

ZANICHELLI

Simonetta Klein

Il racconto della chimica e della Terra

ZANICHELLI

Capitolo 20

La Terra dinamica: i vulcani e i terremoti

ZANICHELLI

Sommario

1. La Terra, un pianeta inquieto
2. Vulcani ed eruzioni
3. L'attività sismica

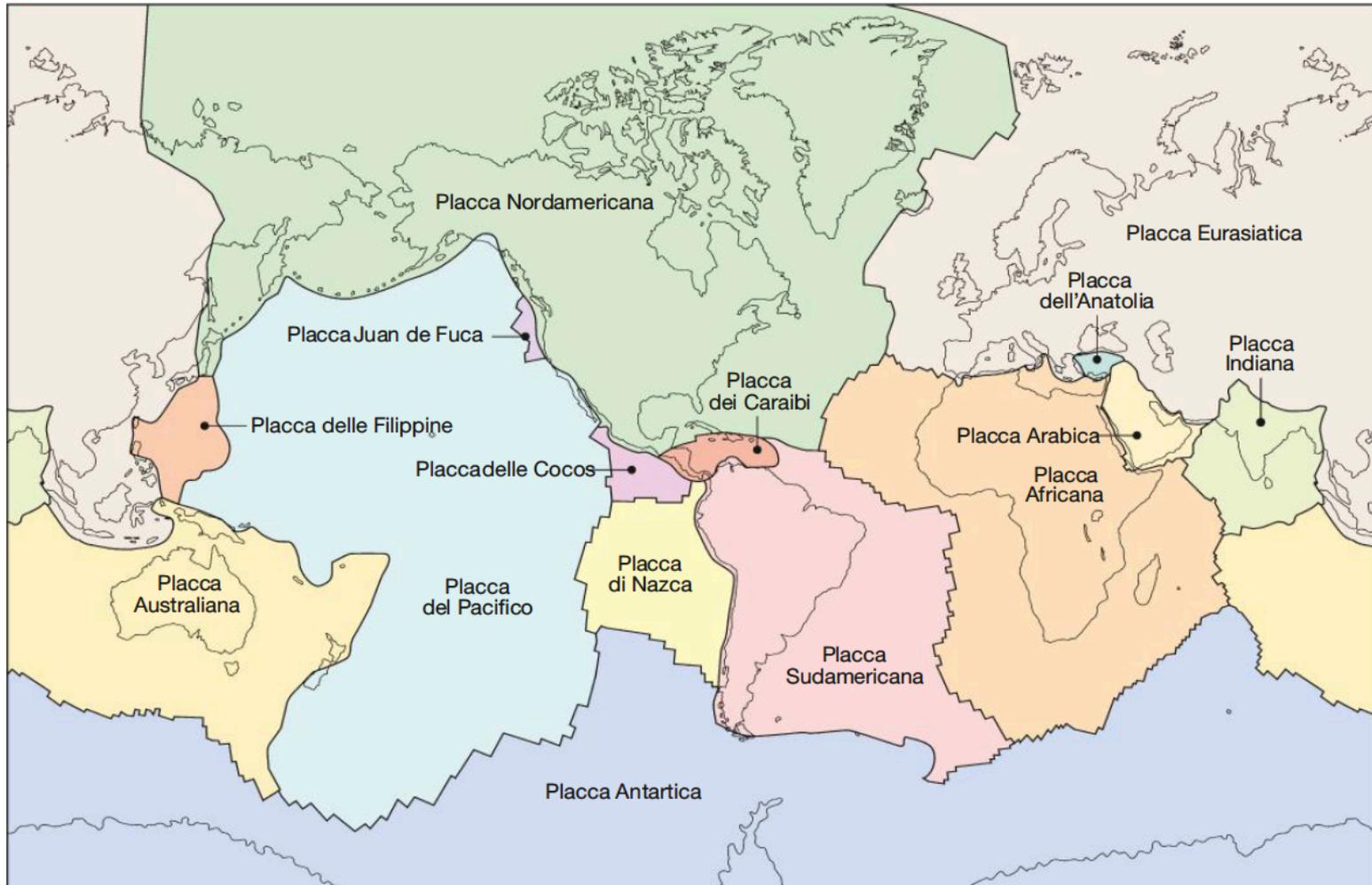
La Terra, un pianeta inquieto

La **tettonica delle placche** è una teoria che colloca e spiega tutti i grandi fenomeni geologici che interessano il nostro pianeta.

La litosfera terrestre è descritta come un sottile guscio rigido suddiviso in diversi frammenti detti **placche**, incastrati tra loro.

Le placche sono sostenute dall'astenosfera sottostante, più calda e fluida. Le placche si muovono lentamente sull'astenosfera a causa dei **moti convettivi** che rimescolano l'interno della Terra.

La Terra, un pianeta inquieto



La Terra, un pianeta inquieto

I moti convettivi sono lentissimi movimenti con cui si disperde il calore immagazzinato all'interno della Terra.

Il materiale caldo risale raffreddandosi e aumentando di densità. In prossimità della litosfera in parte fuoriesce in superficie, in parte si sposta lateralmente trascinando la sovrastante litosfera per poi ridiscendere.

La Terra, un pianeta inquieto

Le placche possono comportarsi in tre modi: divergere l'una dall'altra, convergere l'una verso l'altra oppure scorrere l'una accanto all'altra.

In funzione del movimento reciproco di due placche, i margini che le dividono possono essere:

- divergenti
- convergenti
- trasformati

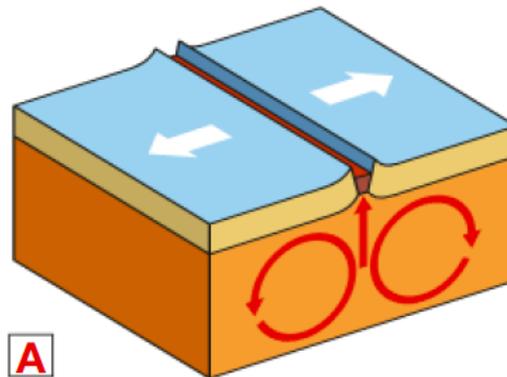
La Terra, un pianeta inquieto

Margine di placca divergente

Le forti tensioni favoriscono la risalita di masse caldissime dall'astenosfera, che fondono le rocce che incontrano durante la risalita.

I magmi, fuoriuscendo in superficie, formano nuova litosfera.

La maggior parte si trova lungo le dorsali oceaniche.



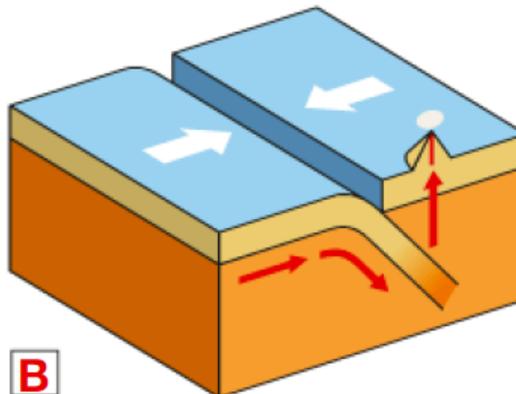
La Terra, un pianeta inquieto

Margine di placca convergente

Una placca sprofonda sotto l'altra in corrispondenza di un'area detta zona di subduzione.

I margini sono caratterizzati da un vulcanismo esplosivo e da un'intensa attività sismica.

Sono tipici delle fosse oceaniche.



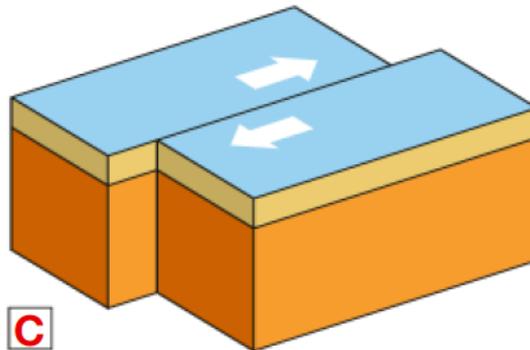
La Terra, un pianeta inquieto

Margine di placca trasforme

Due placche scorrono in direzioni opposte orizzontalmente l'una accanto all'altra.

Le forti tensioni producono intensa attività sismica a causa dell'attrito tra le placche in movimento.

Sono margini conservativi, poiché non creano né distruggono litosfera.



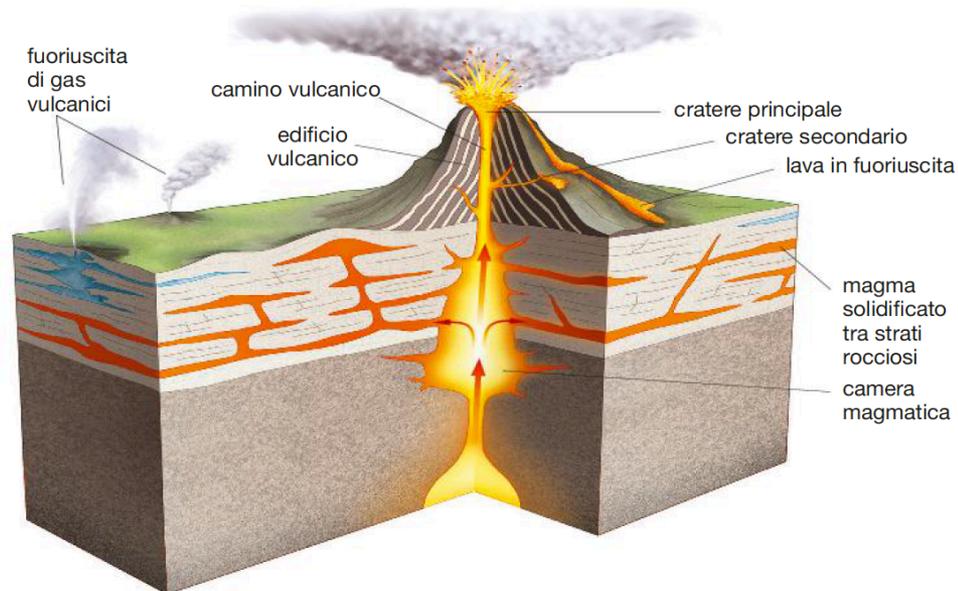
La Terra, un pianeta inquieto

Anche all'interno delle placche ci sono vulcani attivi.

Sono detti **punti caldi** o **hot spot** e si trovano in corrispondenza di fratture che attraversano tutta la litosfera o di profondi condotti che consentono l'ascesa di magmi dall'astenosfera.

Vulcani ed eruzioni

I **vulcani** sono strutture geologiche attraverso le quali il magma che si è formato all'interno della Terra risale fino a riversarsi in superficie sotto forma di lava e di gas nel corso di un'**eruzione**.



Vulcani ed eruzioni

Gli elementi principali di un apparato vulcanico sono:

- la **camera magmatica** o **serbatoio magmatico**, una cavità interna alla litosfera nella quale si accumula il magma
- il **camino vulcanico**, un condotto attraverso cui il magma risale in superficie e il suo sbocco esterno forma il **cratere**, una depressione da cui escono lava e gas
- l'**edificio vulcanico** è il rilievo costruito dall'accumulo e dalla solidificazione dei prodotti vulcanici in prossimità del cratere.

Vulcani ed eruzioni

Quando i magmi risalgono in superficie nel corso dell'attività vulcanica i gas si separano.

La massa liquida che sgorga dal vulcano prende il nome di **lava**.

La lava ha una composizione molto simile a quella del magma da cui ha origine, ma non identica.

Vulcani ed eruzioni

I margini divergenti e convergenti sono interessati dalla risalita di magmi primari e secondari.

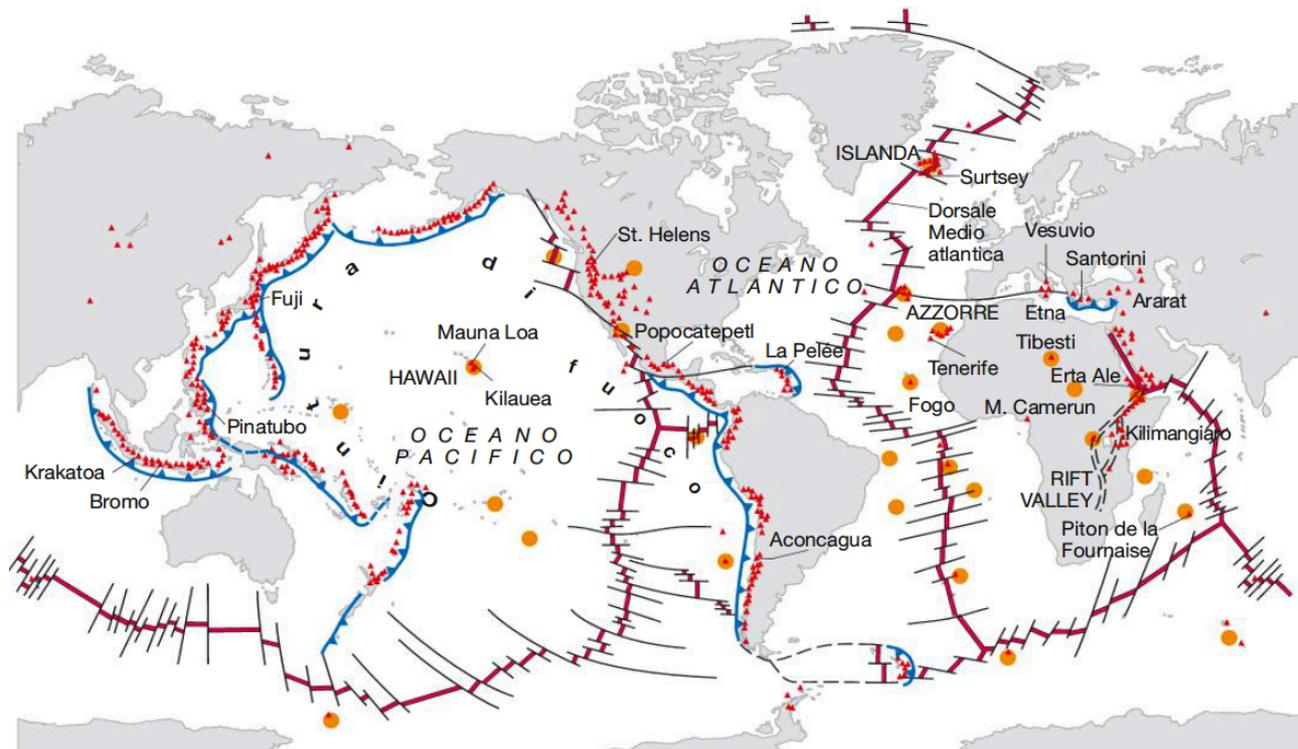
I **magmi primari** sono associati ai margini divergenti, dove le forti tensioni favoriscono la risalita di masse caldissime dal mantello, capaci di fondere le rocce che incontrano durante la risalita.

Circa l'1% dei vulcani terrestri si trova in punti di risalita del magma isolati (punti caldi o hot spot).

I **magmi secondari** sono associati a margini convergenti, dove una placca sprofonda sotto l'altra.

Vulcani ed eruzioni

Circa il 70% dei vulcani emersi è situato intorno all'Oceano Pacifico a formare un allineamento noto con il nome di **cintura di fuoco circumpacifica**.



Vulcani ed eruzioni

L'**attività vulcanica eruttiva** consiste nell'emissione di materiali provenienti dall'interno del mantello e della litosfera, chiamati **prodotti vulcanici**. L'attività eruttiva può essere di tre tipi:

- **esalativa**, quando i prodotti sono gassosi
- **effusiva**, quando si ha emissione di lava liquida
- **eiettiva**, quando si ha emissione violenta di prodotti solidi

In base al modo in cui i materiali vulcanici fuoriescono dal cratere si distinguono eruzioni **lineari** e **centrali**.

Vulcani ed eruzioni

Le **eruzioni lineari** si verificano quando la lava fuoriesce da estese e profonde fratture. La lava basaltica fuoriesce da una frattura detta rift-valley, solidifica e dà luogo a nuova crosta oceanica. Nelle aree continentali invece si possono formare vasti plateau basaltici.

Le **eruzioni centrali** riguardano le isole vulcaniche e i vulcani continentali in cui la lava solidifica e si accumula formando un rilievo di forma conica.

Vulcani ed eruzioni

Temperatura e fluidità del magma determinano le caratteristiche del vulcano:

- a un estremo ci sono i **magmi basici** e caldissimi con lave molto fluide che sgorgano in superficie in modo tranquillo e regolare. L'attività del vulcano risulta tranquilla ed **effusiva**
- all'estremo opposto ci sono i vulcani con attività **esplosiva** dovuta ai **magmi acidi** dalla temperatura bassa e alta viscosità. La lava solidifica nel condotto e genera esplosioni con emissione di gas e prodotti solidi e liquidi.

Vulcani ed eruzioni

Quando il magma è molto viscoso si può formare un tappo solido nel condotto vulcanico che impedisce la fuoriuscita della lava.

La pressione della massa fluida sottostante incrementa finché frantuma il tappo con una violenta esplosione e vengono lanciati nell'atmosfera ceneri, lava, frammenti di roccia e gas incandescenti.

Vulcani ed eruzioni

L'**indice di esplosività** di un vulcano è calcolato in base alla percentuale di prodotti solidi rispetto al totale.

I vulcani italiani hanno un valore medio intorno al 41%.

I materiali espulsi dal vulcano, provenienti dall'interno della litosfera, sono chiamati **prodotti vulcanici**. Hanno elevata temperatura e possono essere solidi, liquidi e gassosi.

Vulcani ed eruzioni

Materiali piroclastici

I prodotti solidi delle eruzioni esplosive sono detti **piroclasti** e le rocce che ne derivano **piroclastiti**. In base alle dimensioni si distinguono:

- polveri, impalpabili e con diametro inferiore a $62\ \mu\text{m}$
- ceneri, grandi come granelli di sabbia con diametro tra $26\ \mu\text{m}$ e $2\ \text{mm}$
- lapilli, con dimensioni tra $2\ \text{mm}$ e $64\ \text{mm}$
- bombe, con diametro superiore a $64\ \text{mm}$ fino a qualche metro.

Vulcani ed eruzioni

Materiali lavici

Sono distinte in base al grado di acidità:

- **lave acide** hanno una percentuale di silice maggiore del 66%, la loro temperatura è compresa tra 700 °C e 1000 °C, sono viscosi e scorrono lentamente al margine del cratere
- **lave basiche** hanno una percentuale di silice minore del 52%, la loro temperatura varia da 1000 °C a 1300 °C, sono più fluide e scorrono lungo i pendii allontanandosi dal cratere.

Vulcani ed eruzioni

Le lave si classificano anche in base alla forma che assumono una volta solidificate:

- **lava a corde** è caratterizzata da una superficie liscia e ondulata a cordoni.

È una forma tipica di lave molto fluide che scorrono facilmente a valle mentre la superficie si sta già solidificando.



Vulcani ed eruzioni

- **lava scoriacea** più viscosa delle precedenti. Solidifica frammentandosi in scaglie con spigoli aguzzi e taglienti
- **lava a blocchi**, ancora più viscosa. Solidificandosi forma massi solidi trascinati a valle dalla lava fluida sottostante



Vulcani ed eruzioni

- **lava a cuscini** tipica delle eruzioni sottomarine.

A contatto con l'acqua la lava si consolida rapidamente in superficie e forma una sottile pellicola al cui interno continua ad accumularsi lava fluida.



Vulcani ed eruzioni

Prodotti gassosi

Sono costituiti prevalentemente da vapore acqueo, ossidi del carbonio, anidride solforosa e acido solfidrico.



Vulcani ed eruzioni

L'aspetto e la struttura degli edifici vulcanici sono il risultato dell'accumularsi dei prodotti vulcanici intorno al cratere.

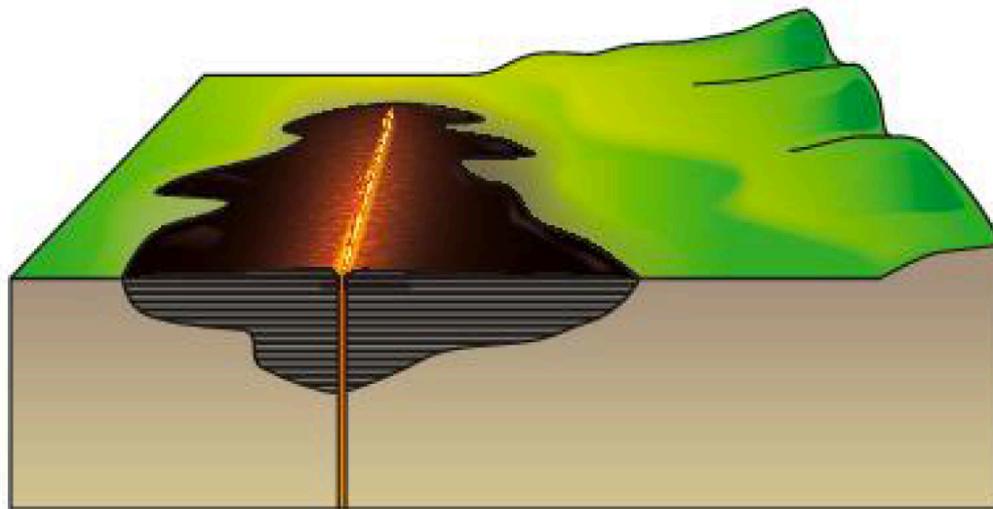
I tipi principali sono:

- i plateau basaltici
- i vulcani a scudo
- gli stratovulcani

Vulcani ed eruzioni

I **plateau basaltici** sono ampie distese orizzontali di strati lavici sovrapposti a formare un altopiano.

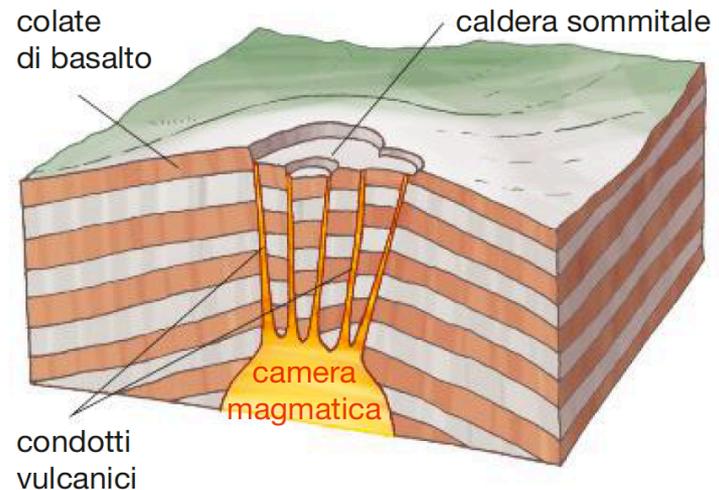
I plateau si formano grazie a lave basiche estremamente fluide emesse nel corso di eruzioni lineari.



Vulcani ed eruzioni

Nei **vulcani a scudo** l'edificio vulcanico ha forma bombata con i versanti arrotondati. Si forma nel caso di eruzioni centrali di lave molto fluide che si allontanano rapidamente dal cratere di origine.

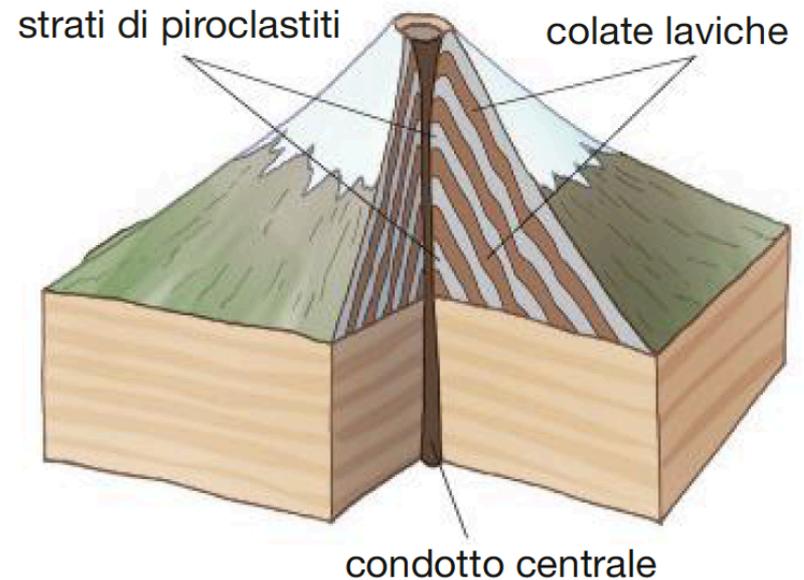
Talvolta sulla sommità c'è una **caldera**, cioè una depressione circolare a base piatta, dovuta al crollo sommitale dell'edificio vulcanico per svuotamento della camera magmatica.



Vulcani ed eruzioni

Gli **stratovulcani** hanno la forma conica dovuta all'accumulo di lave più viscoso in prossimità del cratere durante l'alternarsi di attività effusiva ed esplosiva.

Sono costituiti da strati alternati di lava solidificata e roccia sedimentaria piroclastica derivante dalla cementazione dei materiali solidi espulsi durante le fasi esplosive.



Vulcani ed eruzioni

All'interno di stratovulcani o nelle caldere ci sono, a volte, i coni di scorie.

I coni di scorie sono rilievi dalla forma conica regolare formati dai prodotti piroclastici accumulatisi intorno al cratere nel corso dell'attività esplosiva.

Vulcani ed eruzioni

Un vulcano è **attivo** se ha attività eruttiva persistente, con eruzioni continue o alternate a brevi periodi di riposo (dell'ordine dei mesi o di pochi anni).

È **quiescente** se il periodo di inattività è più lungo dei periodi di inattività che mediamente sono intercorsi tra le diverse eruzioni storiche documentate.

È dichiarato **estinto** un vulcano che non ha manifestato eruzioni a memoria storica da oltre 10 000 anni.

Vulcani ed eruzioni

I vulcani quiescenti mostrano la loro attività residua nel sottosuolo con fenomeni di vulcanismo secondario.

Le masse magmatiche in raffreddamento o le rocce magmatiche consolidate ma ancora soggette all'influenza di masse calde interne alla crosta, possono interagire con l'acqua sotterranea generando diversi fenomeni chiamati **vulcanismo secondario**.

Vulcani ed eruzioni

Nei fenomeni vulcanici secondari l'acqua che si infiltra nel sottosuolo evapora a contatto con le calde masse rocciose circostanti.

Risale in superficie come vapore, solubilizza molte sostanze e fuoriesce dando origine a diversi fenomeni: geysers, soffioni, sorgenti idrotermali.

In ogni caso i sali disciolti nel vapore e nelle acque precipitano intorno al punto di emissione formando tipiche incrostazioni contenenti i vari tipi di sali.

Vulcani ed eruzioni

I **soffioni** sono sbuffi violenti di vapore che fuoriescono dal suolo.



I **geyser** sono fontane di acqua calda.



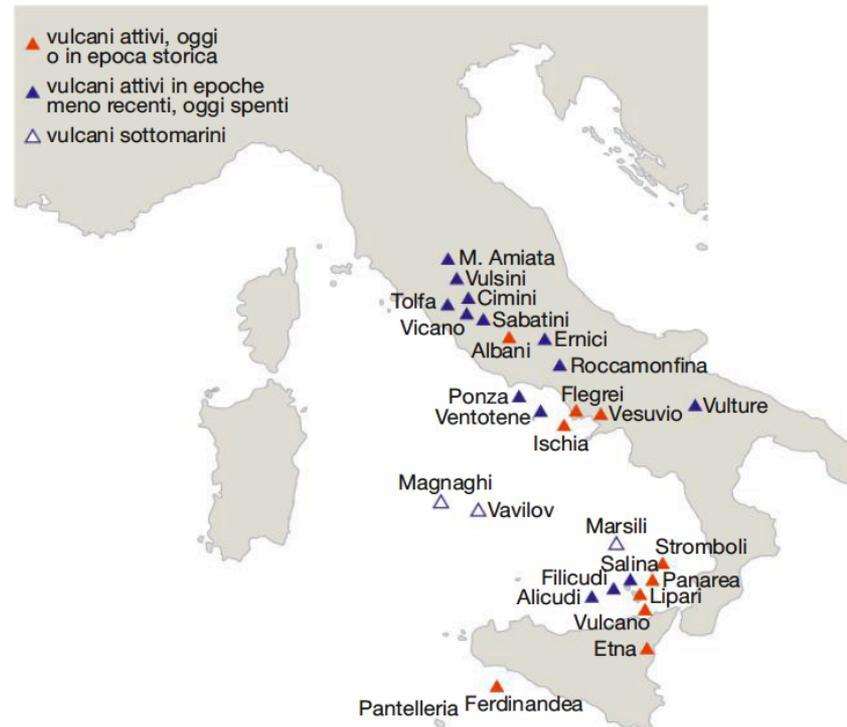
Vulcani ed eruzioni

Se l'apporto di acqua è abbondante si originano delle **sorgenti idrotermali**.



Vulcani ed eruzioni

L'Italia ospita numerosi vulcani attivi, in particolare nel sud e nelle isole.



Vulcani ed eruzioni

Il **Vesuvio** è attivo da 25 000 anni. È uno stratovulcano con attività esplosiva; si stima che le eruzioni siano state circa un centinaio, di cui 18 negli ultimi tre secoli. È uno dei vulcani considerati più pericolosi al mondo.

Vulcano (isola delle Eolie) è uno stratovulcano con attività esplosiva in stato di quiescenza.

L'**Etna** è un vulcano a scudo sormontato da una caldera con attività prevalentemente effusiva a lava fluida. È il vulcano attivo più alto d'Europa con eruzioni continue documentate sin dall'antichità.

Vulcani ed eruzioni

Stroboli è uno stratovulcano delle isole Eolie, è fra i più attivi del pianeta e manifesta attività esplosiva ed effusiva da oltre due millenni.

Esistono **anche vulcani sottomarini**, numerosi fra le Isole Eolie e il Golfo di Napoli, nei fondali del Tirreno.

Campi Flegrei e Ischia. A nord del Golfo di Napoli c'è un'area vulcanica con 19 crateri, alcuni dei quali invasi dalle acque. Anche l'isola di Ischia ospita un piccolo vulcano.

L'attività sismica

I **terremoti**, o **sismi**, sono rapidi movimenti del terreno prodotti dall'improvvisa rottura di grosse porzioni di roccia in seguito, di solito, all'accumulo di forti tensioni protrattesi per centinaia o migliaia di anni.

L'energia liberata al momento della rottura si propaga nella litosfera sotto forma di **onde sismiche**.

L'attività sismica

Il punto nel sottosuolo in cui ha origine un sisma è detto **ipocentro**.

Il punto sulla superficie terrestre che si trova sulla verticale dell'ipocentro e che viene raggiunto per primo dalle onde sismiche è chiamato **epicentro**.

L'attività sismica

A seconda della causa scatenante i terremoti si possono classificare in:

- **tettonici**, causati dai movimenti delle placche litosferiche. Si originano in corrispondenza dei piani di contatto e scorrimento detti faglie
- **vulcanici**, associati alle eruzioni vulcaniche
- **da crollo**, provocati da frane e cedimenti all'interno di caverne o altre cavità delle rocce
- **da esplosione**, causati dalla deflagrazione di ordigni o esplosivi creati dall'uomo.

L'attività sismica

In base alla profondità dell'ipocentro di un sisma si distinguono:

- **terremoti superficiali** (0-70 km) si registrano in corrispondenza delle grandi faglie continentali e delle dorsali oceaniche
- **terremoti intermedi** (70-300 km) e **terremoti profondi** (> 300 km) si verificano nei margini di placca convergenti dove una placca si immerge al di sotto della placca adiacente. In questo caso gli ipocentri sono situati lungo un piano inclinato di circa 50° chiamato **piano di Benioff**.

L'attività sismica

Teoria del rimbalzo elastico

Le rocce della litosfera sono sottoposte a forze di compressione o distensione dovute ai movimenti tettonici.

Inizialmente la roccia risponde in maniera elastica deformandosi, ma tale reazione ha un limite fisico, superato il quale la roccia si rompe rilasciando tutta insieme l'energia che fino a quel momento aveva accumulato.

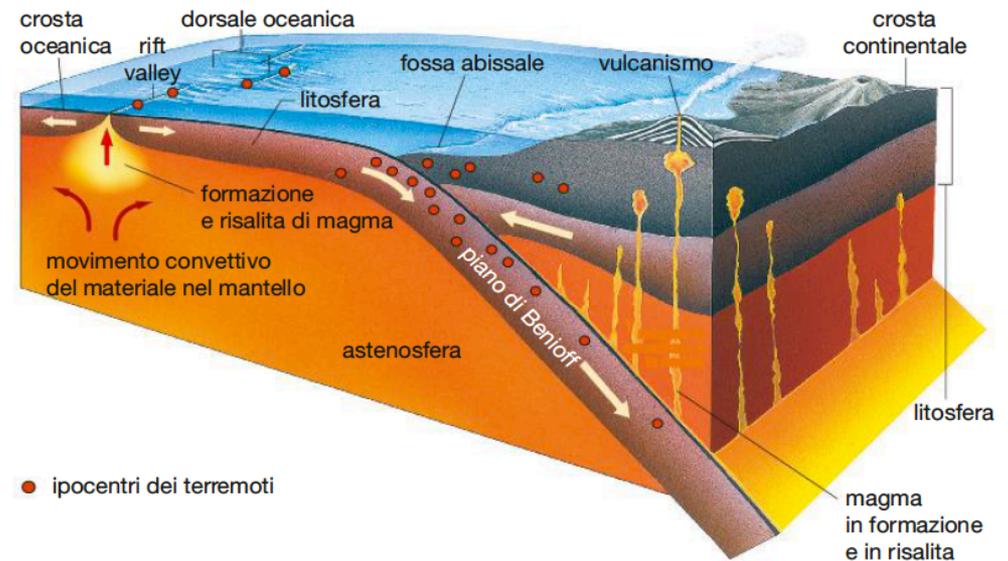
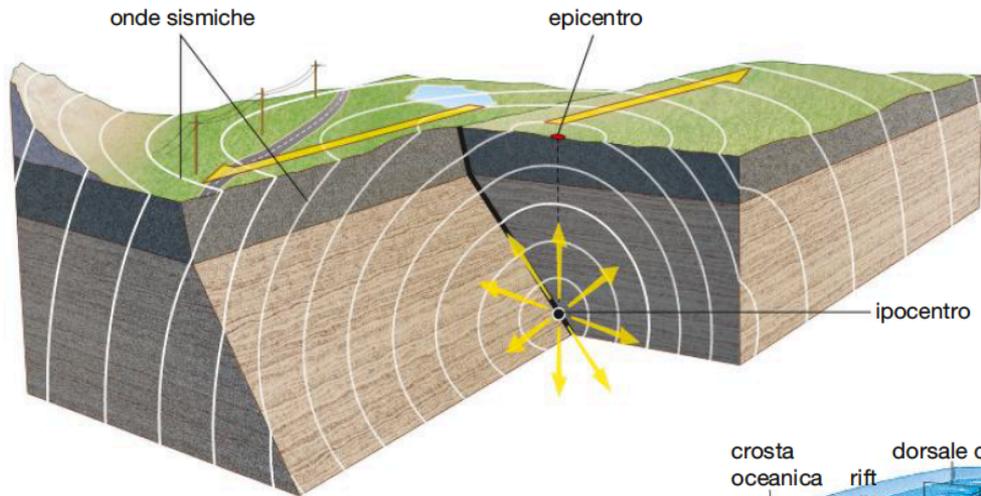
L'attività sismica

Teoria del rimbalzo elastico

L'improvvisa frattura provoca lo slittamento di un blocco di roccia rispetto a un altro lungo una superficie detta **faglia**.

L'energia liberata che fa oscillare le masse rocciose viene propagata sotto forma di **onde sismiche**.

L'attività sismica



L'attività sismica

La sequenza di eventi che precedono o seguono una crisi sismica in un certo territorio è chiamata **ciclo sismico**.

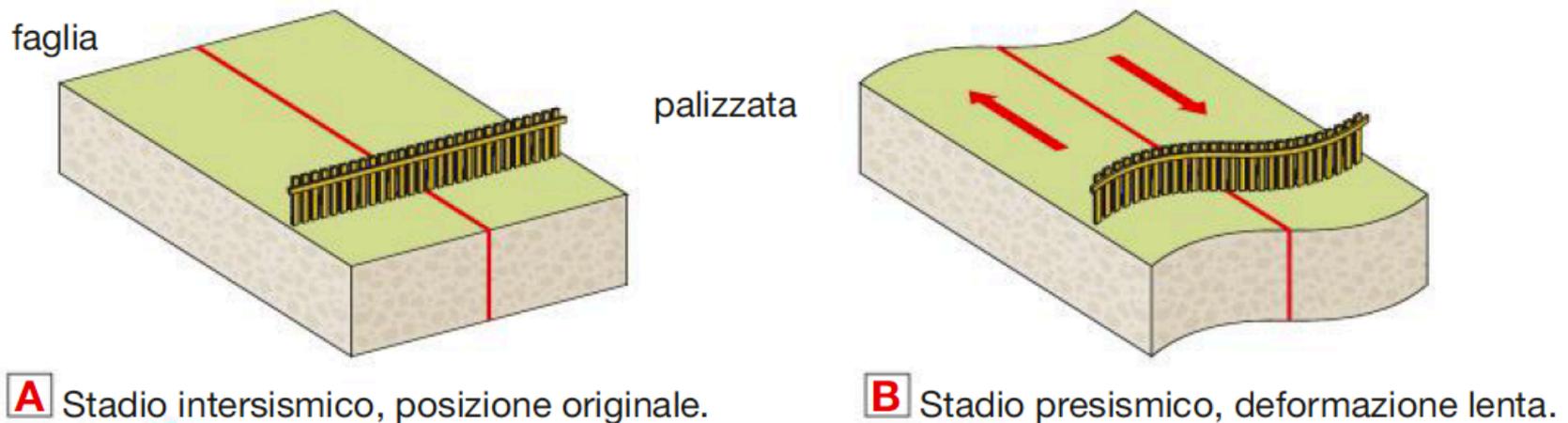
In un ciclo sismico si distinguono diversi stadi:
presismico, cosismico, postsismico, intersismico.

La durata delle fasi del ciclo sismico e l'entità delle rotture dipendono dal tipo di rocce che compongono la crosta e dai meccanismi tettonici.

La scienza che studia tutto ciò è la **sismologia**.

L'attività sismica

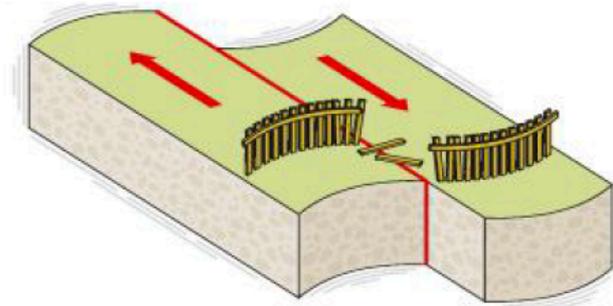
Nello **stadio presismico** si riscontrano anomalie nelle rocce in prossimità della faglia.



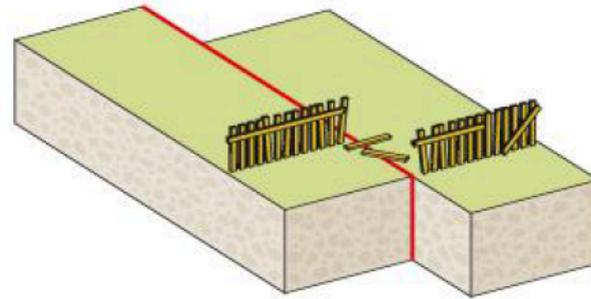
Lo **stadio cosismico** è il momento in cui il limite elastico viene raggiunto e superato, la roccia si frattura e si verifica il terremoto.

L'attività sismica

Nello **stadio postsismico** altre scosse, dette di assestamento, si ripetono fin quando non si raggiunge un nuovo equilibrio.



C Stadio cosismico e postsismico, rottura e rilascio di energia.



D Nuovo stadio intersismico, nuova posizione.

Durante lo **stadio intersismico** le deformazioni sono lentissime e diffuse quindi apparentemente il sistema è a riposo.

L'attività sismica

Le onde sismiche che si propagano dall'ipocentro nell'interno della Terra sono di due tipi:

- onde prime, P
- onde seconde, S

A partire dall'epicentro si propagano onde superficiali con maggiore ampiezza e quindi più devastanti:

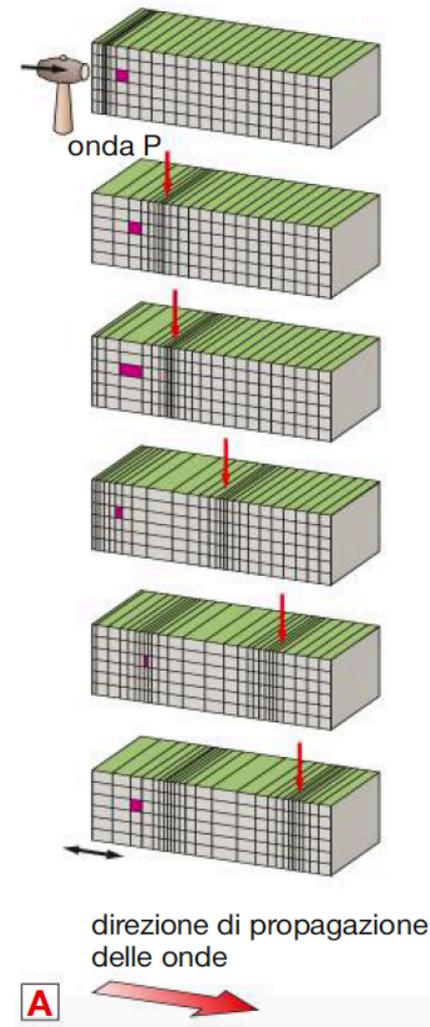
- onde di Love, L
- onde di Rayleigh, R

L'attività sismica

Le **onde prime, P** sono longitudinali, in quanto le particelle oscillano nella stessa direzione di propagazione dell'onda.

Sono le onde più veloci e quindi quelle rilevate per prime dai sismografi.

Si propagano attraverso i solidi, i liquidi e gli aeriformi.

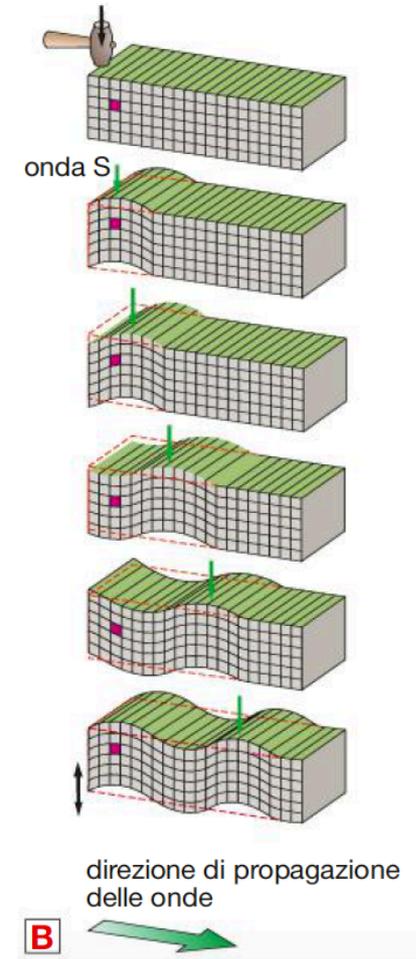


L'attività sismica

Le **onde seconde, S** sono trasversali, in cui la direzione di oscillazione è perpendicolare alla direzione di propagazione dell'onda.

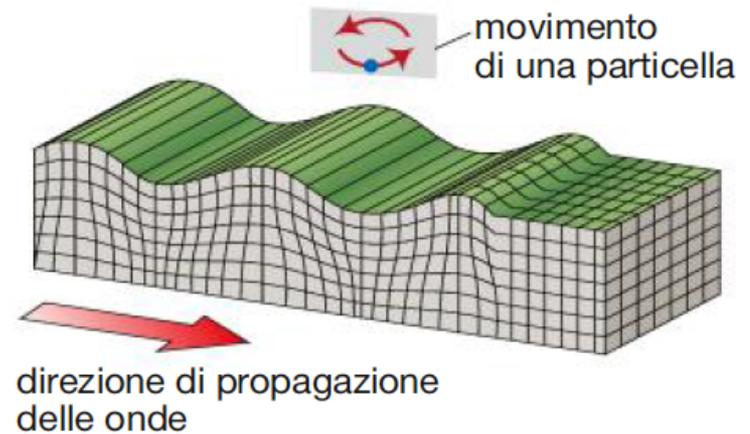
Hanno velocità minore rispetto alle P e quindi sono rilevate per seconde.

Non si propagano attraverso liquidi e gas.

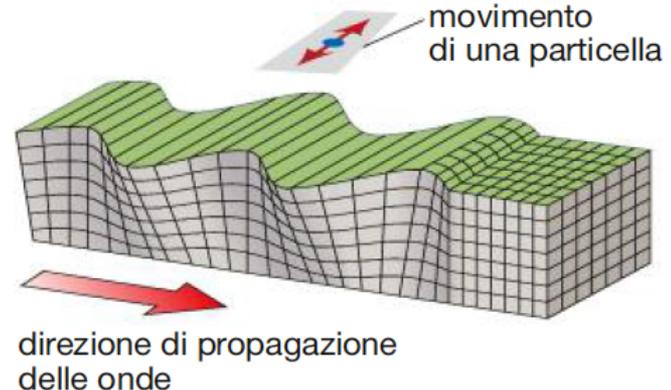


L'attività sismica

Le **onde di Rayleigh, R** derivano dalla composizione delle onde P e S giunte in superficie. Assomigliano alle onde che si formano gettando un sasso in acqua.



Le **onde di Love, L** derivano dalla composizione delle onde P e S giunte in superficie. Il terreno si muove in direzione parallela alla superficie.



L'attività sismica

L'attività sismica è monitorata grazie a una rete di **stazioni sismiche** distribuite sulla superficie terrestre.

Lo strumento principale è il **sismografo**, che rileva e memorizza le oscillazioni del terreno. Nella sua forma più semplice è costituito da:

- un basamento solidale con la roccia sottostante
- una massa pesante sospesa con una buona inerzia
- un sistema di riferimento dotato di un sensore solidale alla massa sospesa e di un rilevatore solidale con il basamento.

L'attività sismica

Le oscillazioni del suolo mettono in movimento il basamento.

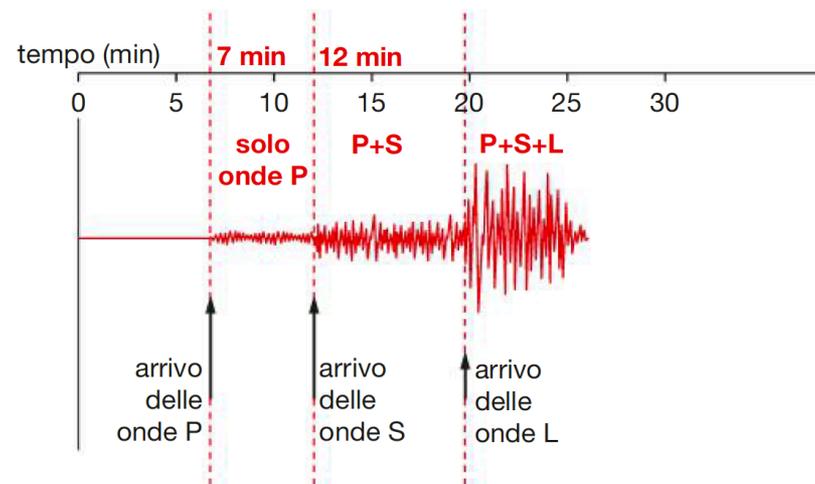
La massa sospesa resta immobile a per l'elevata inerzia.

Il sistema di rilevamento lascia una traccia che evidenzia l'entità delle oscillazioni e i tempi in cui esse si verificano.

L'attività sismica

L'output di un sismografo è il **sismogramma**, un grafico in coordinate cartesiane che ha in ascissa il tempo e in ordinata l'ampiezza dell'oscillazione.

La prima oscillazione a essere rilevata è dovuta all'arrivo delle onde P, le più veloci ma non le più ampie. Seguono le onde S e poi le R e L più ampie.



L'attività sismica

La **magnitudo** (M) esprime la quantità di energia rilasciata all'ipocentro di un terremoto.

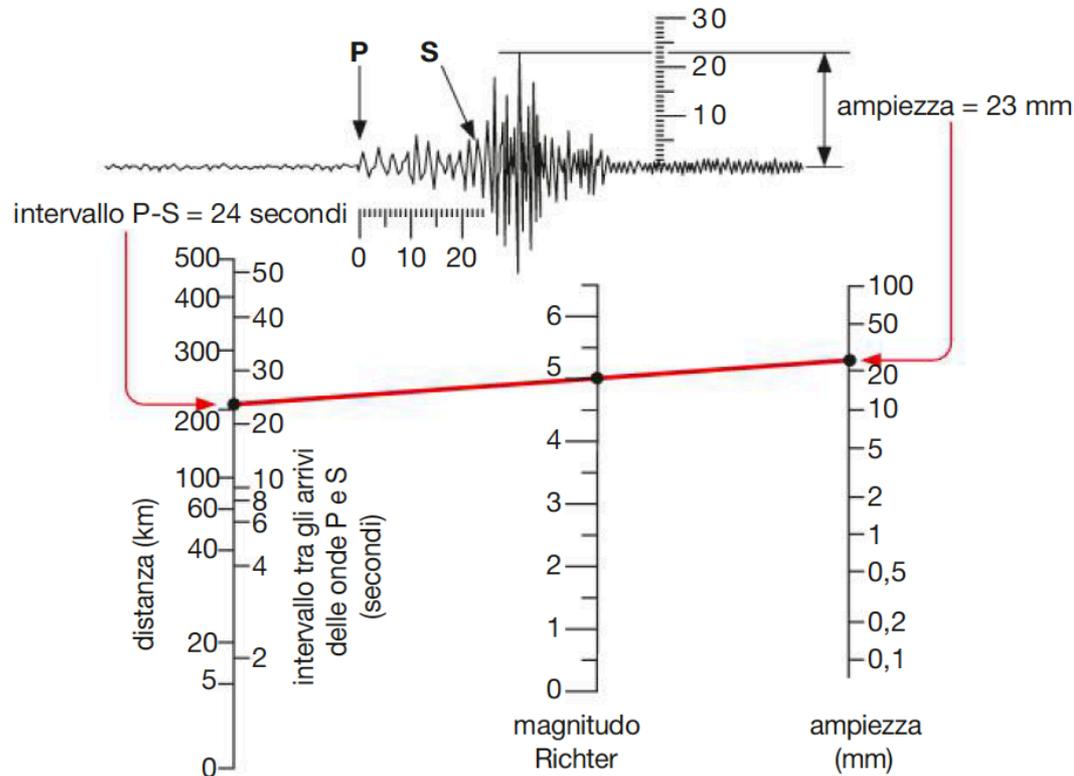
$$M = \log A + \text{fattore correttivo per la distanza}$$

- A è l'ampiezza massima delle onde sismiche ricavata sul sismogramma ed espressa in millimetri
- il fattore correttivo è un parametro che dipende dalla distanza dell'epicentro dalla stazione di rilevamento.

M è un numero puro e per ogni punto sulla scala Richter l'energia liberata dal sisma varia di 10 volte.

L'attività sismica

Per ricavare M da un sismogramma si può applicare un metodo grafico.



L'attività sismica

Il rapporto magnitudo-effetti del terremoto dipende da molti fattori come il numero di edifici, la densità abitativa e il tipo di costruzioni.

Magnitudo	Effetti
<3,5	Generalmente non percepito dalla popolazione ma registrato dai sismografi.
3,5-5,4	Spesso percepito dalla popolazione ma raramente causa danni.
5,5-6,00	Leggeri danni solo alle costruzioni antisismiche; danni significativi a edifici mal costruiti e/o vecchi, generalmente in aree ristrette.
6,1-6,9	Possono essere distruttivi in aree fino a 100 km ² di estensione.
7,0-7,9	«Terremoti maggiori»; possono causare danni enormi su vaste aree.
>8	«Grandi terremoti»; possono causare seri danni in aree ampie anche migliaia di km ² .

L'attività sismica

Al valore di M si può affiancare il valore della sua intensità espressa dalla **scala MCS** (Mercalli-Cancani-Sieberg).

La scala si basa su dati dedotti dall'osservazione degli effetti di un sisma e dipende dalla tipologia e dalle condizioni degli edifici delle zone colpite, dalla densità di popolazione, dalla natura del terreno, ecc.

Non è utilizzabile nei luoghi disabitati, ma fornisce un'idea immediata delle conseguenze del sisma nelle aree urbanizzate.

L'attività sismica

Le onde S e P, partono dall'ipocentro di un sisma e si propagano in tutte le direzioni.

In funzione dei tipi di roccia che incontrano varia la loro velocità, possono essere rifratte, riflesse o assumere traiettorie curve.

Se incontrano materiali in grado di assorbirle, interrompono il loro percorso (per esempio le onde S non si propagano nei fluidi, quindi sono interrotte da una massa liquida come il nucleo terrestre).

L'attività sismica

Se non incontrano materiali in grado di assorbirle completamente, le onde sismiche emergono in superficie.

Le onde sismiche originate in un certo epicentro possono quindi essere rilevate su gran parte della superficie terrestre.

L'esame dei sismogrammi di un certo terremoto rilevati su tutto il pianeta permette di ricostruire l'intero percorso delle onde sismiche nelle diverse varietà di rocce attraversate e di tracciare un modello interno della Terra.