

## SCENEGGIATURA

### I terremoti

#### Premessa

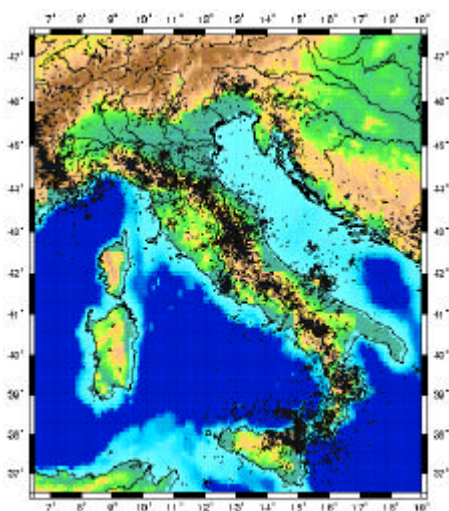
Questa attività è dedicata allo studio della natura e genesi dei terremoti.

I terremoti costituiscono una delle manifestazioni più imponenti della dinamica cui è soggetta la crosta terrestre.

Quando i mezzi di informazione ci riferiscono che un violento terremoto ha colpito qualche luogo della Terra provocando vittime e danni, è inevitabile essere colti da un senso di sgomento. Al di là dei loro effetti catastrofici, i terremoti sono fenomeni che rientrano nei naturali cicli di evoluzione della superficie terrestre.

Il territorio italiano, per la struttura morfologica e per l'età relativamente recente, è caratterizzato da una certa sismicità.

La memoria dei terremoti avvenuti negli ultimi duemila anni, registrata nei cataloghi della sismicità, ha permesso di disegnare una mappa della pericolosità sismica del territorio italiano. I valori massimi della pericolosità si riscontrano lungo la dorsale appenninica meridionale, dove i terremoti possono raggiungere magnitudo uguali a sette. L'attività sismica non è così elevata come in altre regioni della Terra, ma gli episodi sismici sono frequenti e diffusi su quasi tutto il territorio nazionale.



Terremoti crostali verificatesi in Italia a partire dal 1975

#### Quando svolgere questo percorso

Il percorso didattico è rivolto ai ragazzi delle scuole medie superiori e rappresenta un utile supporto per la comprensione della dinamica terrestre, in particolare all'interno di un percorso complessivo di approfondimento sul tema del rischio sismico.

Il percorso è strutturato in modo da far comprendere la genesi dei terremoti e la propagazione delle onde sismiche con cinque attività:

1. Meccanica della frattura e genesi delle onde sismiche
2. Le faglie: un modello di tre faglie
3. Dimostrazione di onde P e S con la slinky

4. Studio della propagazione delle onde con l'uso delle slinky
5. Come localizzare l'epicentro di un terremoto

### **Preliminari**

Prima di svolgere il percorso didattico "I terremoti", si consiglia di impostare con i ragazzi, una discussione preliminare per saggiare le conoscenze sull'argomento terremoto e propagazione delle onde sismiche. In questa prima fase gli studenti esplicitano le proprie idee, si confrontano e sarà cura dell'operatore annotare i diversi punti di vista, evitando di commentarli.

### **Propedeuticità**

Il percorso didattico richiede che siano noti alcuni concetti fondamentali che sono di seguito schematizzati:

- Il terremoto è un fenomeno naturale che si manifesta con un rapido scuotimento della superficie della Terra.
- A causarlo è la rottura delle rocce in profondità che liberano in questo modo l'energia accumulata in seguito ai movimenti ai quali è continuamente sottoposta la crosta terrestre.
- Durante un terremoto, parte dell'energia si libera sotto forma d'onde sismiche che sono la causa diretta degli scuotimenti che avvengono in superficie.
- Le onde si propagano a partire dall'ipocentro, sulla cui verticale in superficie si trova l'epicentro.
- A causa delle proprietà elastiche delle rocce terrestri, quattro tipi d'onde sismiche si propagano all'interno della Terra. Le onde di *Longitudinali* (P) e le onde di *Trasversali* (S) viaggiano attraverso la Terra e sono note come *onde di volume*; *Love* e *Rayleigh* sono invece onde che si propagano vicino alla superficie terrestre e sono note come *onde superficiali*.
- Polarizzazione delle onde.

### **Fasi dell'attività**

Dopo la discussione preliminare si arriva alla definizione di terremoto svolgendo l'attività didattica: "Meccanica della frattura e genesi delle onde sismiche"

### ATTIVITA' DIDATTICA

#### **"Meccanica della frattura e genesi delle onde sismiche"**

#### **Obiettivi e finalità**

Lo scopo dell'esperienza è di far comprendere i seguenti concetti:

- Le onde sismiche sono onde elastiche, pertanto si generano all'interno di un mezzo perturbato.
- Una sorgente di energia crea il disturbo iniziale che si propaga in tutte le direzioni all'interno del mezzo senza propagazione di materia.
- La perturbazione del mezzo è costituita da piccole oscillazioni delle singole particelle intorno alla propria posizione di equilibrio.
- Le onde generate dalla sorgente si attenuano in ampiezza man mano che aumenta la distanza percorsa.

## Propedeuticità

Cenni di teoria della Tettonica delle Placche

(<http://www.ingv.it/~roma/cultura/ingescuola/terremotopagina/tettonica.html>) e di struttura dell'interno della Terra

Capacità di costruire e leggere un grafico cartesiano.

## Materiale necessario

Lame d'acciaio o bacchette di legno

Fogli di carta e penne per appunti

## Fasi dell'attività

Dividere i ragazzi in diversi gruppi. Distribuire a ciascun gruppo una lama d'acciaio o una bacchetta di legno.

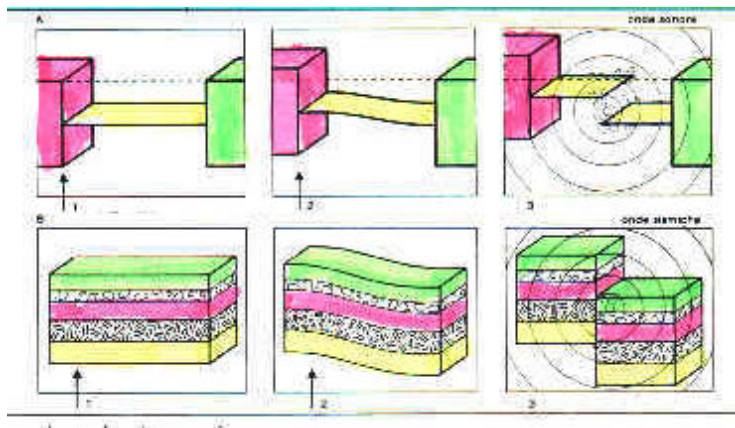
Un ragazzo provvederà a piegare lentamente la lama mentre gli altri componenti del gruppo, disponendosi a distanze crescenti dal ragazzo con la lama, osserveranno ciò che accade.

La lama o la bacchetta si deforma lentamente ed accumula energia. tanto più quanto viene forzata ad allontanarsi dalla sua posizione di equilibrio. Se la deformazione raggiunge un certo limite, la lama si rompe in due parti, che si raddrizzano portandosi in una nuova posizione di equilibrio. Prima di fermarsi liberano l'energia accumulata, dissipandola in un breve e violento moto oscillatorio delle lamine che produce onde sonore che si propagano nell'aria. Fino ad una certa distanza si ode un suono, che comincia di colpo e si smorza rapidamente.

In un grande gruppo si discute e si analizza l'esperienza appena terminata cercando di capire perché si generano onde sonore e perché si attenuano lentamente. Inoltre il ragazzo con la lama o con la bacchetta, avrà certamente avvertito la propagazione della vibrazione su di sé.

Ricordando la definizione di terremoto immaginiamo ora di applicare una forza di intensità crescente su di una massa di roccia.

In figura è rappresentata l'esperienza. In particolare in alto è lentamente piegata una lama d'acciaio, mentre in basso una forza preme su di una massa di roccia che lentamente comincia a deformarsi.



La roccia possiede una certa elasticità e non si piega facilmente come la lama d'acciaio, ma le forze applicate sulla roccia sono di grande intensità e insistono per secoli o per millenni. In queste condizioni anche gli strati di roccia possono incurvarsi accumulando energia. Oltre un certo limite la roccia si frattura in due blocchi, la zona deformata si assesta in una nuova posizione di equilibrio e l'energia accumulata si libera in una vibrazione. La rottura oltre a creare uno spostamento dei due lembi di roccia, origina un moto oscillatorio delle particelle (**onde sismiche**) che si propaga alle rocce adiacenti.

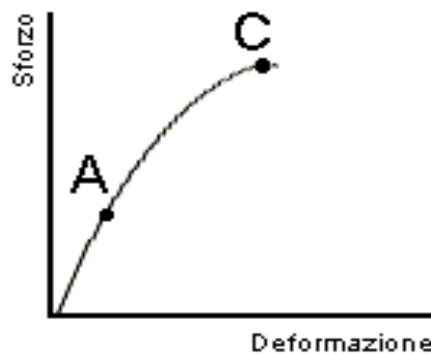
A questo punto è possibile definire il terremoto:

***Il terremoto è uno scuotimento improvviso della superficie terrestre dovuto al passaggio di onde elastiche emesse dalla fratturazione di rocce nella crosta o nel mantello superiore della Terra.***

Con la definizione di terremoto si è introdotto il concetto di frattura che qualitativamente può essere spiegato con l'ausilio di un grafico sforzo-deformazione.

La fratturazione è una conseguenza del comportamento rigido di un corpo roccioso sottoposto a sforzo, in contrasto con il comportamento plastico che consente di assorbire lentamente le tensioni.

In un grafico sforzo-deformazione si può vedere che per pressioni non elevate, le rocce sottoposte a sforzi hanno un comportamento fragile.

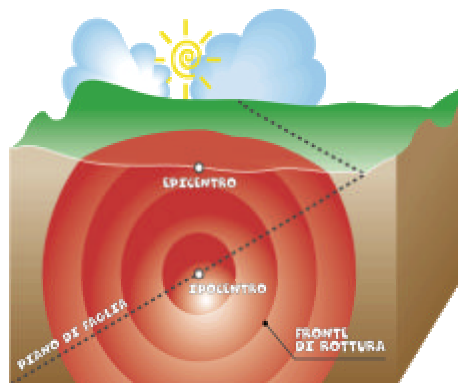


La roccia si deforma elasticamente fino ad un valore A dello sforzo applicato, al di sopra del quale la relazione non è più lineare. Quando lo sforzo raggiunge il valore C (punto di rottura) la roccia si rompe, liberando tutta l'energia accumulata fino a quel momento.

La rottura delle rocce terrestri è accompagnata dalla liberazione dell'energia immagazzinata in seguito ai lenti movimenti ai quali è continuamente sottoposta la crosta terrestre.

Di tutta l'energia emessa con un terremoto, solo una piccola parte si libera sotto forma di onde sismiche che sono la causa diretta degli scuotimenti che avvengono in superficie.

Le onde si propagano a partire dalla zona di rottura, che approssimata ad un punto, viene detta **ipocentro** sulla cui verticale in superficie si trova l'**epicentro**. Generalmente le rocce si fratturano in blocchi che scivolano l'uno rispetto all'altro. È così che si formano le **faglie**, fratture più o meno profonde, in corrispondenza delle quali si verifica un movimento relativo dei due blocchi di roccia.



## Le faglie

Il meccanismo più probabile di generazione della maggior parte dell'attività sismica connessa con il movimento delle zolle tettoniche, è quello che implica lo spostamento relativo di due blocchi rispetto alla superficie di separazione. Questa superficie (generalmente piana) è detta **faglia**.

La funzione **dislocazione** è una funzione che descrive in ogni punto della faglia e per ogni istante di tempo  $t$ , il valore e la direzione dello spostamento relativo tra i punti sulle superfici di cui è composta la faglia.

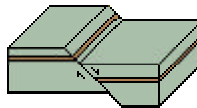
Da un punto di vista geometrico un piano di faglia, che è caratterizzato da una direzione, un'immersione ed un'inclinazione, separa due blocchi chiamati tetto e letto, in funzione della loro posizione rispetto al piano di faglia.

Si definisce rigetto lo spostamento che i due blocchi subiscono lungo il piano di faglia.

In funzione del tipo di spostamento che avviene lungo la discontinuità, le faglie si dividono in **faglie dirette**, **faglie inverse** e **faglie trascorrenti**.

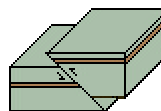
### Faglie dirette:

Se il movimento avviene perpendicolarmente alla direzione della superficie di separazione con uno spostamento verso il basso del tetto rispetto al letto.



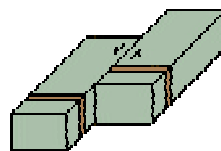
### Faglie inverse:

Se il movimento avviene perpendicolarmente alla direzione della superficie di separazione con uno spostamento verso l'alto del tetto rispetto al letto.



### Faglie trascorrenti:

Se il movimento avviene lungo la direzione del piano di faglia; in particolare si distinguono faglie trascorrenti destre e sinistre secondo che ad un osservatore che staziona su di un blocco, l'altro apparirà essere stato spostato rispettivamente verso la sua destra o sinistra.



In natura molto spesso le faglie hanno movimenti intermedi tra quello delle faglie normali e/o inverse e quello delle faglie trascorrenti.

Il termine di **faglia trasforme** si applica al caso in cui lo scorrimento orizzontale delimita due margini di zolle; le faglie trasforme sono generalmente situate trasversalmente alle dorsali medio-

oceaniche, e ne interrompono la continuità conferendo loro un tipico andamento a spezzata. Queste strutture perciò sono legate alla **tettonica a zolle** e rappresentano zone d'intensa sismicità.

Le faglie trascorrenti e le faglie trasformi hanno in comune solamente il movimento tangenziale (orizzontale), ma ne differiscono, oltre ai caratteri geodinamici, da altri aspetti meccanici e geologici.

Nelle faglie trasformi e trascorrenti lo spostamento avviene in orizzontale lungo un piano che è quasi verticale, mentre nelle faglie dirette e inverse lo spostamento (che in geologia si chiama rigetto) è verticale e avviene lungo un piano inclinato. Le faglie dirette sono tipiche di zone di distensione e d'espansione come, per esempio, le dorsali oceaniche e il movimento è tale che il blocco fagliato occupa uno spazio maggiore rispetto a quello originale.

Le faglie inverse, invece, sono caratteristiche di zone in compressione, come le zone di subduzione, e hanno un movimento che porta il blocco fagliato ad occupare uno spazio più ristretto rispetto all'originale.

Le faglie, almeno le più grandi, sono spesso sede di terremoti, ciascuno dei quali comporta lo spostamento di un blocco di crosta rispetto a quello adiacente lungo un piano di faglia. Nel Mediterraneo, per esempio, dove si trovano molte faglie trascorrenti, sono sede di terremoti quella Anatolica della Turchia settentrionale e quella che interessa il promontorio del Gargano. Questa appare come una valle piuttosto aperta nella quale passa una strada e si trovano molti campi coltivati e cave di pietrisco dove è possibile osservare direttamente il piano della faglia.

Per visualizzare il movimento relativo di due blocchi rispetto ad una superficie di separazione viene proposta l'attività didattica: "Le faglie: un modello di tre faglie".

## ATTIVITA' DIDATTICA:

### **"Le faglie: un modello di tre faglie"**

#### **Obiettivi e finalità**

Gli studenti studieranno i movimenti relativi di due placche costruendo i tre tipi di faglie.

#### **Propedeuticità**

Il terremoto è un fenomeno naturale che si manifesta con un rapido scuotimento della superficie della Terra

- A causarlo è la rottura delle rocce in profondità che liberano in questo modo l'energia accumulata in seguito ai movimenti ai quali è continuamente sottoposta la crosta terrestre.
- La dinamica che caratterizza il nostro pianeta nella sua globalità è stata formalizzata da una teoria che si è affermata agli inizi degli anni sessanta: "*La tettonica delle placche*" (<http://www.ingv.it/~roma/cultura/ingescuola/terremotopagina/tettonica.html>). Secondo questa teoria la parte più esterna della Terra, la litosfera, è suddivisa in placche che si muovono le une rispetto alle altre.
- Durante un terremoto, parte dell'energia si libera sotto forma d'onde sismiche che sono la causa diretta degli scuotimenti che avvengono in superficie.
- Le rocce possono fratturarsi in blocchi che scivolano l'uno rispetto all'altro. È così che si formano le **faglie** (<http://www.ingv.it/~roma/cultura/ingescuola/terremotopagina/faglie.html>), fratture più o meno profonde, in corrispondenza delle quali si verifica un movimento relativo dei due blocchi di roccia.

**Materiale necessario:**

Carta tettonica del Mondo

Matite colorate

Forbici

Colla

Metro

Taglierino

**Modello di faglia****Fasi dell'attività**

Dividere gli studenti in piccoli gruppi

Esposizione dei modelli di faglia in classe al termine dell'attività

**Fase preliminare**

Introdurre l'attività verificando le conoscenze sull'argomento possedute dagli studenti con le seguenti domande

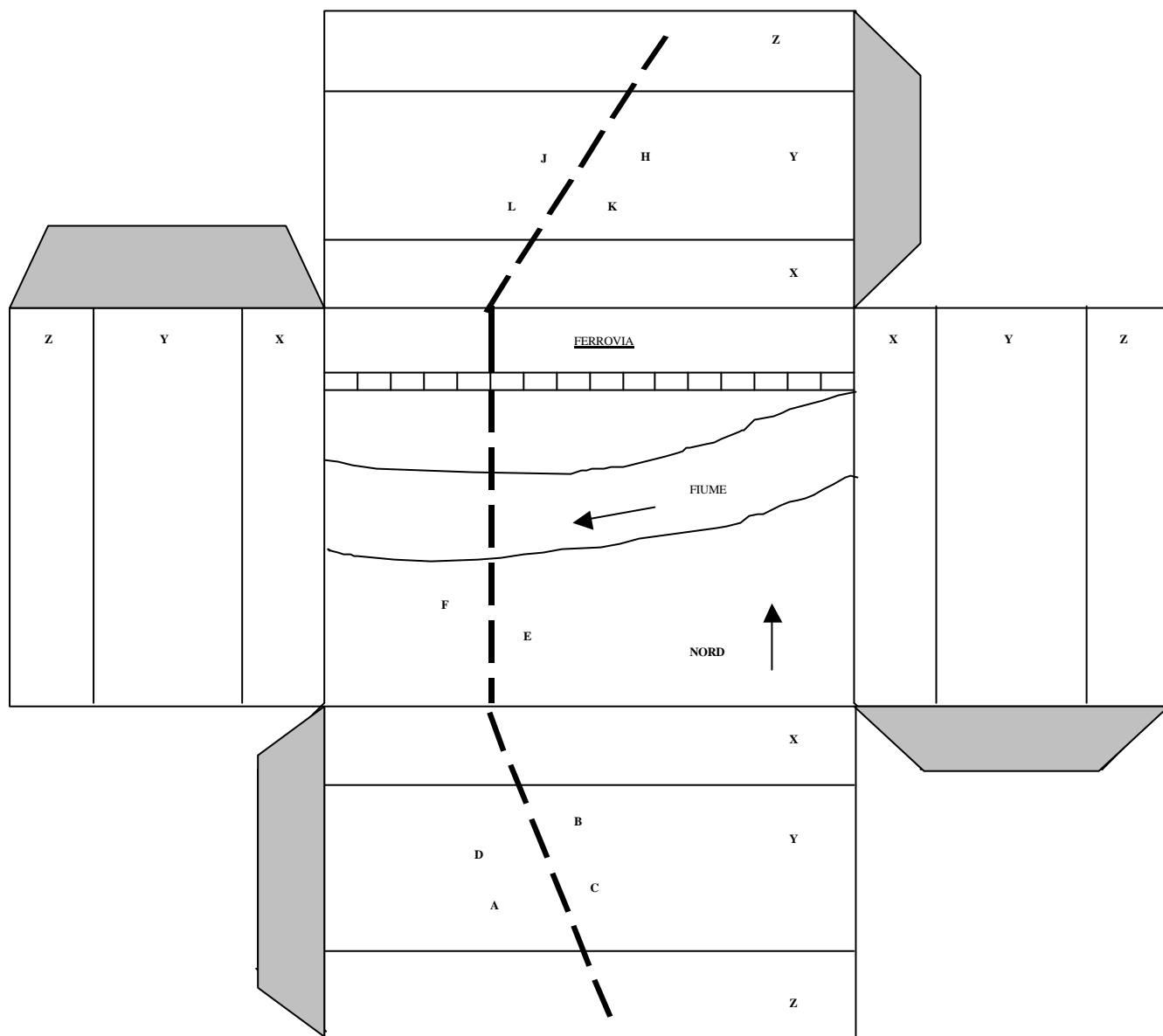
1. Che cosa è una faglia?
2. Conosci il nome di qualche famosa faglia?
3. Cosa succede quando una grande frattura si sviluppa sulla superficie terrestre ed un blocco si muove rispetto ad un altro?

Gli studenti procedono alla costruzione di un modello di faglia utilizzando il **Modello di faglia** precedentemente preparato con un cartoncino.

Le fasi necessarie per la costruzione del modello di faglia sono schematizzate di seguito :

1. Colorare il Modello di Faglia seguendo lo schema della legenda
2. Tagliare il Modello di Faglia
3. Piegare ed incollare in modo da creare un cubo con la linea tratteggiata al top
4. Il cubo è un modello tridimensionale degli strati superiori della crosta terrestre
5. La linea tratteggiata nel modello rappresenta la faglia. Tagliare con attenzione il cubo lungo la linea tratteggiata. Alla fine il cubo sarà stato diviso in due parti che rappresentano i due blocchi di faglia.

## Modello di faglia



### **LEGENDA**

- Strato X = verde
- Strato Y = giallo
- Strato Z = rosso
- Fiume = azzurro
- Ferrovia = marrone



### Fase 1

Gli studenti procedono allo sviluppo di una *faglia diretta*

Istruzioni agli studenti:

Individuare il punto A e il punto B sul proprio modello.

Muovi il punto B così che sia vicino al punto A.

Osserva il tuo modello: hai costruito una faglia normale.

Questioni:

1. Cosa succede agli strati di roccia X, Y e Z quando il punto B si muove rispetto al punto A?
2. Sono ancora continui gli strati di roccia?
3. Cosa succede al fiume e alla ferrovia?

Questo tipo di faglia è causata da una tensione, da una compressione o da uno sforzo di taglio?

Spiegare che questo tipo di faglia è noto come **faglia normale** e descriverne il meccanismo di formazione.

### Fase 2

Gli studenti procedono allo sviluppo di una *faglia inversa*

Istruzioni agli studenti:

Individuare il punto C e il punto D sul proprio modello.

Muovi il punto C così che sia vicino al punto D.

Osserva il tuo modello: hai costruito una faglia inversa.

Questioni:

1. Cosa succede agli strati di roccia X, Y e Z quando il punto C si muove rispetto al punto D?
2. Sono ancora continui gli strati di roccia?
3. Cosa succede al fiume e alla ferrovia?

Questo tipo di faglia è causata da una tensione, da una compressione o da uno sforzo di taglio?

Spiegare che questo tipo di faglia è noto come **faglia inversa** e descriverne il meccanismo di formazione.

### Fase 3

Gli studenti procedono allo sviluppo di una *faglia trascorrente*

Istruzioni agli studenti:

Individuare il punto F e il punto G sul proprio modello.

Muovi i blocchi del modello così che il punto F sia vicino al punto G

Osserva il tuo modello: hai costruito una faglia trascorrente

Questioni:

1. Supponi di trovarti sul punto F e di guardare l'altro lato della faglia, in che direzione è avvenuto il movimento del blocco opposto?
2. Cosa succede agli strati di roccia X, Y e Z?
3. Sono ancora continui gli strati di roccia?
4. Cosa succede al fiume e alla ferrovia?
5. Se la scala usata per costruire il modello è 1mm=2m, valuta, in metri, lo spostamento orizzontale del punto F rispetto al punto G.
6. Questo tipo di faglia è causata da una tensione, da una compressione o da uno sforzo di taglio?

Spiegare che questo tipo di faglia è noto come **faglia trascorrente** e descriverne il meccanismo di formazione.

Per questo tipo di faglia è possibile definire la direzione del movimento. Infatti se immaginiamo di trovarci su di un blocco, la direzione del movimento del blocco opposto definisce se il movimento è laterale sinistro o laterale destro.

Spiegare che in natura esistono anche altre faglie caratterizzate da movimento orizzontale le cosiddette **faglie trasformi**.

### Fase esplicativa dell'attività

Sviluppare i seguenti punti:

Le faglie si trovano spesso (ma non sempre) vicino ai bordi delle placche e ogni tipo di faglia è frequentemente associata con uno specifico tipo di movimento delle placche.

- Le faglie normali sono spesso associate con i margini divergenti (sforzi di tensione)
- Le faglie inverse sono spesso associate con i margini convergenti (sforzi di compressione)
- Le faglie trasformi sono spesso associate con i margini trasformati (scorrimento orizzontale)

Questioni:

1. Quale tipo di faglie ti aspetti di trovare lungo la catena Himalayana? Perché
2. Quale tipo di faglie ti aspetti di trovare lungo la dorsale Medio-Atlantica? Perché
3. Che tipo di faglia è la faglia di San Andreas?

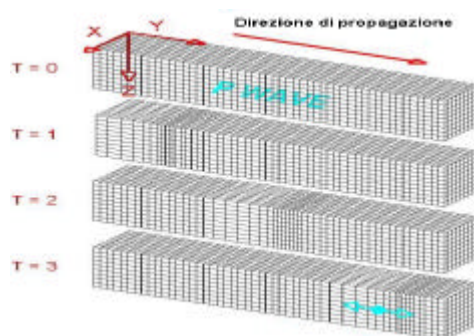
### Onde sismiche

Il terremoto, generandosi all'interno della Terra, quindi in mezzi elastici, produce *onde meccaniche*. Tali onde sono generate dall'oscillazione di una porzione del mezzo intorno alla sua posizione di equilibrio, si trasmettono da uno strato al successivo e quindi all'intero mezzo. La trasmissione delle onde meccaniche, pertanto, avviene solo se c'è materia.

Queste onde possono essere individuate da strumenti chiamati sismometri, che captano, amplificano e registrano il movimento del terreno su cui sono collocati. La velocità con la quale le onde elastiche viaggiano dipende dalla densità e dai moduli elastici delle rocce che attraversano. Ci sono due tipi di onde elastiche: le onde di volume e le onde superficiali.

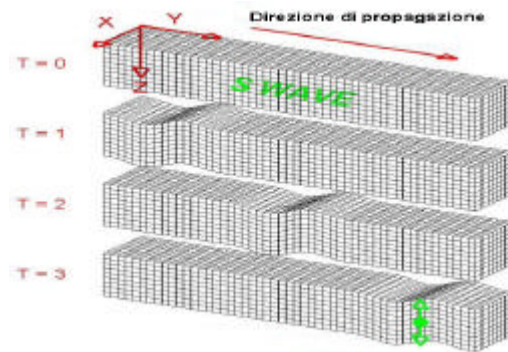
Le **onde di volume**, onde che viaggiano all'interno della Terra, sono di due tipi: le onde **P** e le onde **S**.

Le onde P, onde longitudinali sono le più veloci. Esse si propagano come le onde sonore nell'aria e fanno oscillare le particelle di roccia con un movimento che avviene nella stessa direzione di propagazione dell'onda. In sostanza, al loro passaggio, le rocce si comprimono e si dilatano continuamente per successive compressioni e dilatazioni del mezzo. Questo tipo di movimento implica variazioni di volume.



Le onde S viaggiano più lentamente delle onde P. Sono onde trasversali, ovvero di torsione, capaci di imprimere nelle particelle vibrazioni in direzione ortogonale alla direzione di propagazione dell'onda.

Le onde trasversali sono fortemente attenuate nei mezzi poco rigidi, fino a scomparire totalmente nei fluidi. Inoltre producono variazioni di forma senza cambiamenti di volume.

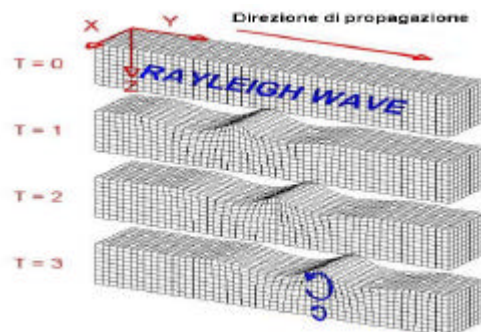


Essendo l'onda S un'onda trasversale, il moto è risolto in due componenti, una parallela e l'altra perpendicolare alla superficie terrestre, note come moti SH e SV rispettivamente.

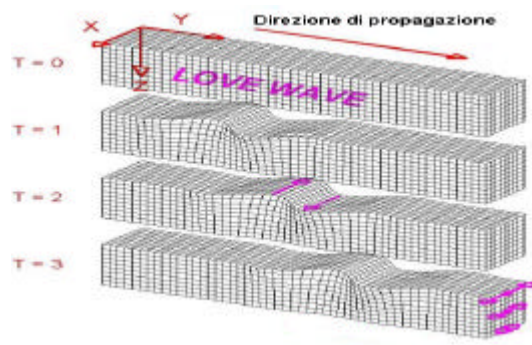
In un mezzo omogeneo e infinito, all'ipocentro sono prodotte contemporaneamente solo onde P e S. Se il mezzo è finito e non omogeneo, in tutte le direzioni possono generarsi altri tipi di onde dette **onde superficiali** perché confinate ai bordi. Tali onde vengono solitamente distinte in onde di **Love** e onde di **Rayleigh**.

Le onde di Rayleigh si generano per l'interazione di onde P e SV (onde S polarizzate in un piano verticale) lungo superfici di discontinuità tra due mezzi con caratteristiche elastiche differenti o in corrispondenza della superficie libera del mezzo. Il punto materiale investito dall'onda, descrive un'ellisse contenuta nel piano verticale come risultante di due movimenti uno verticale ed uno orizzontale nella direzione di propagazione dell'onda.

La velocità dell'onda di Rayleigh dipende dalle costanti elastiche del mezzo vicino alla superficie terrestre ed è sempre minore della velocità delle onde S



Le onde di Love si generano lungo una superficie di discontinuità quando la velocità delle onde S nello strato inferiore, è maggiore di quella dello strato superiore. La particella vibra in due direzioni ortogonali tra loro contenute in un piano orizzontale.



Con l'attività didattica che segue, soffermeremo l'attenzione sulle onde P e sulle onde S. Le onde P e S, si originano contemporaneamente alla sorgente del terremoto, ma a causa della diversa velocità alle stazioni di registrazione in superficie arrivano prima le onde P e poi le S. Con l'utilizzo della slinky è possibile simulare singolarmente il moto, visualizzare il differente meccanismo di propagazione e la diversa velocità di viaggio

## ATTIVITA' DIDATTICA

### **Dimostrazione di onde P e S con la slinky**

#### **Obiettivi e finalità**

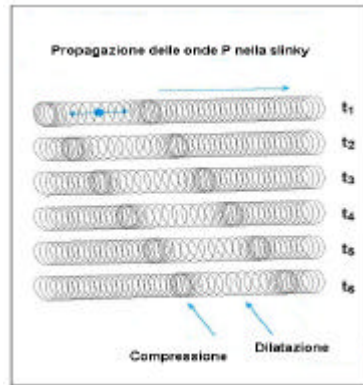
Con delle particolari molle in metallo o in plastica denominate slinky è possibile visualizzare sperimentalmente la propagazione di un'onda P e di un'onda S. Si tratta di molle poco elastiche utilizzate in didattica e facilmente reperibili. Poiché queste molle hanno una massa lineare abbastanza grande ed una piccola costante elastica, lungo di esse la propagazione degli impulsi è relativamente lenta e può essere quindi osservata agevolmente.

#### **Materiale**

Slinky  
Rollina metrica  
Cronometri

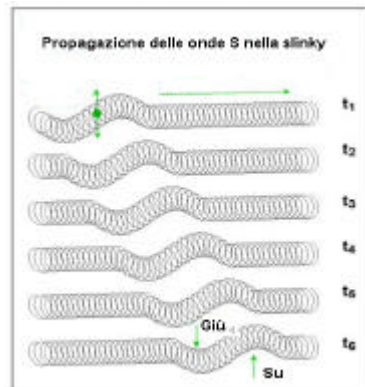
#### **ESERCIZIO n°1: Generazione di un'onda P nella slinky**

Con un estremo della molla fisso, è possibile generare un'onda longitudinale (onda P) comprimendo alcune spire dell'estremo libero, che vengono poi rilasciate istantaneamente. Il disturbo creato si trasmette lungo la slinky per successive compressioni e dilatazione delle spire con movimento parallelo alla direzione di propagazione.



### ESERCIZIO n°2: Generazione di un'onda S nella slinky

Con un estremo della molla fisso, l'operatore genera un'onda trasversale (onda S) spostando verso l'alto o verso il basso oppure lateralmente una spira dell'altro estremo. Ciò genera uno spostamento delle spire perpendicolare alla direzione di propagazione del moto. Poiché il materiale è elastico e le spire sono connesse, come le singole particelle di un solido, il movimento di ciascuna spira si trasmetterà alla adiacente ed il disturbo si propagherà dalla sorgente all'ultima spira della slinky.



E' possibile visualizzare la propagazione nello spazio e nel tempo di un'onda P e di un'onda S grazie all'ausilio di due applicativi:

<http://eduseis.na.infn.it/didattica/didadt4/mollap.html>

<http://eduseis.na.infn.it/didattica/didadt4/mollas.html>

### ESERCIZIO n°3: Determinazione della velocità di propagazione di un'onda P e S nella slinky

La velocità di propagazione di un'onda lungo la slinky può essere determinata facilmente utilizzando la nota relazione  $V = S/T$ , dove S è lo spazio percorso e T è il tempo impiegato per percorrerlo.

Nel caso di un'onda lungo una molla la velocità sarà data dal rapporto tra la lunghezza L della slinky diviso il tempo di viaggio T dell'onda.

Sia la molla fissata ad un estremo, libera all'altro e sia prodotta un'onda longitudinale unidimensionale costituita da successive compressioni e rarefazioni della slinky.

Poiché la slinky ha un estremo fisso, quando la deformazione impressa lungo la molla arriva all'estremo opposto, avremo la riflessione ed il capovolgimento della deformazione. Per semplicità supponiamo che il vincolo della molla sia rigido, ovvero di densità tanto maggiore da esercitare a sua volta sulla molla una forza di reazione diretta verso il basso che genera un impulso simile a quello incidente, ma di direzione e polarità opposta.

A causa della lunghezza limitata della molla, l'onda viene subito riflessa e quindi per avere a che fare con tempi abbastanza lunghi, si consiglia di misurare il tempo che l'impulso impiega a compiere un certo numero di riflessioni.

Misuriamo quindi la lunghezza  $L$  della slinky e cronometriamo il tempo  $T$  che un impulso longitudinale impiega per effettuare per esempio, sette riflessioni. In questo caso l'impulso avrà percorso otto volte la lunghezza  $L$  della slinky, pertanto la velocità lineare sarà data da:

$$V_p = L / T/8$$

In maniera analoga calcoliamo la velocità di propagazione di un'onda trasversale nella slinky con lo stesso metodo e quindi applichiamo la stessa relazione:

$$V_s = L / T/8$$

Confrontare i valori di velocità ottenuti.

Per visualizzare la contemporanea generazione delle onde P e S alla sorgente sismica si propone l'attività:

“Studio della propagazione delle onde con l'uso delle slinky”

## ATTIVITA' DIDATTICA

### **Studio della propagazione delle onde con l'uso delle slinky**

#### **Obiettivi:**

Gli studenti visualizzeranno le differenze tra le onde P e le S con l'uso delle slinky. L'esperienza consiste nella generazione contemporanea di un impulso longitudinale e trasversale utilizzando un modello a cinque molle disposte in direzioni spaziate di  $45^\circ$  le une rispetto alle altre.

Con questo modello gli studenti sperimentano la contemporanea generazione delle onde P e S, le diverse velocità di viaggio e la differente polarizzazione al variare del meccanismo di sorgente.

#### **Propedeuticità**

Concetto di polarizzazione delle onde

#### **Definizione di polarizzazione**

Con le attività precedenti è stata introdotta la distinzione tra due tipi fondamentali di onde: onde longitudinali e onde trasversali.

Un'onda si definisce longitudinale se il moto delle particelle del mezzo ed il moto dell'onda si svolgono nella stessa direzione.

Un'onda si definisce trasversale se le vibrazioni del mezzo avvengono perpendicolarmente alla direzione di propagazione dell'onda.

Le onde trasversali possono essere polarizzate. Sono polarizzate linearmente quando la direzione in cui vibrano le particelle del mezzo e la direzione (perpendicolare) di propagazione dell'onda giacciono sempre nello stesso piano. Naturalmente esistono infinite direzioni di vibrazioni perpendicolari a quella di propagazione, ma affinché sia polarizzata l'onda deve essere tale che durante la sua propagazione il piano di polarizzazione non muti nel tempo o nei vari tratti di propagazione.

### Materiale necessario:

Modello delle cinque molle costituito da un blocco di legno e cinque molle (corpo rigido solidale con cinque molle) disposte a 45° le une rispetto alle altre.

Rollina metrica

Fogli di carta per appunti

### Fasi dell'attività

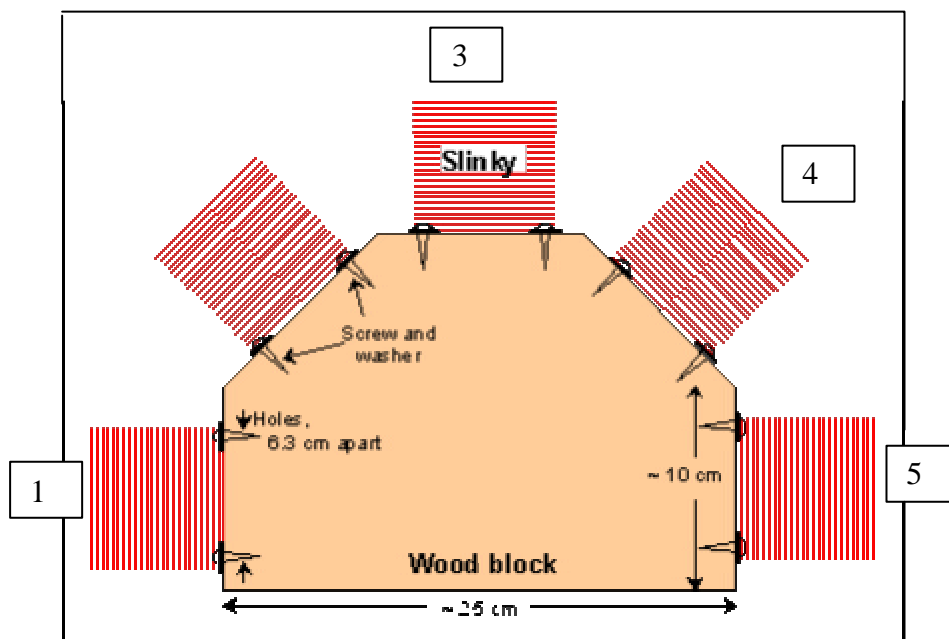
Dividere gli studenti in cinque gruppi

Ogni gruppo si dispone in corrispondenza di una molla

Un ragazzo per gruppo dovrà tendere la fine di ogni molla in modo che disti tre metri dal supporto rigido

L'operatore terrà il blocco di legno e provvederà alla generazione delle onde P e S

### Schema del modello costituito da cinque molle attaccate ai margini di un blocco di legno



### Sviluppo dell'attività

#### ▪ Fase 1

L'operatore muoverà in quattro modi diversi il blocco di legno, simulando quattro diversi meccanismi di sorgente sismica.

Per ciascun movimento ogni gruppo annoterà il tipo di onda o di onde che interessano la propria molla.

#### ▪ Fase 2

Schematizzazione degli impulsi rilevati alle cinque molle provocati dai movimenti del blocco di legno

## Schema riassuntivo

### ▪ **Movimento Up-Down del blocco di legno**

Si generano su tutte le molle onde trasversali con piano di polarizzazione verticale.

Si propagano con la stessa velocità in tutte le direzioni.

I tempi di propagazione sono gli stessi in tutte le direzioni

### ▪ **Movimento Destra-Sinistra del blocco di legno**

Si generano onde longitudinali sulla molla 1) e 5).

Si generano onde trasversali con piano di polarizzazione orizzontale sulla molla 3).

I tempi di propagazione sono gli stessi lungo le molle 1) e 5) e sono inferiori rispetto al tempo di propagazione lungo la molla 3).

Si generano contemporaneamente onde trasversali e longitudinali sulla molla 2) e sulla 4) che si propagano con velocità differenti. In questo caso l'energia è ripartita in due tipi di onde e le ampiezze sono inferiori rispetto alle ampiezze delle corrispondenti onde sulle molle 1), 5) e 3).

### ▪ **Movimento Avanti-Indietro del blocco di legno**

Si generano onde longitudinali sulla 3).

Si generano onde trasversali con piano di polarizzazione orizzontale sulla 1) e sulla molla 5).

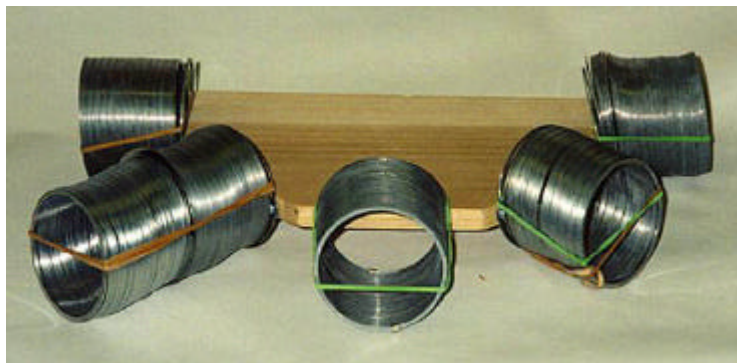
Si generano contemporaneamente onde trasversali e longitudinali sulla molla 2) e sulla 4) che si propagano con velocità differenti. Anche in questo caso l'energia è ripartita in due tipi di onde e le ampiezze sono inferiori rispetto alle ampiezze delle corrispondenti onde sulle molle 1), 5) e 3).

### ▪ **Movimento a 45° (molla 2)**

Si generano onde longitudinali lungo la molla 2).

Si generano onde trasversali lungo la molla 4) con piano di polarizzazione orizzontale.

Si generano contemporaneamente onde trasversali e longitudinali sulle rimanenti.



Modello delle 5 slinky



Con l'ultima attività del percorso didattico impareremo a localizzare un terremoto

## ATTIVITA' DIDATTICA

### Come localizzare l'epicentro di un terremoto?

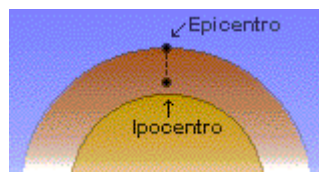
#### Obiettivi:

Imparare a localizzare un terremoto

#### Propedeuticità:

Definizione di ipocentro ed epicentro di un terremoto

Il terremoto si origina in un punto all'interno della Terra che prende il nome di **IPOCENTRO**, la proiezione dell'ipocentro sulla superficie della Terra, prende invece il nome di **EPICENTRO**.



L'ipocentro può essere localizzato, analizzando i sismogrammi che vengono registrati alle stazioni sismografiche.

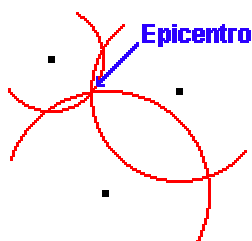
Per poter localizzare esattamente l'epicentro, occorrono i dati registrati in più stazioni sismografiche. Infatti con i sismogrammi, si possono calcolare le distanze epicentrali, ed i dati di una sola stazione, potranno definire solo una zona circolare lungo il cui perimetro si è generato l'evento sismico.



Occorrono almeno tre stazioni sismografiche per poter determinare le coordinate epicentrali.

In ogni stazione, verrà definito un perimetro circolare e l'intersezione dei tre cerchi ci darà un punto, coincidente con l'epicentro del terremoto. Le distanze dell'epicentro dalla stazione sismografica, vengono determinate in base alla misura dei tempi di arrivo delle onde P e S nelle differenti stazioni.

Quando si hanno a disposizione le registrazioni, ottenute in almeno tre stazioni, di un evento sismico che si è verificato nell'istante  $t_0$  (tempo origine), è possibile determinare le coordinate epicentrali del terremoto se sono note le velocità di propagazione ( $V_p$  e  $V_s$ ) delle onde sismiche e se si suppone isotropo (un mezzo si dice isotropo quando presenta le stesse caratteristiche chimico-fisiche in tutte le direzioni) il mezzo attraverso il quale esse si propagano.



Nella gran parte delle rocce cristalline, il rapporto fra le velocità delle onde P e delle S è pari a  $\sqrt{3}$  cioè  $V_p/V_s = 1,73$ . Alle onde P che viaggiano nella crosta terrestre, può essere attribuita una velocità media di circa 6,7 km/s e, di conseguenza, alle onde S una velocità di  $6,7/1,73 \text{ km/s} = 3,9 \text{ km/s}$ . L'intervallo di tempo  $t_p - t_0$  che le onde P impiegano per raggiungere dall'epicentro un determinato sito sulla superficie terrestre è dato dall'espressione:

$$t_p - t_0 = \mathbf{D} / V_p$$

dove  $t_0$  è l'istante di inizio del terremoto e  $\Delta$  è la distanza fra l'epicentro e il sito.

Analogamente l'intervallo di tempo  $t_s - t_0$  impiegato dalle onde S per compiere lo stesso percorso è dato da

$$t_s - t_0 = \mathbf{D} / V_s$$

Quindi avremo che

$$(t_s - t_0) - (t_p - t_0) = t_s - t_p = \mathbf{D} / V_s - \mathbf{D} / V_p = 0,73 \mathbf{D} / V_p$$

La distanza fra la stazione sismica e l'epicentro del terremoto può essere quindi determinata dall'intervallo di tempo  $t_s - t_p$  che intercorre fra l'arrivo alla stazione delle onde P e delle onde S per mezzo della formula:

$$\mathbf{D} = V_p (t_s - t_p) / 0,73 = 6,7(t_s - t_p) / 0,73$$

### **Materiale necessario:**

Tre tracce di sismogrammi registrati da tre stazioni differenti di uno stesso evento

Compasso

Carta topografica di riferimento

Matite

### **Istruzioni:**

L'attività di seguito descritta propone di effettuare con gli studenti la determinazione simulata dell'epicentro di un ipotetico terremoto.

Nell'esercitazione gli studenti vengono suddivisi in tre gruppi ognuno dei quali ha il compito di determinare la localizzare l'epicentro di un dato evento sismico.

A ciascuno dei gruppi di studenti va consegnata una copia della carta topografica di riferimento e i sismogrammi relativi alla propria stazione di registrazione. (A, B, C)

Ciascun gruppo può leggere direttamente sul sismogramma la differenza tra il tempo di arrivo della fase P ed S.

Supponendo di conoscere la velocità delle onde P ( $V_p=1,73V_s$ ) e delle onde S ( $V_s$ ), e ricavando dal diagramma la differenza dei tempi di arrivo delle onde P ed S ciascun gruppo, ricorrendo alla formula può quindi calcolare la distanza epicentrale relativa alla propria stazione.

$$\mathbf{D} = V_p (t_s - t_p) / 0,73$$

dove:

$t_s$  = tempo di arrivo delle onde S

$t_p$  = tempo di arrivo delle onde P

Tutti i gruppi si scambiano le informazioni relative alle rispettive distanze epicentrali in modo che ciascun gruppo possa poi autonomamente determinare sulla carta la posizione dell'epicentro

ricorrendo al metodo dei cerchi: in pratica con un compasso con apertura di volta in volta proporzionale alla distanza fra stazione ed epicentro, si tracciano sulla carta topografica dei cerchi facendo centro su ciascuna delle stazioni stesse. Disponendo dei valori delle distanze epicentrali di almeno tre stazioni, i relativi cerchi vanno ad intersecarsi in un unico punto (o per lo meno circoscrivono un'area comune molto ristretta) corrispondente all'epicentro del sisma (o per lo meno all'area epicentrale).

É possibile calcolare gli epicentri di terremoti realmente avvenuti collegandosi al sito:

<http://vcourseware5.calstatela.edu/VirtualEarthquake/VQuakeIntro.htm>

Con le attività proposte in questo sito, è possibile localizzare l'epicentro di un evento sismico, esaminando i sismogrammi registrati da tre differenti stazioni sismiche.

In ognuno dei tre sismogrammi si determina l'intervallo di tempo S-P in secondi. Tale intervallo è usato per determinare la distanza che le onde hanno percorso dall'ipocentro alla stazione di registrazione.

### **Bibliografia**

Lay – Wallace “Modern global Seismicity”, Academic Press,1995

Fowler “The solid Earth”, Cambridge University Press, 1990

A. Bosellini “La Tettonica a Placche, Italo Bovalente editore,1978

### **Nel Web**

[wwwneic.cr.usgs.gov/neis/bulletin.html](http://wwwneic.cr.usgs.gov/neis/bulletin.html)

[www.pidc.org/web-bin/bullcal.pl](http://www.pidc.org/web-bin/bullcal.pl)

<http://orfeus.knmi.nl/>

<http://seismo.ethz.ch/seismosurf/seismobig.html>

<http://lasker.princeton.edu/index.shtml>

<http://eduseis.na.infn.it>

<http://www.ac-nice.fr/svt/aster/index.htm>

<http://www.ingv.it>

<http://www.iesn.org/>

<http://www.matter.org.uk/schools/Content/Seismology/index.html>

<http://www.eas.purdure.edu/~braile/edumod/slinky/slinky.htm>