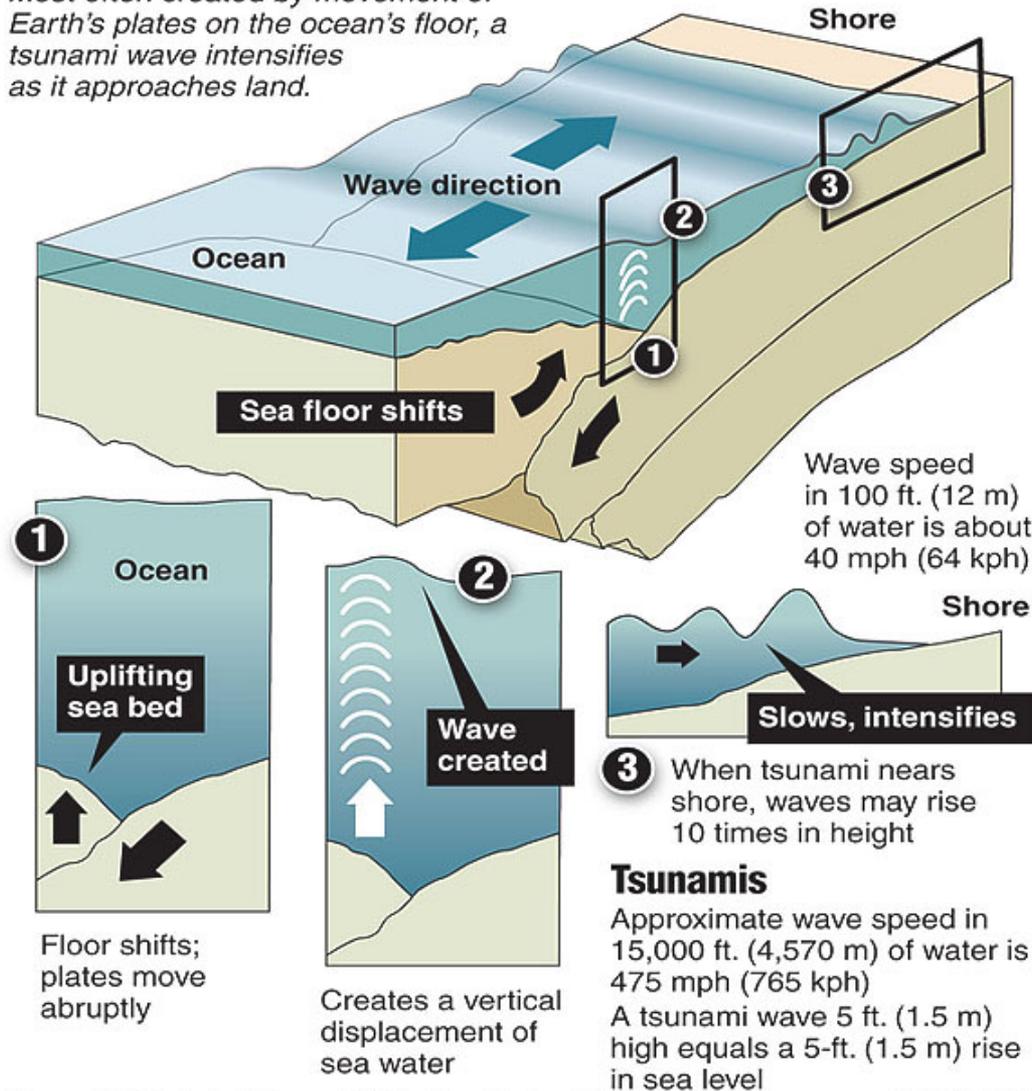


- A seismic event or displacement sends shock waves outward.
- Initial waves travel very fast, but are only a few feet tall.
- Waves travel through shallower depths as they approach the coast, decreasing in speed while increasing in height.
- Tsunami waves hit shores with deadly force, depositing water and debris.



Tsunami waves

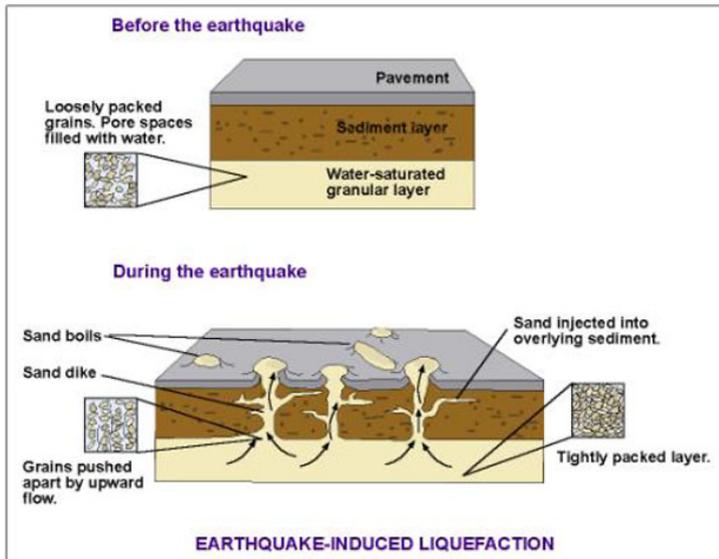
Most often created by movement of Earth's plates on the ocean's floor, a tsunami wave intensifies as it approaches land.



Liquefazione

La *liquefazione* è un fenomeno indotto da un *evento sismico* in depositi sabbiosi a granulometria uniforme, normalmente consolidati e saturi. Durante l'evento, le *sollecitazioni* indotte nel terreno possono causare un aumento delle pressioni interstiziali fino a eguagliare la tensione soprastante. Viene così annullata la resistenza al taglio e si assiste a un fenomeno di fluidificazione del suolo, che perde la sua capacità portante.

Gli edifici costruiti al di sopra di un terreno soggetto a liquefazione subiscono affondamenti e ribaltamenti, poiché il terreno non è più in grado di opporre resistenza al peso proveniente dall'alto.



Niigata 1964 (Giappone)

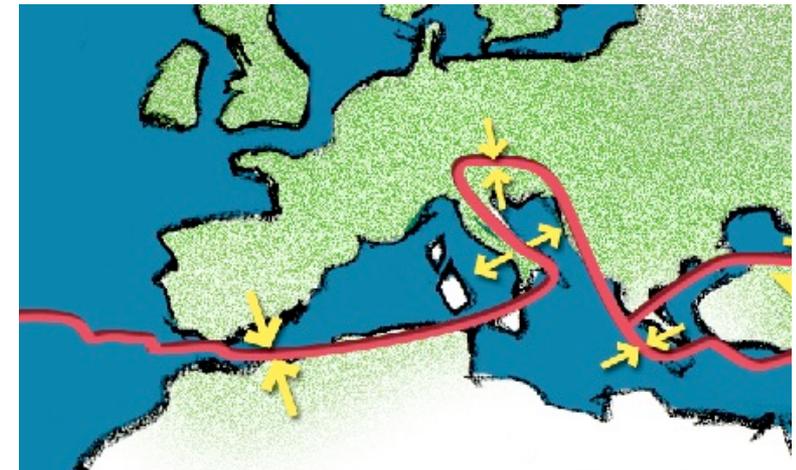
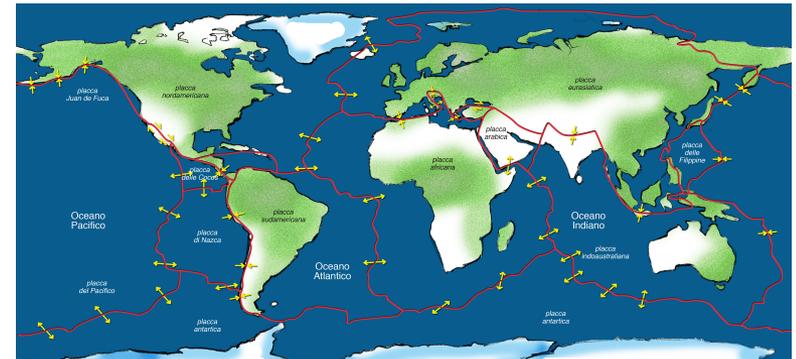
Negli ultimi 100 anni, il 60% delle vittime dovute ai fenomeni naturali è stato causato dai terremoti, con oltre 3,6 milioni di morti.

In particolare, dal 1905 al 2016, in Italia ci sono stati 15 terremoti forti ($M > 5.9$), cioè in media uno ogni 7 anni e mezzo, con oltre 115.000 vittime.

Per questa ragione, la *previsione* dei terremoti, *se fosse possibile*, potrebbe salvare moltissime vite umane.

Forti terremoti in Italia dal 1900

08/09/1905	Calabria	M = 7,1
28/12/1908	Messina e Reggio Calabria	M = 7,2
13/01/1915	Avezzano (Abruzzo)	M = 7,0
29/06/1919	Mugello (Toscana)	M = 6,2
07/09/1920	Garfagnana (Toscana)	M = 6,5
23/07/1930	Irpinia (Campania)	M = 6,7
21/08/1962	Irpinia (Campania)	M = 6,2
15/01/1968	Valle del Belice (Sicilia)	M = 6,1
06/05/1976	Friuli	M = 6,4
23/11/1980	Irpinia (Campania)	M = 6,9
26/09/1997	Umbria e Marche	M = 6,0
06/04/2009	L'Aquila (Abruzzo)	M = 6.1
20/05/2012	Modena (Emilia)	M = 5.9
24/08/2016	Amatrice-Arquata (Lazio)	M = 6.0
30/10/2016	Norcia-Preci (Umbria)	M = 6.5



Prevedere (dal latino *praevidere*, cioè vedere prima), significa conoscere in precedenza, ipotizzare la **possibilità** di un evento, supporre in anticipo ciò che avverrà.

Prevedere un terremoto significa **calcolare probabilisticamente** tempo, luogo e grandezza del terremoto atteso.

Prevedere i terremoti è **possibile**, poiché attraverso la conoscenza dei terremoti passati e gli studi di geodinamica conosciamo quali sono le aree sismogenetiche, che sono i luoghi dove si manifesteranno **prima o poi** i prossimi eventi sismici.

Questo tipo di previsioni è molto importante per lo sviluppo della normativa e per la preparazione nei confronti dell'emergenza.

Predire (dal latino *praedicere*, cioè dire prima), significa annunciare ad altri con precisione quello che accadrà.

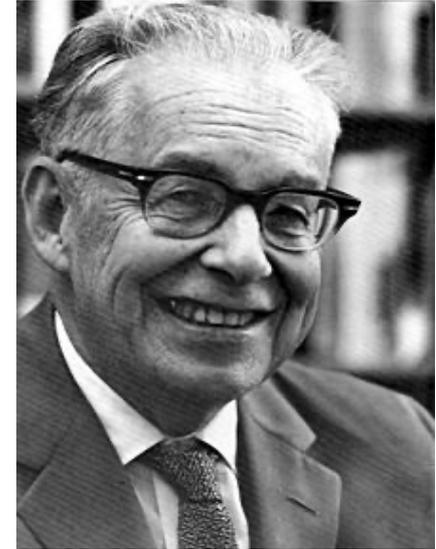
Predire un terremoto significa **calcolare esattamente** tempo, luogo e grandezza del terremoto atteso.

Al giorno d'oggi **predire** un terremoto **non è possibile**, perché le informazioni di cui disponiamo sono ancora incomplete e per l'**aleatorietà** che caratterizza il fenomeno sismico.

Su questo punto gli studiosi si dividono: alcuni pensano che nel futuro sarà possibile, altri sono convinti del contrario.

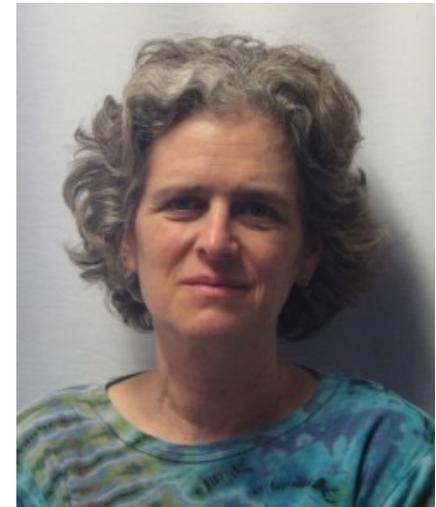
Charles Richter, 1977

- *“Since my first attachment to seismology I have had a horror of predictions and predictors. Journalists and the general public rush to any suggestion of earthquake prediction like hogs to a full trough”.*
- *“Solo i dilettanti, gli sciocchi e i ciarlatani predicono i terremoti”.*



Susan Hough (USGS)

- Prevedere l'imprevedibile: la tumultuosa scienza della previsione dei terremoti (2013)
“La predizione dei terremoti? Sono incline nel dubitare, ma penso sia possibile. [...] Vale la pena continuare la ricerca.”



Precursori sismici

Prima di un terremoto ci sono usualmente certi segni che, generalmente dopo il fatto, acquisiscono retrospettivamente lo statuto di *segni premonitori*. Non tutti sono presenti in ogni caso, ma la presenza di alcuni di essi ha spinto i sismologi a cercare la possibilità di utilizzarli per prevedere i terremoti. I potenziali *precursori sismici* sono legati all'incremento degli sforzi tettonici nella crosta. I principali sono:

- Sciame sismico
- Perturbazione delle acque nei pozzi e nelle sorgenti
- Aumento della concentrazione del radon rilasciato da microfratture delle rocce
- Deformazioni del suolo
- Segnali elettrici o elettro-magnetici
- Comportamento degli animali

Tuttavia, tra tutti i potenziali segni premonitori non è stato possibile trovarne almeno uno che sia di valore universale e che abbia il carattere della scientificità. Finora, i *risultati* delle ricerche sono stati sempre *negativi*.

Poiché al giorno d’oggi non sono disponibili predizioni deterministiche dei terremoti, non è possibile ricorrere a tempestive evacuazioni della popolazione prima del manifestarsi di un evento distruttivo.

Al contrario, bisogna imparare a convivere con i terremoti, seguendo un’efficace politica di *prevenzione* dei suoi effetti.

“For public safety we don’t need prediction, earthquake risk can be removed, almost completely, by proper building construction and regulation”, sosteneva Charles Richter nel 1970.

Prevenire

Prendere tutte le precauzioni necessarie perché un evento negativo o dannoso non si verifichi (Vocabolario Treccani).

Per prevenire gli effetti negativi del terremoto bisogna:

- avere e osservare leggi adeguate
- progettare bene
- costruire bene
- istruire e preparare la popolazione
- sviluppare le attività di ricerca

Compito del politico e del legislatore

Promulgare leggi chiare per la nuova edilizia e per le vecchie costruzioni da adeguare.

Compito del ricercatore

Indicare la pericolosità delle diverse zone sismiche.

Compito del progettista

Concepire una struttura sismo-resistente adeguata, che non sia soltanto il prodotto di un calcolo automatico, ma che garantisca un buon comportamento globale anche nel caso di un evento estremo.

Compito del costruttore

Realizzare la costruzione seguendo scrupolosamente quanto stabilito dal progetto, con particolare riferimento alle caratteristiche dei materiali e ai dettagli costruttivi.

Compito del comune cittadino

Essere informato e preparato.