

## ***Cosa sono i Terremoti?***

**I terremoti, con i vulcani, sono manifestazioni della vitalità della Terra e consistono in vibrazioni di varia entità della crosta terrestre, causate da un'inaspettata liberazione di energia in un punto più o meno profondo della crosta terrestre.**

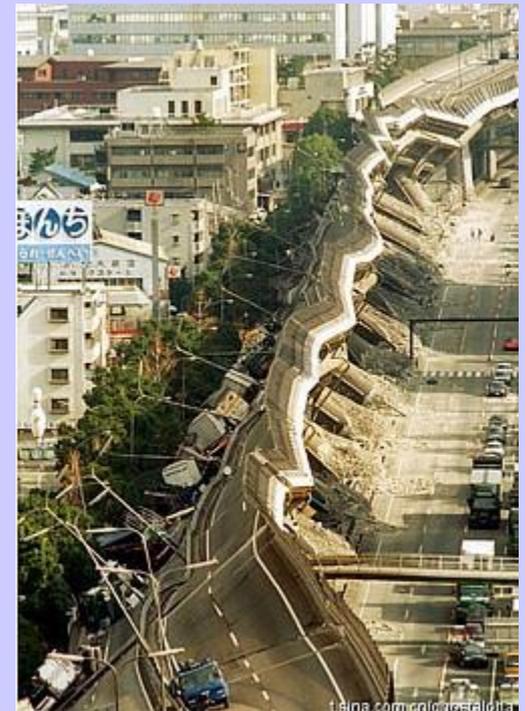


**L'Aquila (2009)**

**Da qui si diffondono, in tutte le direzioni, una serie di onde elastiche, dette "onde sismiche".**

**Ciò è dovuto al fatto che la superficie terrestre, anche se non ce ne accorgiamo, è costantemente in movimento; i terremoti si verificano quando lo stato tensionale conseguente oltrepassa la capacità del materiale di sopportarla.**

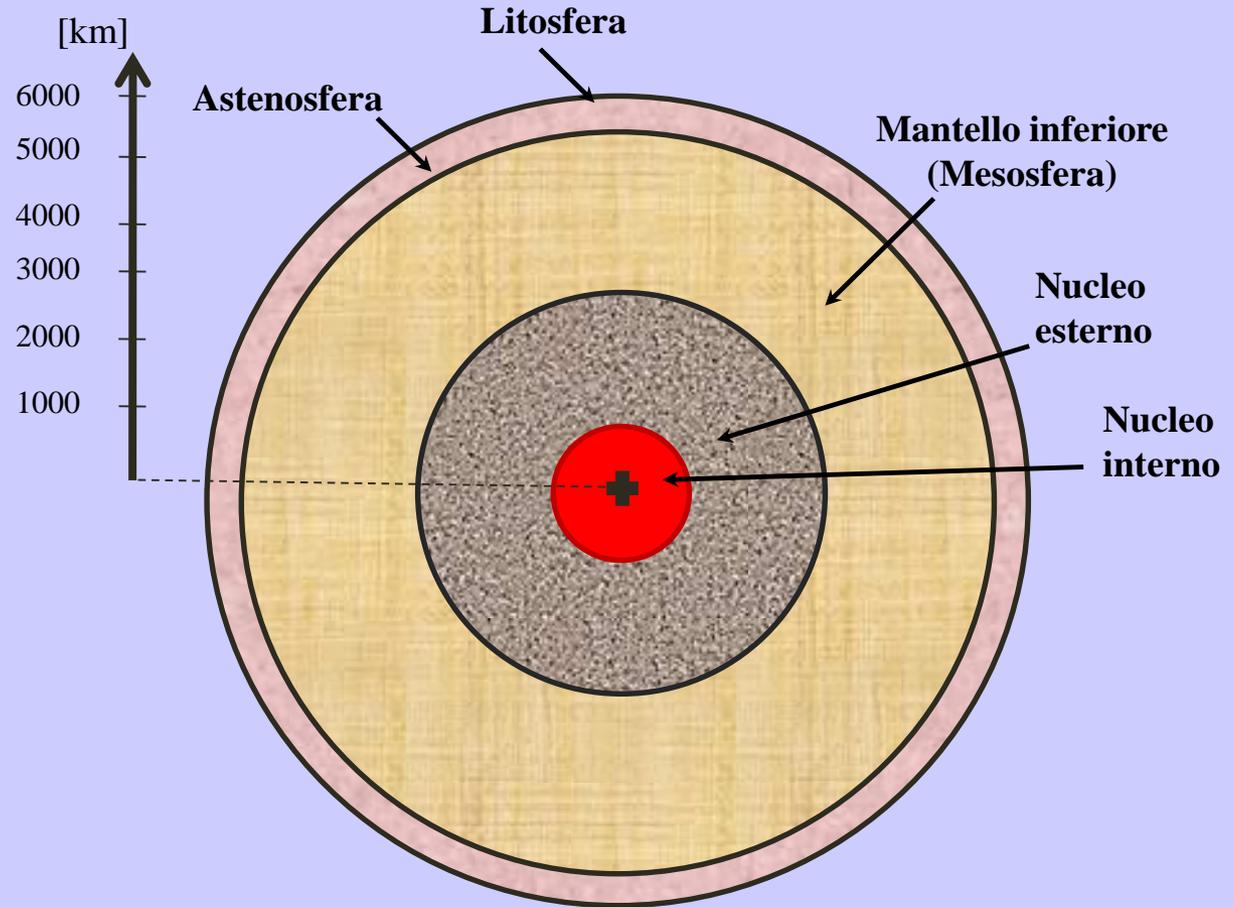
**I terremoti hanno frequenza giornaliera sul pianeta, ma molti di essi sono brevi e quasi impercettibili. Nel caso di terremoti più forti, la durata può essere di alcuni minuti e l'intensità varia a seconda della distanza dal punto in cui si genera.**



**Giappone (2011)**

# Origine dei terremoti

La tesi più accreditata riguardo alla generazione dei terremoti deve essere ricondotta alla teoria della “tettonica a zolle”, ovvero a quella della deriva dei continenti.

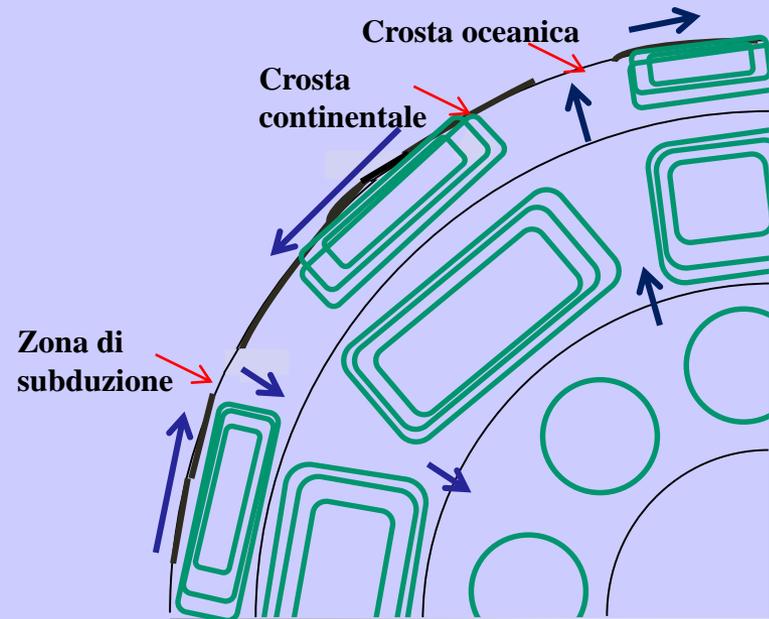


E' noto come una sezione della terra passante per il suo centro presenti le seguenti stratificazioni: 1. Litosfera (Crosta terrestre + Mantello litosferico); 2. Astenosfera; 3. Mantello inferiore (Mesosfera); 4. Nucleo esterno; 5. Nucleo interno.

**Di questi elementi gli unici solidi, capaci di trasmettere azioni di taglio, sono:**

**la *Litosfera* ed il *Nucleo interno*.**

**Tutto il resto può essere assimilato ad un liquido iperviscoso con temperature elevatissime.**

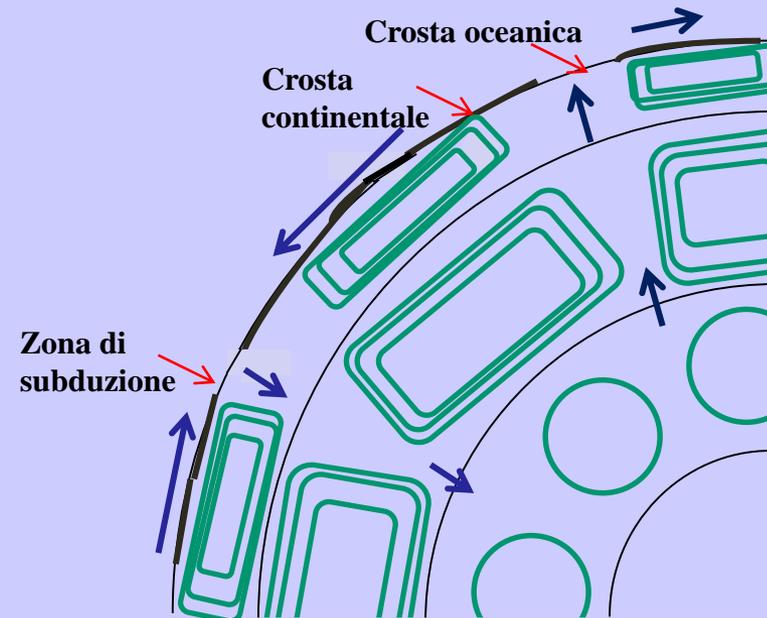


**La zona più calda è naturalmente quella del *Nucleo*.**

**Il calore viene trasmesso verso l'esterno secondo un funzionamento assimilabile a quello di una pentola d'acqua bollente: dal fondo, parte più calda, il liquido riscaldandosi si dilata e di conseguenza sale. Arrivato in superficie, si trova a contatto con un mezzo più freddo che procura ad esso un nuovo recupero di densità con conseguente tendenza al ritorno verso il fondo bollente.**

Ciò avviene anche nelle differenti zone della crosta terrestre, fra cui si stabiliscono scambi di calore pur senza significativi scambi di materiale.

Il fenomeno descritto a livello delle differenti celle convettive non procura generalmente problemi, dato che può esplicarsi con velocità molto lente per l'elevatissima viscosità dei fluidi.



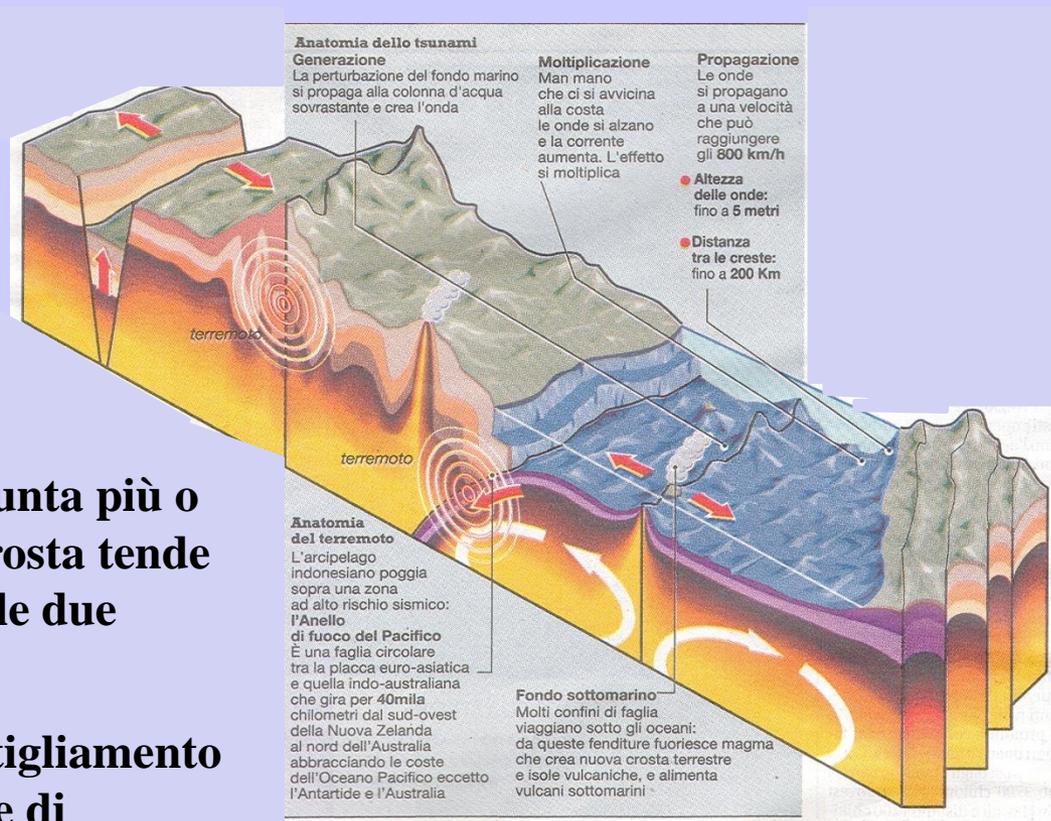
Nel momento in cui i liquidi vengono a contatto con il solido rappresentato dalla crosta terrestre, sorgono invece problemi dal contrasto fra una zolla e l'altra, procurato dal trascinamento del fluido sottostante, oppure dalla rottura della crosta stessa che non ha resistenza e rigidità sufficienti a contrastare il movimento del fluido.

Da osservazioni di tipo satellitare della crosta terrestre è possibile distinguere le zone in cui il moto convettivo è ascendente da quelle in cui è discendente.

Dove la corrente convettiva sale, giunta più o meno prossima alla superficie, la crosta tende a dividersi, con allontanamento delle due parti.

Le zone di ascensione sono di assottigliamento della crosta terrestre, o di frattura e di rigenerazione di nuova crosta.

Queste zone si localizzano sulle cosiddette *dorsali oceaniche*, cioè approssimativamente nella mezzieria degli oceani.

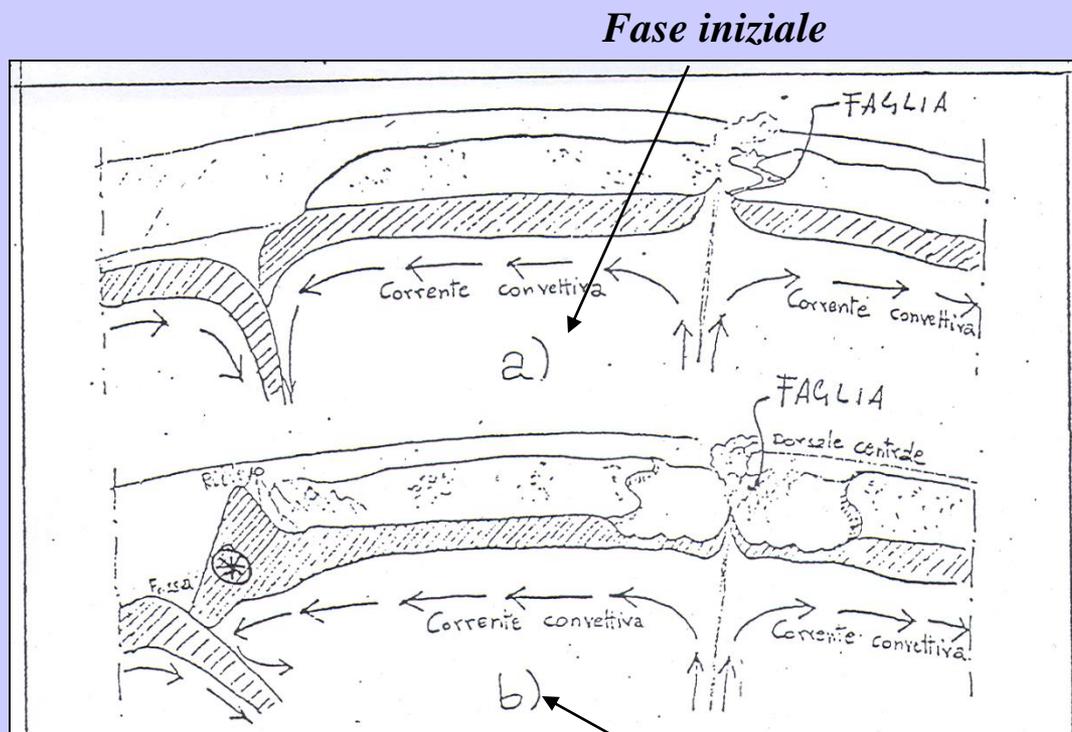


Una dorsale oceanica è dove abitualmente si collocano isole costituite da vecchi vulcani spenti, e vulcani sottomarini. Man mano che il vulcano invecchia, e quindi si allontana dalla zona della corrente convettiva in azione, la sua alimentazione diminuisce e tende ad estinguersi.

In Figura b) si evidenzia la zona di assottigliamento della crosta terrestre.

Se da qualche parte la crosta si crea, in altre parti si deve distruggere. Ciò si ha nelle zone di discesa della corrente convettiva ove due zolle adiacenti di crosta terrestre vengono a contatto.

Dal contatto, una delle due zolle passerà sopra l'altra.



*Dopo qualche milione di anni*

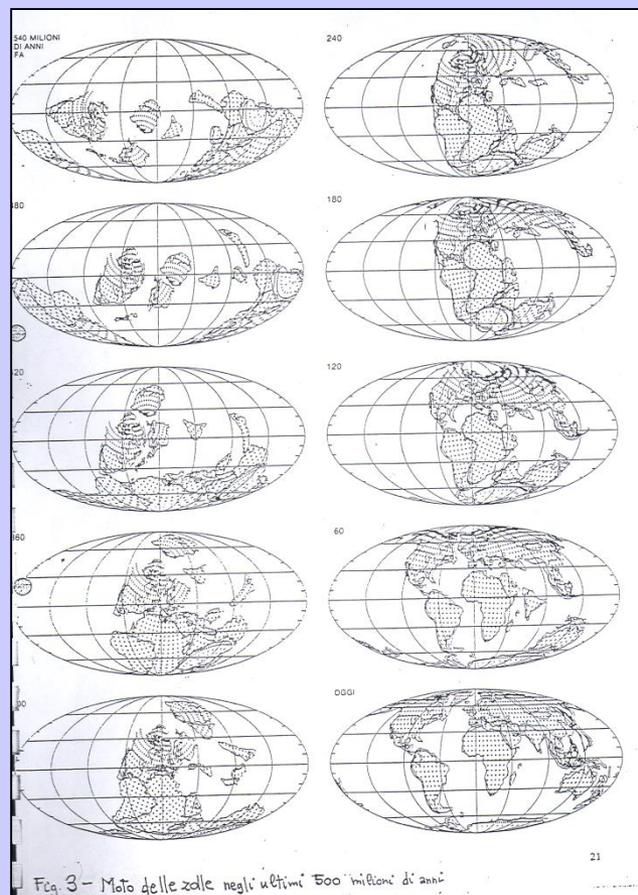
**Le zolle traslano e ruotano. La rotazione deriva da un movimento della crosta, in senso ortogonale al piano del disegno, che avviene lungo linee, dette “faglie trasformi” perché trasformano un movimento di traslazione in un altro di rotazione.**

**Il movimento di rotazione si realizza attraverso una serie di tagli ortogonali che permettono alle varie zolle di spostarsi l’una rispetto all’altra.**

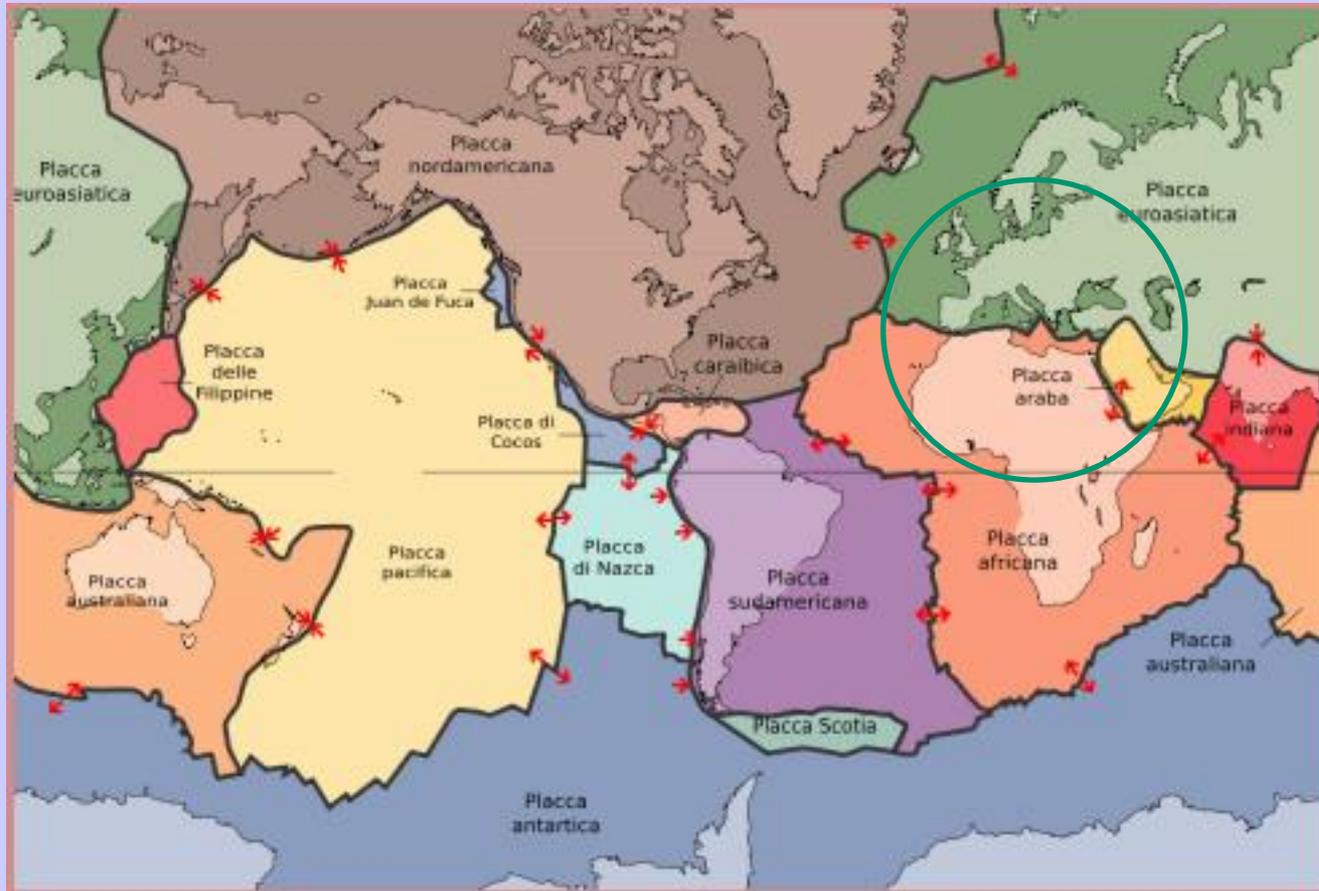


**Il risultato complessivo è quello indicato in figura, ove viene ripercorsa l'evoluzione dei movimenti della terra a partire da 480 milioni di anni fa, fino ad oggi.**

**360 milioni di anni fa c'era un unico grosso continente, la "Pangea", che poi, per i fenomeni descritti, si è disgregato fino ad assumere la configurazione attuale.**



20 placche tettoniche (o zolle) nelle quali è suddivisa la Terra, fra cui le più importanti sono le seguenti: **africana, euroasiatica, pacifica, nordafricana, sudamericana e antartica.**



**Polarizzando l'attenzione sull'Europa, emerge come l'Africa stia spingendo verso di essa.**

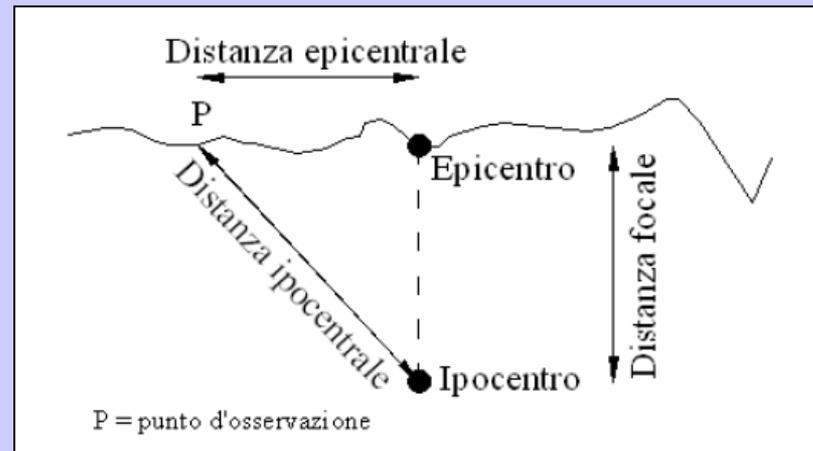
Gli **epicentri** indicano la posizione sulla superficie terrestre che corrisponde alla verticale dal punto in cui il terremoto ha origine.

Si può cercare di posizionare il terremoto anche in profondità, localizzando l'**ipocentro**.

Gli ipocentri dei terremoti si trovano su una superficie abbastanza regolare che corrisponde alla superficie che si immerge nella zona di compressione.

Nelle zone di trazione i terremoti si localizzano più o meno tutti in superficie, in corrispondenza della relativa linea di separazione.

Il legame terremoto-movimento della crosta terrestre è pertanto molto stretto.



## ***-Teoria di Reid***

Reid, geologo e sismologo americano, negli anni Trenta formulò una teoria che solo alla fine del secolo scorso venne presa in considerazione. Partì da considerazioni concernenti la faglia di S. Andrea, faglia superficiale vicina a S. Francisco.

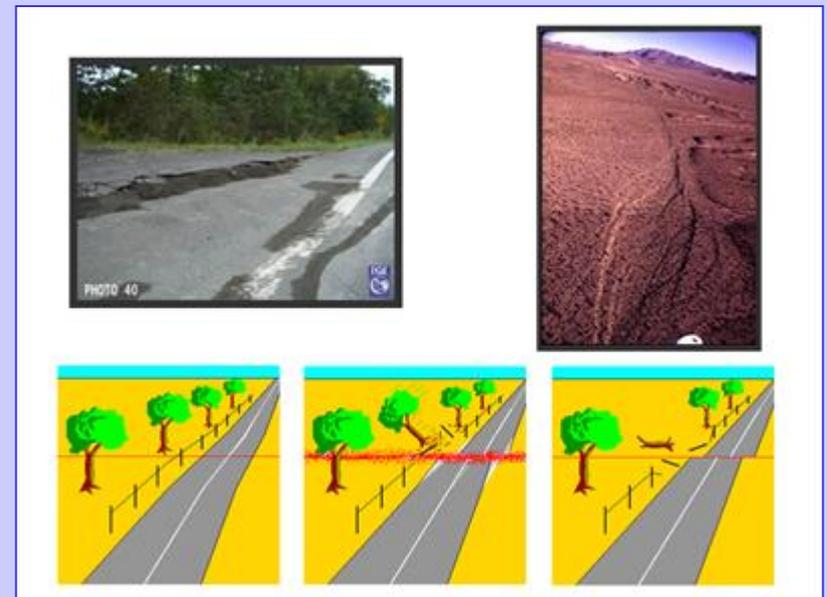
Percorrendo l'autostrada che passa accanto a questa faglia si osserva che ai due lati della gola, al fondo della quale c'è la faglia, c'è una vegetazione profondamente diversa che pone ancor più in risalto la differenza delle due formazioni che si fronteggiano e si muovono l'una rispetto all'altra.

Andando ad osservare tutte le aste di recinzione e del telegrafo che attraversavano la faglia dopo il terremoto, Reid notò che le linee inizialmente rettilinee avevano subito delle deformazioni significative.

Da ciò desunse come sulla faglia ci sia la tendenza ad uno spostamento per taglio (una faccia della faglia tende a scorrere sull'altra); inoltre, le due facce della faglia appoggiate reciprocamente subiscono delle pressioni di contatto molto elevate.

Per attrito si ha quindi un iniziale contrasto allo scorrimento con insorgenza di deformazioni elastiche.

In questa fase la roccia accumula energia fino al raggiungimento di una condizione di crisi per eccesso di deformazione, o di tensione.



## **- Teoria di Reid**

Quando si raggiunge la crisi, il rilascio dell'energia da parte della zona più deformata, avviene attraverso una serie di oscillazioni elastiche, vincendo la resistenza per attrito.

All'improvviso pertanto la faglia scorre.

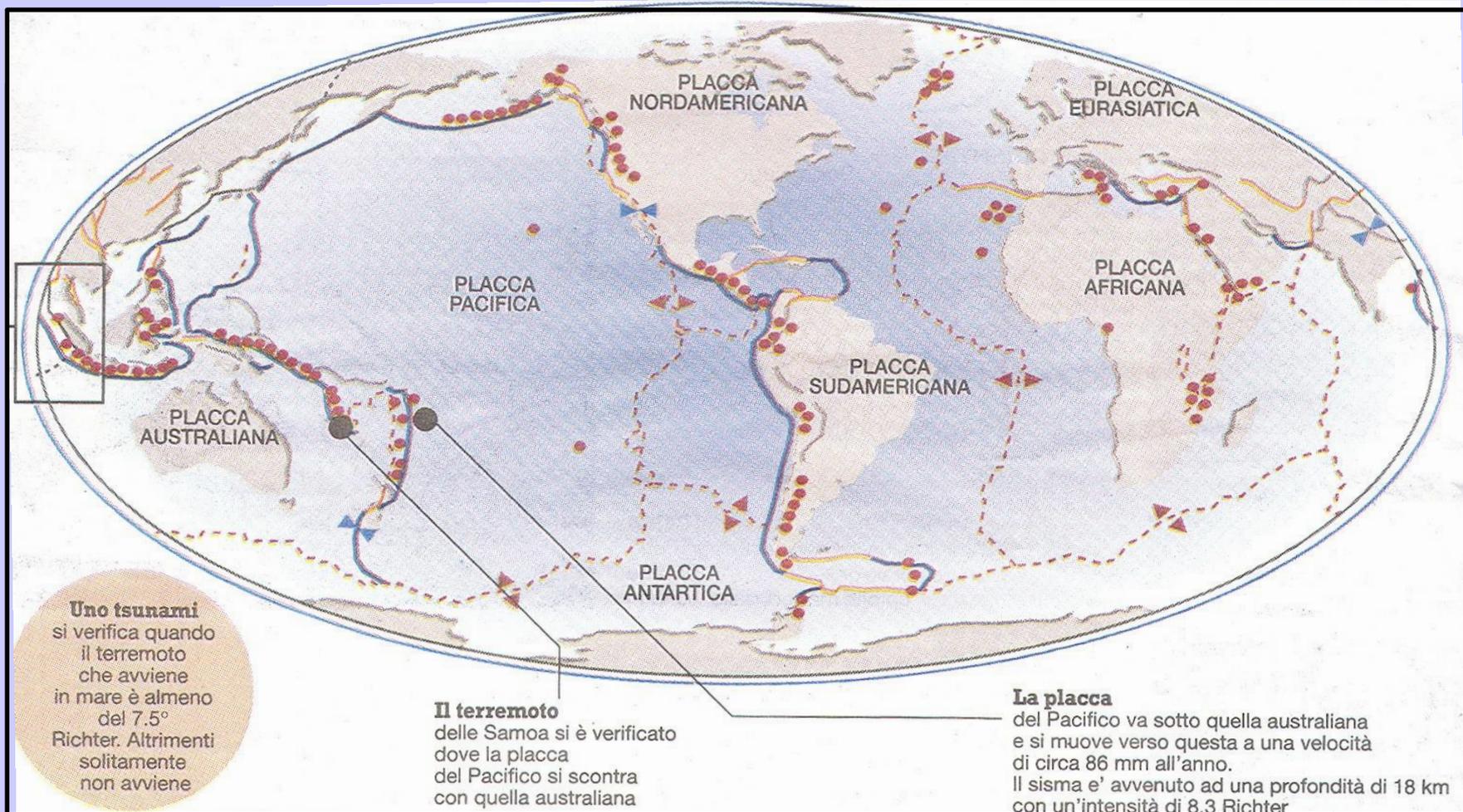
Naturalmente non raggiunge subito la sua posizione di equilibrio, continuando ad oscillare per un tempo dell'ordine di 20÷30 secondi in rapporto all'entità dell'energia che sta rilasciando.

Il movimento di spinta, ovvero la forza che tende a comprimere, è sempre in atto, pertanto ad un certo punto la faglia si riblocca.

Il movimento è così continuo, benché molto lento (*periodicità dei terremoti*).

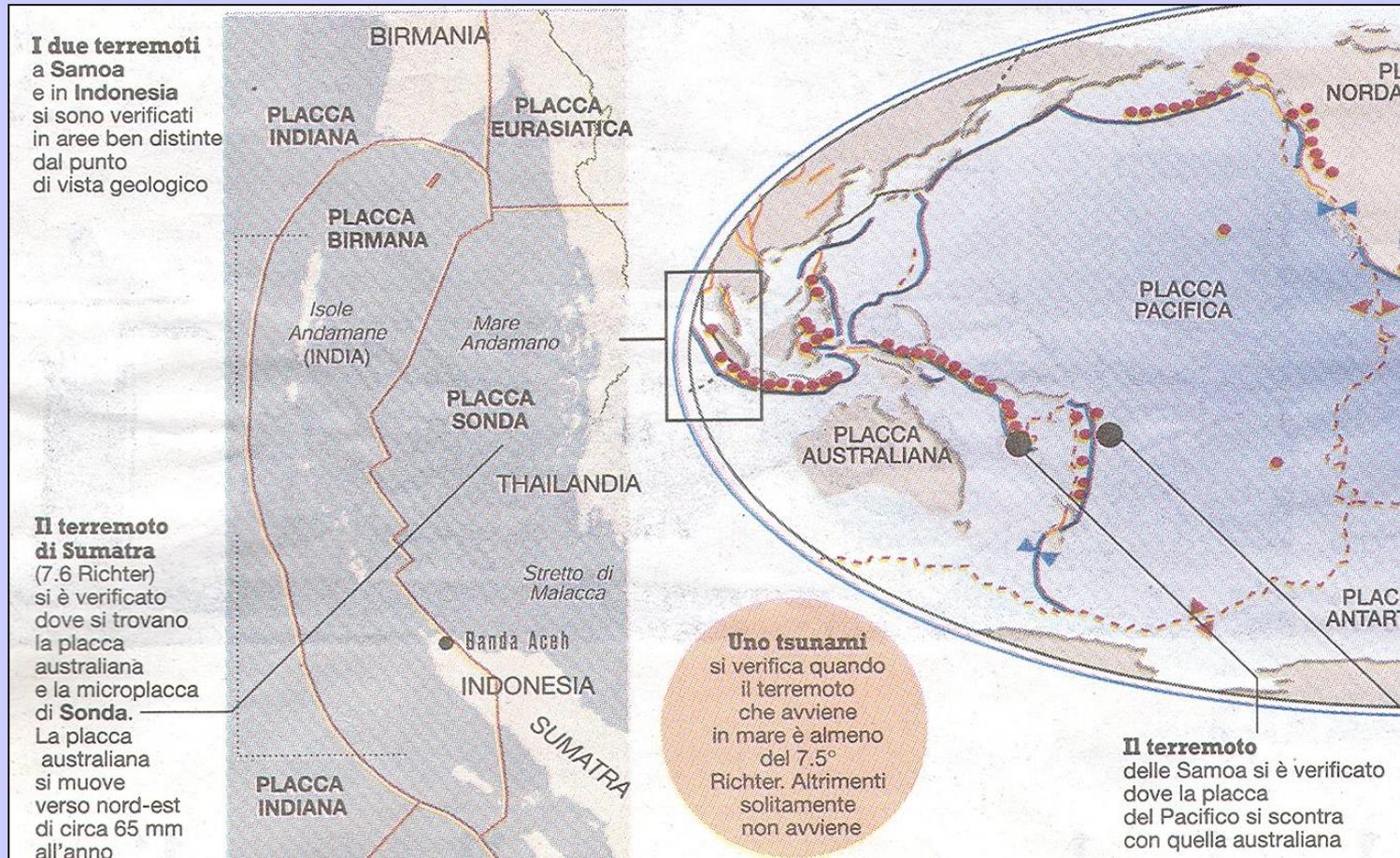
La teoria all'epoca non venne accettata per il fatto che non si conosceva il motore dello spostamento delle zolle, ora identificato nelle correnti convettive che dal nucleo portano calore in superficie.

## ■ *Terremoti di Sumatra e Samoa (2009)*

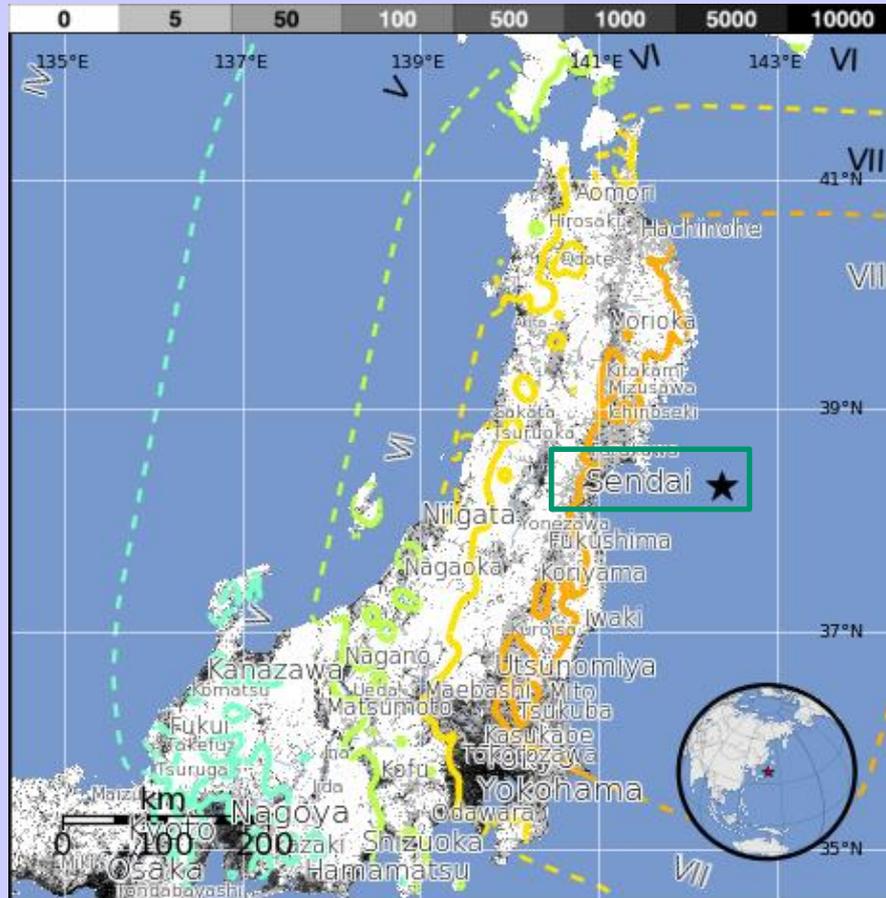


Le frecce riportate nella mappa mettono in risalto le posizioni delle faglie e come si svolga il movimento, ovvero se ci si trovi in una zona di creazione o meno di zolla (frecce uscenti od entranti).

## ■ *Terremoti di Sumatra e Samoa (2009)*



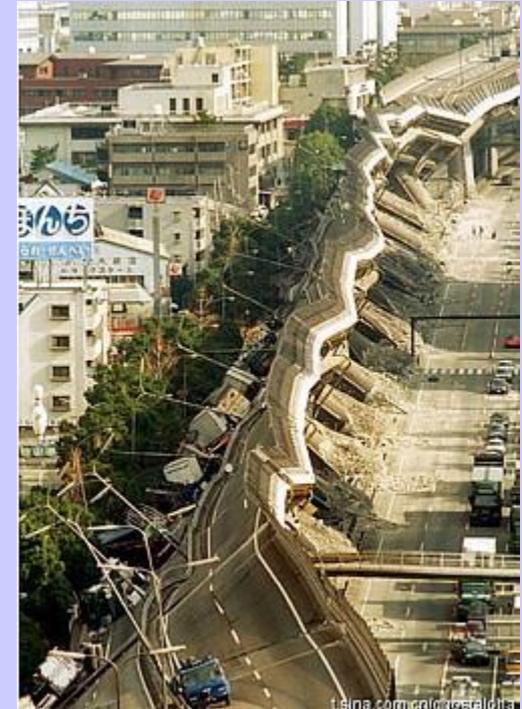
## ■ *Terremoto del Giappone (11 marzo 2011)*



**Ipocentro localizzato a 24 km di profondità e 130 km dal porto di Sendai (in prossimità della fossa del Giappone).**

**Nella costa orientale del Giappone, a più di 24h dal drammatico e devastante terremoto di Magnitudo 8,9, la terra ha continuato a tremare per un intenso sciame sismico che ha fatto registrare una prolungata serie di "scosse di assestamento", alcune di esse con una magnitudo assai rilevante, tra i 5 e 6,6.**

## ▪ *Terremoto del Giappone (11 marzo 2011)*



L'onda anomala del conseguente *Tsunami* (fra i 4 ed i 10 m) è penetrata per circa 5 km all'interno della terraferma, in corrispondenza delle coste orientali, ed ha raggiunto le Isole Hawaii e successivamente le coste della California (attraverso la Fossa di Murray), provocando alcuni danni nei porti, mentre nessun danno in Alaska.

Nella provincia indonesiana di Papua e di Tobati, anch'esse raggiunte dallo Tsunami, gli abitanti si sono rifugiati sulle colline antistanti osservando impotenti l'onda anomala che distruggeva le loro abitazioni.

## ▪ *Terremoto del Nepal (25 aprile 2015, ore 11:30-11:55)*

**KATHMANDU** - Una forte scossa di terremoto di magnitudo 7,9 ha colpito il Nepal lungo la linea tettonica della Main Himalayan Thrust.

Il terremoto, con epicentro a metà strada tra Kathmandu e la città di Pokhara, il più forte nel Paese negli ultimi 81 anni, ha causato molte vittime e gravissimi danni a edifici nella capitale, dove sono crollati alcuni palazzi. Ma nel Paese le vittime sono state più di 1500 (fonte: *Times of India*).



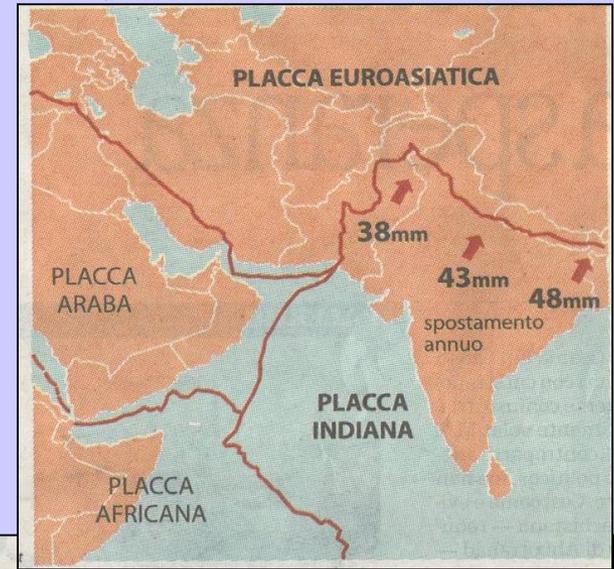
In Nepal sono rimasti pesantemente colpiti 35 dei 75 distretti per lo spostamento della massa himalayana che ha trovato sfogo a soli 10 km sottoterra, provocando effetti ancor più diffusi e violenti in superficie.

Il sisma è stato avvertito fino a New Delhi; ci sono state vittime anche in India (almeno 50) ed in Bangladesh (almeno una decina).

▪ **Terremoto del Nepal (25 aprile 2015, ore 11:30-11:55)**

L'Everest è il risultato della più grande collisione di placche tettoniche della Terra. Ogni anno aumenta in altezza di alcuni millimetri e si sposta dai 4 ai 5 cm verso Nord e Nord-Est.

Nella tettonica terrestre la placca indiana è fra le più veloci (battuta solo da quella del Pacifico che si immerge al disotto di quella nordamericana in media di 8 cm all'anno) e preme contro la placca tibetana (euroasiatica) con un fronte di circa 1000 km.



## ▪ *Terremoto del Nepal (25 aprile 2015, ore 11:30-11:55)*



### **I precedenti**

Nel 1505 il re del Nepal morì durante un terremoto che piagò la regione con tre anni di scosse di assestamento.

Si stima che intorno all'Himalaya la terra tremi in modo disastroso ogni 75-80 anni.

L'ultimo grande terremoto che ha coinvolto disastrosamente Nepal e India si è generato a pochi chilometri dall'Everest il 15 gennaio 1934, presentando una superficie di rottura di circa 150 km, facendo registrare una magnitudo  $M=8$  e devastando le città di Kathmandu, Munger e Muzaffarpur, con più di 11.000 morti, e lo Stato indiano del Bihar, dove persero la vita oltre 7.000 persone.

▪ *Terremoto del Nepal (25 aprile 2015, ore 11:30-11:55)*

**Valanga sull'Everest.** Il terremoto in Nepal ha provocato anche valanghe sull'Everest che hanno colpito i campi base 1 e 2. Secondo quanto emerse da messaggi su *Twitter* provenienti dal campo base e raccolti dalla tv indiana *Cnn-Ibn*, diciotto alpinisti stranieri (cinesi e giapponesi) sarebbero morti nella zona.



▪ *Terremoto del Nepal (25 aprile 2015, ore 11:30-11:55)*

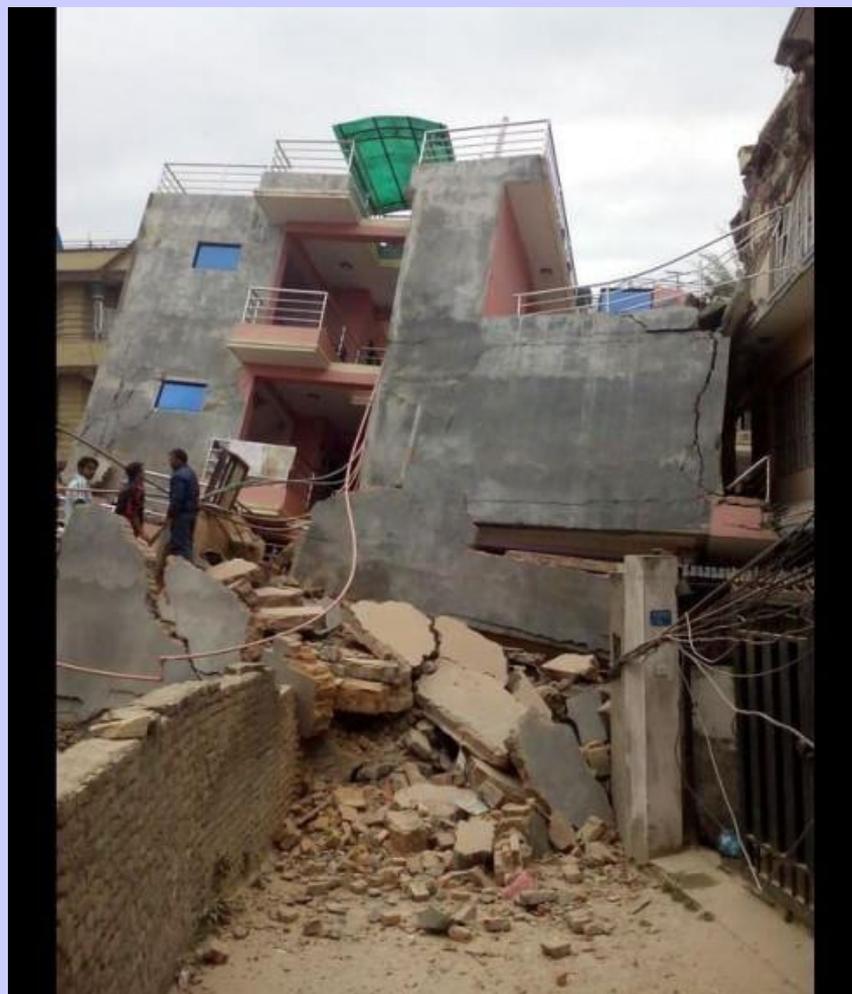
**KATHMANDU - Devastata la torre Dharahara.** La torre Dharahara, uno dei monumenti più importanti di Kathmandu, patrimonio Unesco, è crollata. I soccorritori hanno estratto 250 cadaveri. La torre, conosciuta anche come Bhimsen Tower, era di nove piani, alta quasi 62 metri.



## ▪ *Terremoto del Nepal (25 aprile 2015, ore 11:30-11:55)*

L'epicentro è stato a circa 80 km a Nord-Ovest da Katmandu, in una valle dove quasi 5 milioni di persone si sono concentrate in case costruite in fretta dopo la fine della guerra civile, circa 10 anni prima.

Secondo l'associazione Geohazard International, due terzi degli edifici in Nepal non rispetta le corrette regole di progettazione antisismica.



## *Evento sismico nello Stretto di Gibilterra, M 6,3 (25 gennaio 2016)*

Un terremoto di magnitudo **M 6,3** è stato localizzato dall'INGV alle ore 05:22 italiane (04:22 UTC) della mattina del 25 gennaio, nel **Mare di Alboran** ad est dello Stretto di Gibilterra.

L'epicentro è stato localizzato a 150 km ad est di Gibilterra, 86 km a nord di Melilla ed a 50 km a nord di Al Hoceima in Marocco.



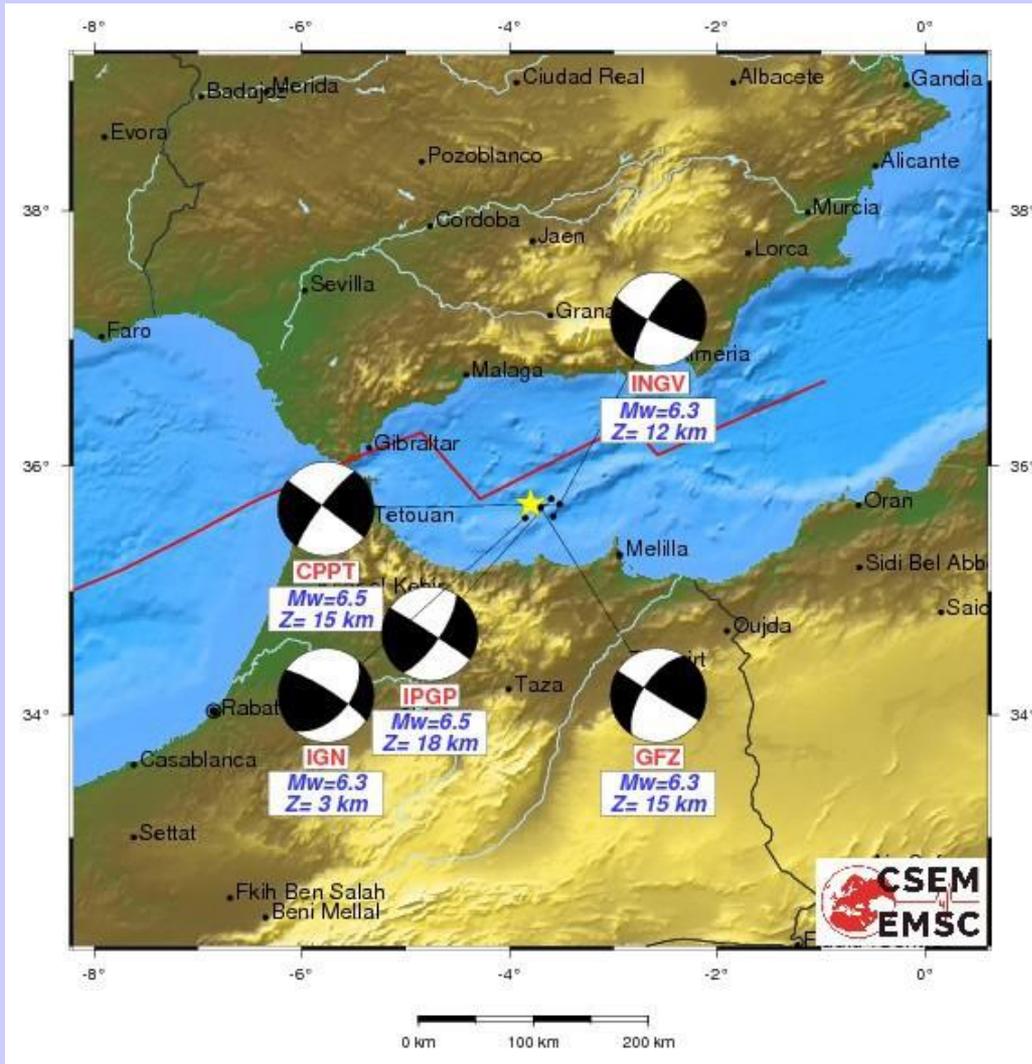
## *Evento sismico nello Stretto di Gibilterra, M 6,3 (25 gennaio 2016)*

Questo terremoto è avvenuto circa 12 anni **dopo il terremoto di M 6,3 di Al Hoceima che il 24 febbraio 2004** ha colpito la costa settentrionale del **Marocco** causando più di 630 vittime. L'epicentro del terremoto del 25 gennaio 2016 si situa circa 50 km a nord dell'epicentro del terremoto del 2004 ad una profondità di circa 10 km. Gli eventi del 25 gennaio e del 21 gennaio 2016 similmente al terremoto del 2004 sono stati caratterizzati da meccanismi focali di tipo trascorrente in risposta al regime tettonico compressivo di questo settore del Mediterraneo occidentale, che è causato dal moto relativo di avvicinamento tra le placche Africana ed Europea e che localmente è di pochi millimetri all'anno.

### **Il maremoto che non c'è stato**

Il terremoto della notte al largo del Marocco è stato un ottimo test del **CAT, il sistema di monitoraggio degli tsunami nel Mediterraneo**. Fortunatamente, a causa della magnitudo contenuta e del tipo di movimento della faglia, trascorrente e quindi prevalentemente orizzontale, non si è registrato alcun maremoto. In realtà, un piccolo segnale di onda di tsunami è stato rilevato in due mareografi in Marocco e forse anche a Palma de Mallorca.

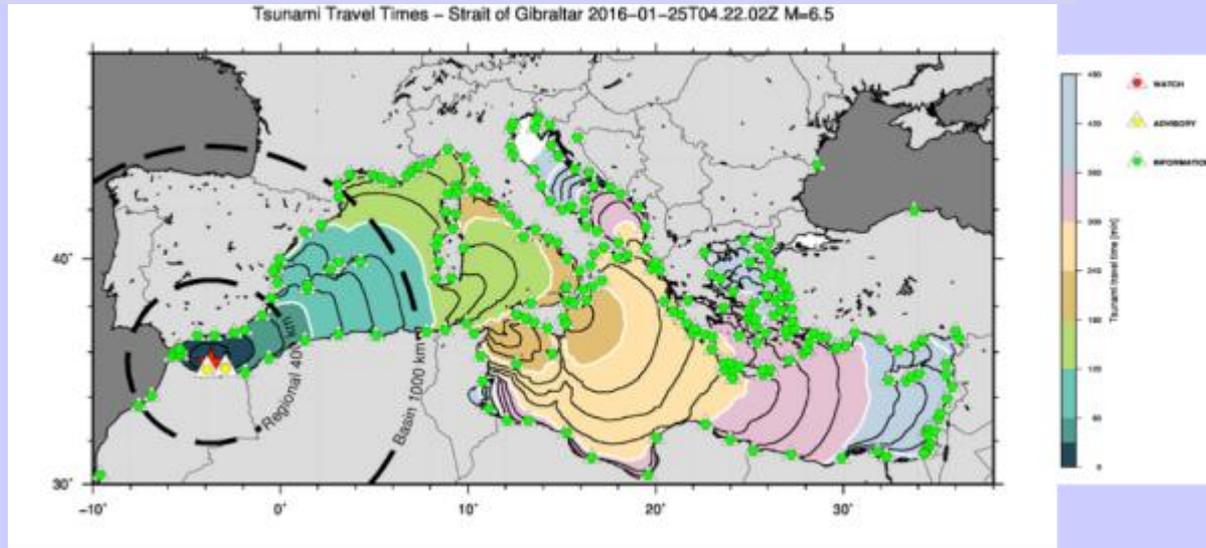
## *Evento sismico nello Stretto di Gibilterra, M 6,3 (25 gennaio 2016)*



Localizzazione del terremoto di M 6,3 del 25 gennaio 2016 e meccanismi focali calcolati da diversi istituti di ricerca europei (tra cui l'INGV).

## *Evento sismico nello Stretto di Gibilterra, M 6,3 (25 gennaio 2016)*

Simulazione dei tempi di propagazione delle onde di maremoto che il terremoto di magnitudo 6,3 avrebbe potuto causare se avesse avuto caratteristiche diverse: un meccanismo focale differente ed una magnitudo maggiore.



*Stima del CAT  
dell'INGV.*

La magnitudo indicata in figura è quella calcolata in via preliminare; la magnitudo definitiva calcolata dal CAT è di 6,3

I tempi di risposta del CAT, il sistema di monitoraggio INGV realizzato in collaborazione con Dipartimento della Protezione Civile e Ispra, sono stati molto buoni: già dopo sei minuti si aveva una stima affidabile dell'epicentro e della magnitudo, e il primo avviso di possibile tsunami è stato inviato 11 minuti dopo il terremoto. Nel caso in cui si fosse generato, uno tsunami avrebbe impiegato circa due ore a raggiungere la costa occidentale della Sardegna, tre ore circa per la Sicilia e oltre tre ore per Lazio, Campania, Basilicata e Calabria.

***Terremoto di magnitudo 6,9 del 30-01-2016 ore 03:25:10 (UTC) in provincia/zona  
Near east coast of Kamchatka Peninsula, Russia***

Un terremoto di magnitudo  $M_w$  **6,9** è avvenuto nella  
provincia/zona **Near east coast of Kamchatka  
Peninsula, Russia** il **30-01-2016 04:25:10 (UTC  
+01:00) ora italiana**

**30-01-2016 15:25:10 (UTC +12:00) orario locale**  
nella zona del terremoto (Asia/Kamchatka) con  
coordinate geografiche (lat, lon) **53,9, 158,59** ad una  
profondità di **153 km**



***Terremoto di magnitudo 6,2 del 01-02-2016 ore 20:00:50 (UTC) nella  
provincia/zona Kermadec Islands region, New Zealand***

Un terremoto di magnitudo  $M_w$  **6,2** è avvenuto nella  
provincia/zona **Kermadec Islands region [Sea: New  
Zealand]** il **01-02-2016 20:00:50 (UTC +01:00)  
ora italiana** con coordinate geografiche (lat, lon)  
**-30,48, -179,91** ad una profondità di **443 km**



# Terremoto Taiwan, 6 febbraio 2016 (4:00 ora locale) - M 6,4; Epicentro a 28km a NE di Pingtung



**10 palazzi crollati a Tainan,  
23 le vittime, oltre 500 i feriti**

# Terremoto del Centro Italia; agosto-ottobre 2016 – gennaio 2017

Con **eventi sismici del Centro Italia del 2016-2017** s'intende una serie di episodi sismici iniziati il 24 agosto 2016 con epicentri situati tra la valle del Tronto ed i Monti Sibillini e culminati nella scossa del 18 gennaio 2017, con epicentro a Barete (AQ).

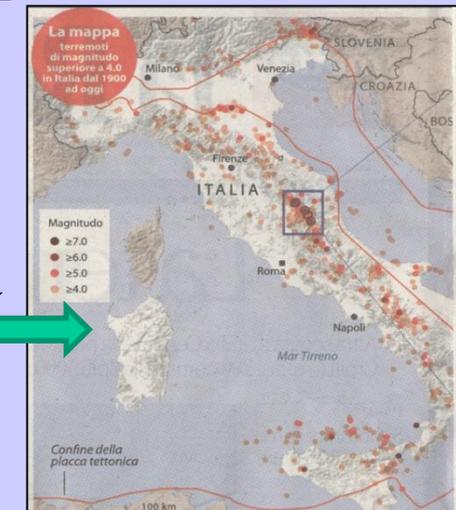
La prima forte scossa si è avuta il 24 agosto 2016 ed ha avuto una magnitudo di 6,0, con epicentro situato lungo la Valle del Tronto, tra i comuni di Accumoli (RI) e di Arquata del Tronto (AP).



Due potenti repliche sono avvenute il 26 ottobre 2016 con epicentri al confine umbro-marchigiano, tra i comuni della Provincia di Macerata, Ussita e Castelsantangelo sul Nera.



Il 30 ottobre 2016 è stata registrata la scossa più forte, di magnitudo momento 6,5 con epicentro tra i comuni di Norcia e Preci, in Provincia di Perugia.



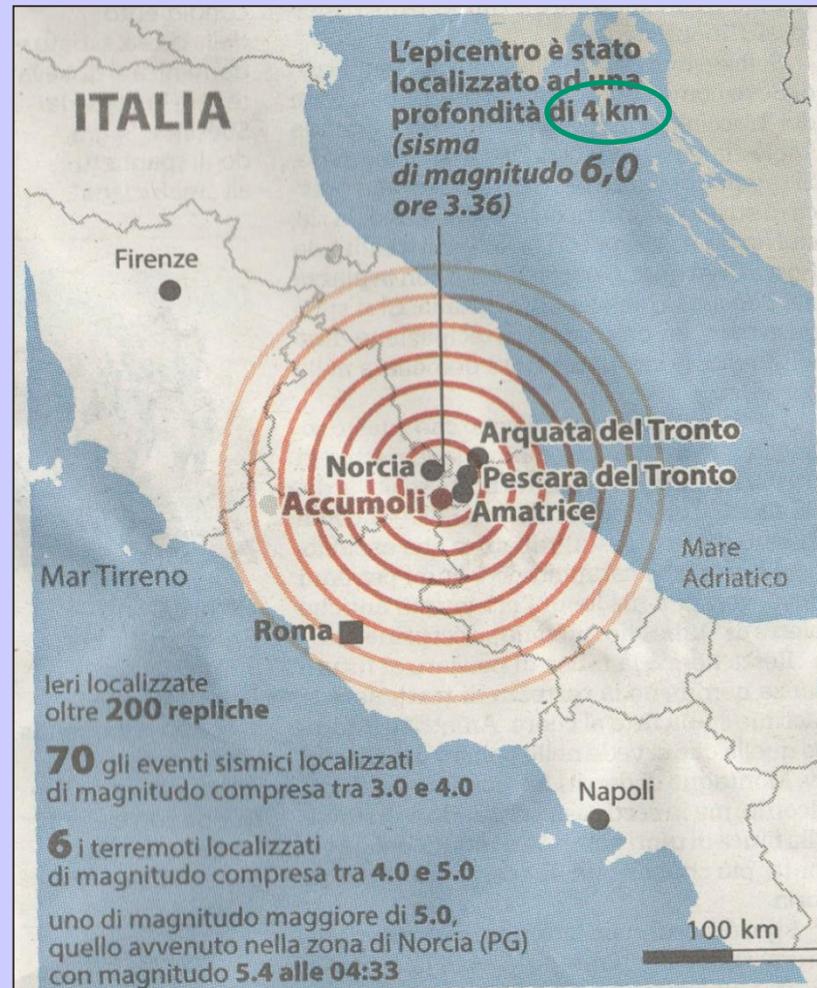
## ***Terremoto del Centro Italia, 24 agosto 2016 (prima scossa alle 3:36:32) - M 6,0 Ipocentro a 4 km di profondità, epicentro ad Ussita vicino ad Accumoli***

Del filosofo greco Anassimandro, antico padre della scienza, si diceva che aveva salvato gli abitanti di Sparta perché aveva previsto un terremoto e li aveva avvisati.

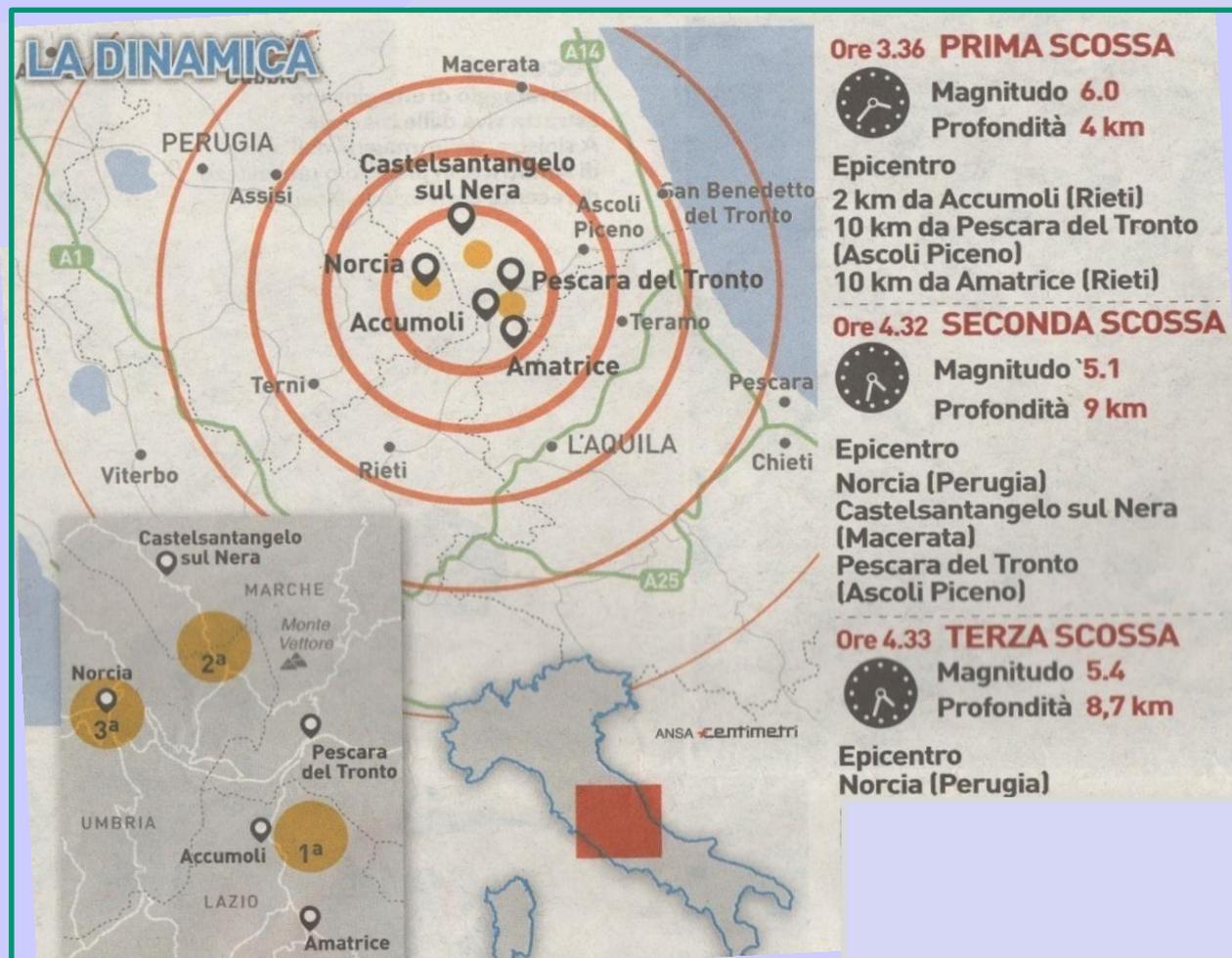
Del grande terremoto che ha distrutto Messina all'inizio del XX secolo, qualcuno dice ancora che sia stata una punizione divina.

Né l'una né l'altra posizione sono ragionevoli; entrambe rappresentano il nostro angosciato bisogno di trovare ragioni e modi di difenderci dal dolore e dall'imprevisto.

Dobbiamo fare di tutto per difenderci. Studiare i pericoli, cercare di prevenirli e prendere tutti i provvedimenti necessari per minimizzare i rischi.



# *Terremoto del Centro Italia, 24 agosto 2016 (prima scossa alle 3:36:32) - M 6,0 Ipocentro a 4 km di profondità, epicentro ad Illica vicino ad Accumuli*



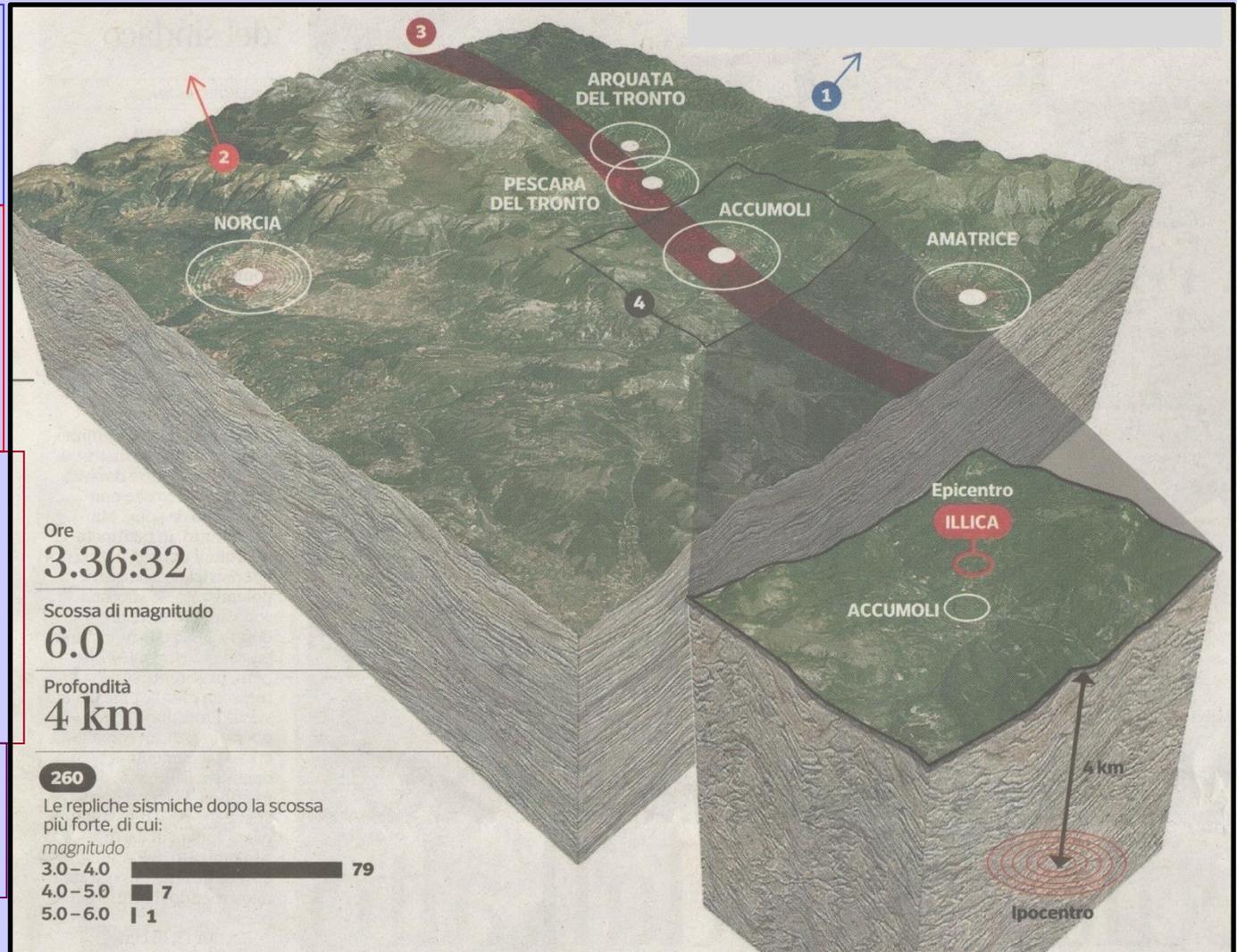
# Terremoto del Centro Italia, 24 agosto 2016 (prima scossa alle 3:36:32) - M 6,0 Ipocentro a 4 km di profondità, epicentro ad Illica vicino ad Accumoli

1. La parte esterna Adriatica si muove verso Nord-Est con velocità di 3-5 mm/anno

2. La parte interna Tirrenica si muove prevalentemente verso Nord/Nord-Ovest con velocità di 1-2 mm/anno

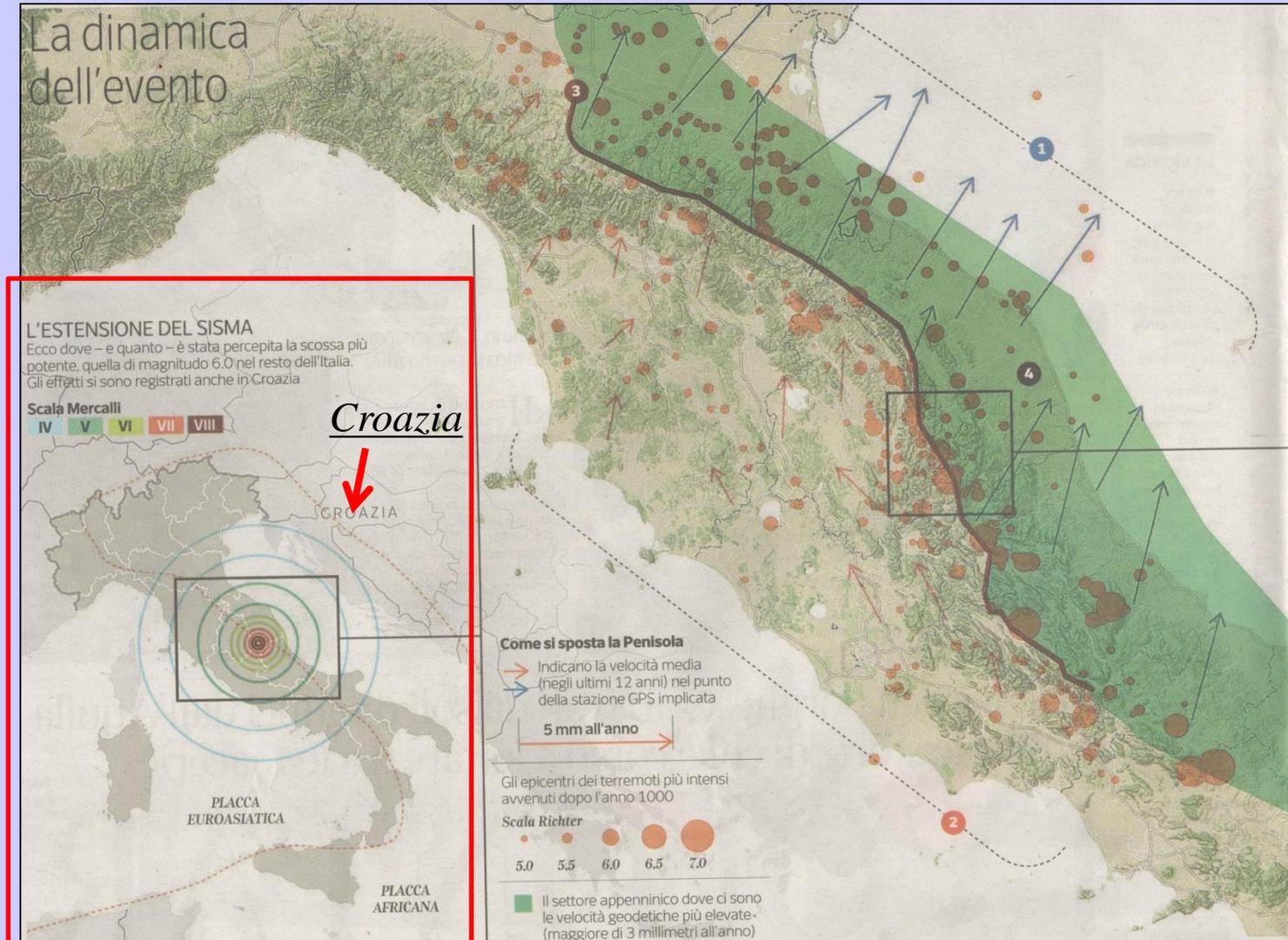
3. L'area di separazione tra questi due settori corrisponde alla fascia di maggiore sismicità che si sviluppa tra l'Aquilano e l'Appennino Romagnolo

2. Si ha quindi una divergenza di 2-3 mm/anno.



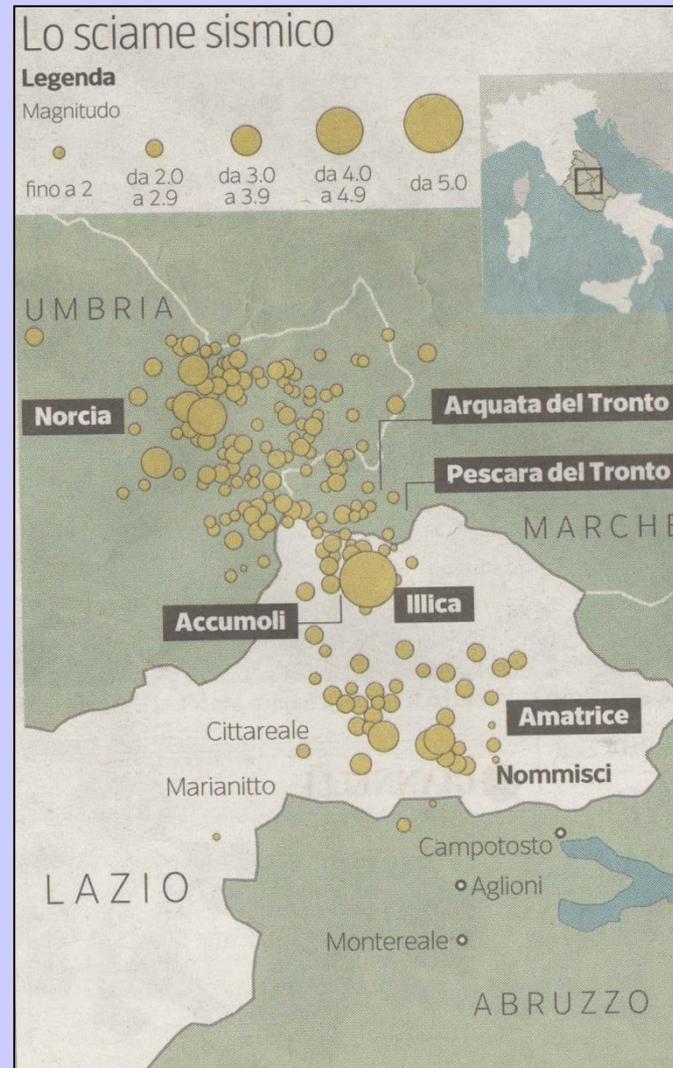
# Terremoto del Centro Italia (agosto 2016-gennaio 2017)

## scossa del 24 agosto 2016



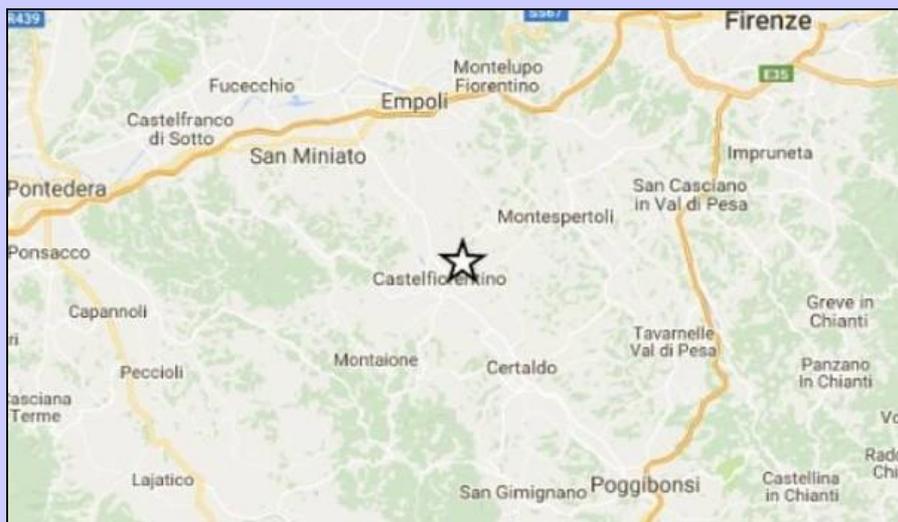
# *Terremoto del Centro Italia (agosto 2016-gennaio 2017)*

## **Quadro dello sciame sismico nella stessa giornata del 24 agosto 2016**



## ***Terremoto a Castelfiorentino, 25 ottobre 2016 - M 3,9; Ipocentro a 9 km di profondità***

Avvertita distintamente a Firenze, Empoli, Prato, Lucca, Pistoia, Siena, Pisa, Pontedera, Volterra, Arezzo, Massa, Carrara, Viareggio e Livorno ed è stata preceduta da una scossa di 2,2



Due scosse di **terremoto** sono state registrate in serata con epicentro nei pressi di **Castelfiorentino** (a una trentina di chilometri a Sud-Ovest di Firenze).

La più forte è stata registrata di magnitudo 3,9, con una profondità di 9 km, preceduta pochi minuti prima da una di 2,2.

La scossa è stata avvertita distintamente a Firenze (anche nel centro cittadino) ed Empoli e in tutta la Toscana. Infatti, segnalazioni sono arrivate anche da Livorno, Prato, Lucca, Pisa, Pistoia, Massa, Carrara, Viareggio, Pontedera e Volterra, mentre i centralini dei vigili del fuoco sono stati presi d'assalto.

*Nel comune dell'epicentro non sono stati registrati danni a persone o cose.*

***Terremoto del Centro Italia, 26 ottobre 2016 (prima scossa alle 19:10 – M=5,4  
seconda scossa alle 21:18 – M=5,9)***

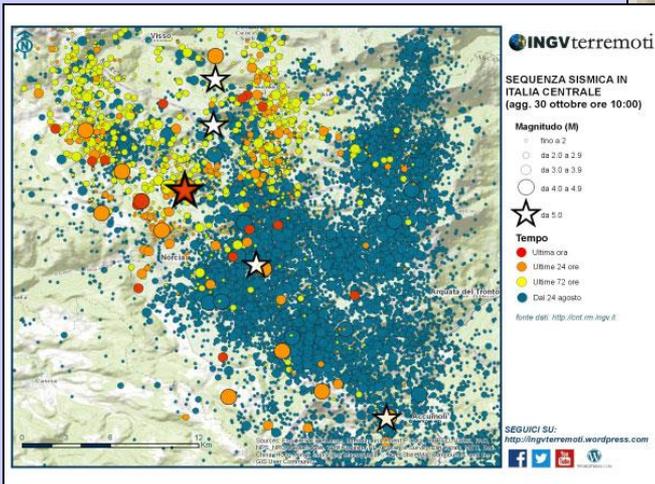
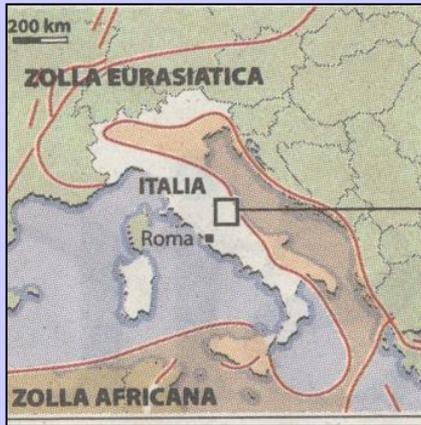


# Principali terremoti in Italia dal '900 al terremoto del Centro-Italia

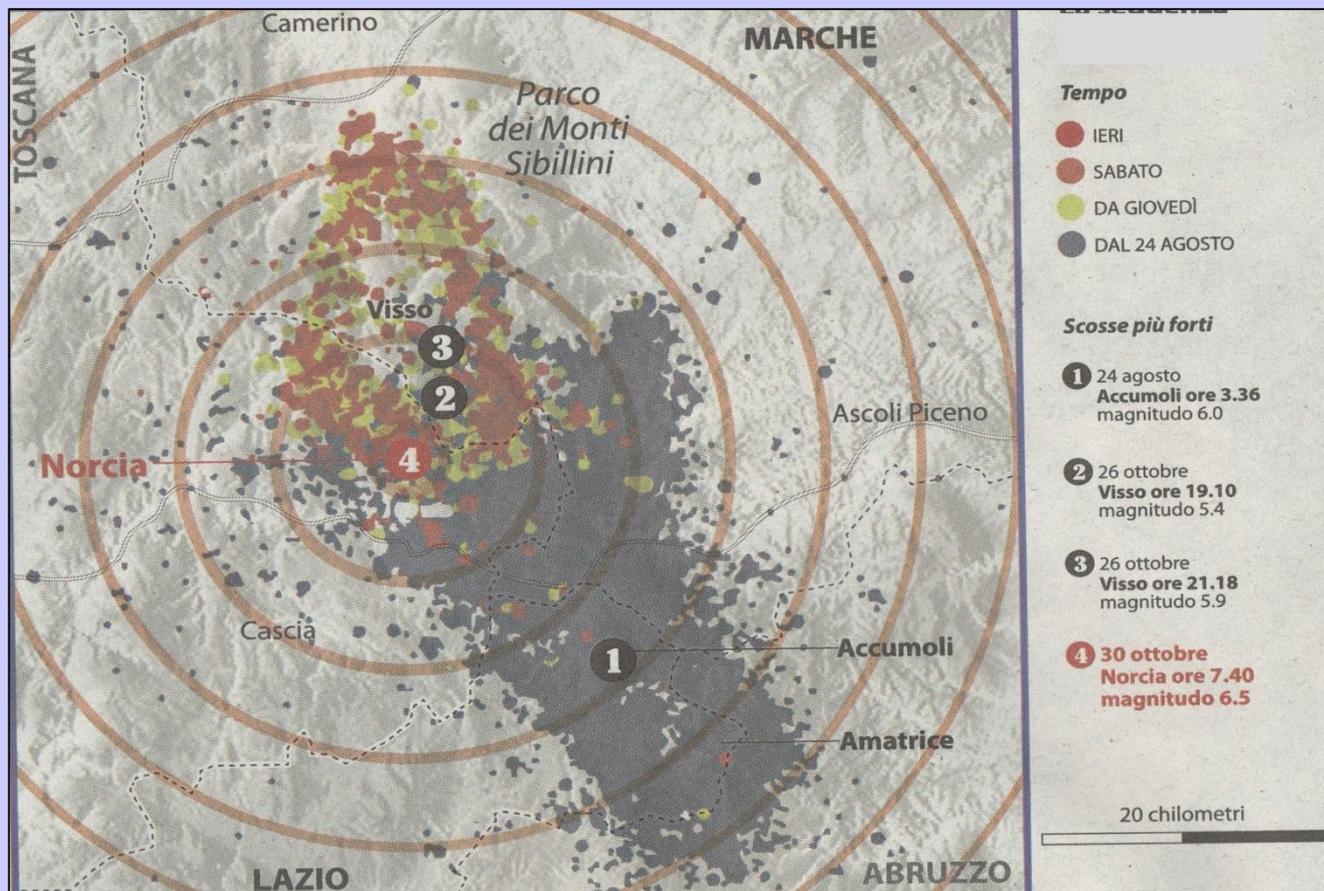
- 1.** 24/08/2016 Amatrice (M=6) 298 morti  
30/10/2016 Norcia (M=6,5) 0 morti  
18/01/2017 L'Aquila (M=5,4)  
morti per la valanga di Rigopiano
- 2.** 20/05/2012 Emilia Romagna  
(M≈M<sub>w</sub>=5,9) 27 morti
- 3.** 06/04/2009 Abruzzo (M=5,9; M<sub>w</sub>=6,1) 309  
morti
- 4.** 31/10/2002 San Giuliano di Puglia (M<sub>w</sub>=5,7)  
30 morti
- 5.** 26/09/1997 Umbria e Marche (M=5,6;  
M<sub>w</sub>=6,1) 11 morti
- 6.** 13/12/1990 Sicilia Orientale (M<sub>w</sub>=5,7)  
17 morti
- 7.** 23/11/1980 Irpinia (M=6,5; M<sub>w</sub>=7)  
2735 morti
- 8.** 23/11/1976 Friuli (M=6,4; M<sub>w</sub>=6,5)  
990 morti
- 9.** 15/01/1968 Belice (M<sub>w</sub>=6,4) 370 morti
- 10.** 13/01/1915 Avezzano (M<sub>w</sub>=7) 30519 morti
- 11.** 28/12/1908 Messina (M<sub>w</sub>=7,2) 82000 morti



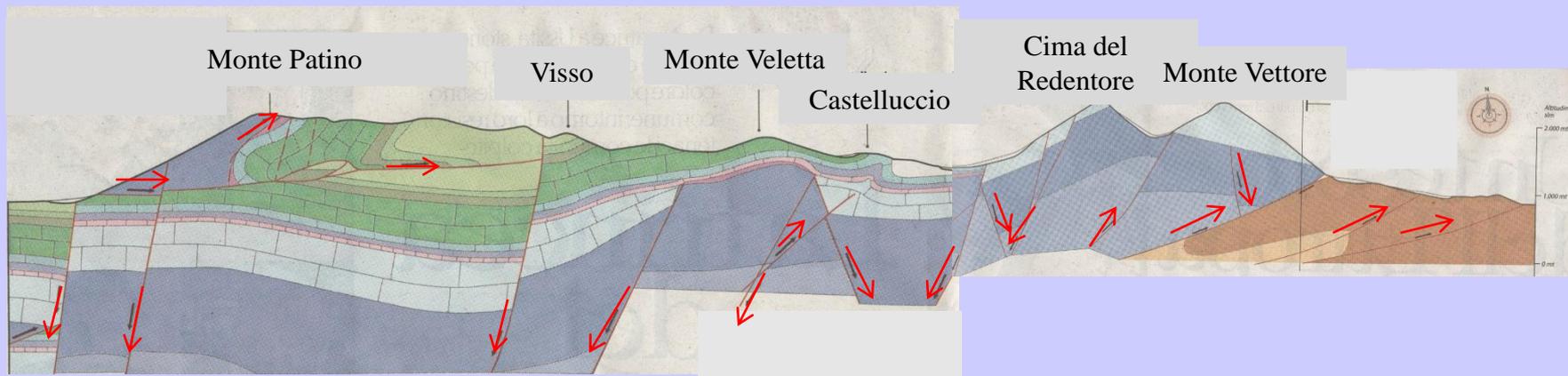
# Terremoto del Centro Italia, 30 ottobre 2016 (ore 06:40:18) – M=6,5; Ipocentro a 9 km di profondità, epicentro a Norcia



## Terremoto del Centro Italia, sequenza degli eventi dal 24/08 al 30/10 2016

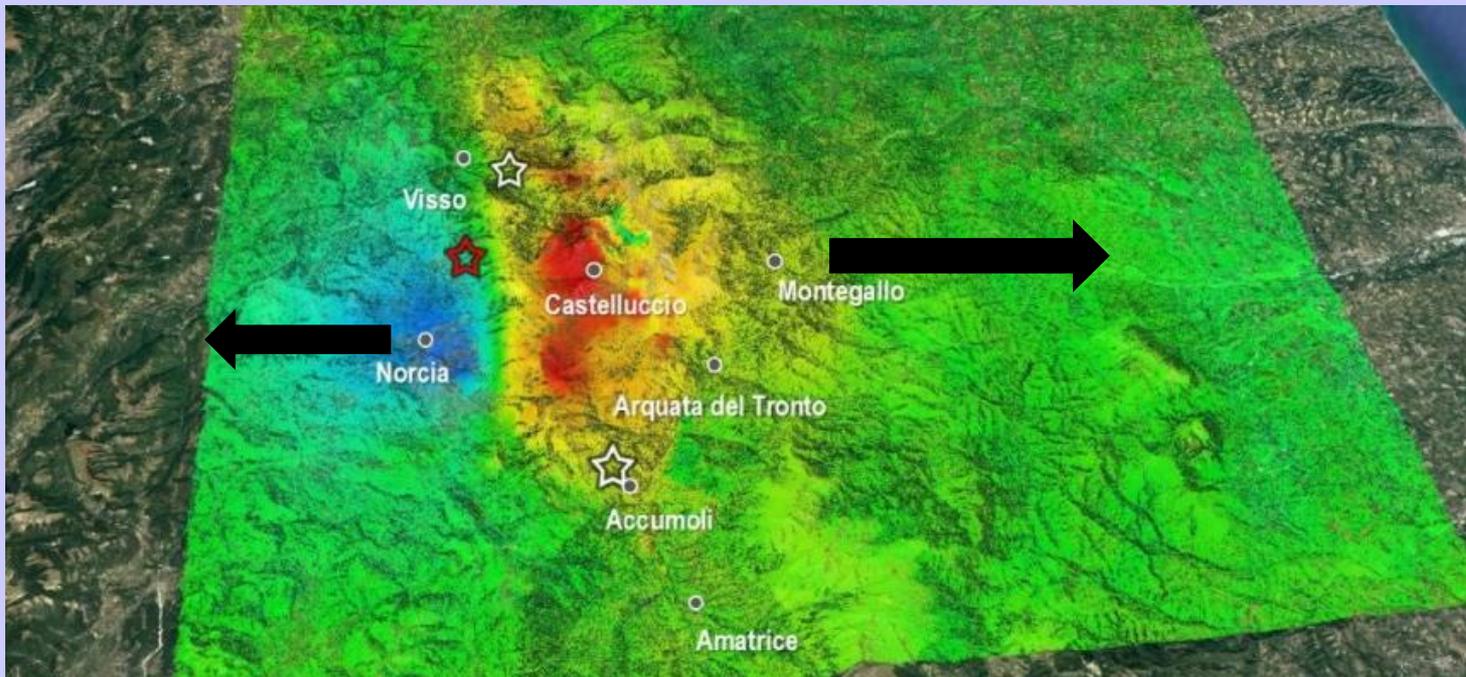


***Terremoto del Centro Italia, 30 ottobre 2016 (ore 06:40:18) – M=6.5;  
Ipocentro a 9 km di profondità, epicentro a Norcia***



***Il terremoto del 30 ottobre è stato innescato probabilmente dal sistema di faglie tra Cima del Redentore e Monte Vettore***

***Terremoto del Centro Italia, 30 ottobre 2016 (ore 06:40:18) – M=6.5;  
Ipocentro a 9 km di profondità, epicentro a Norcia***



Il movimento del terreno ricostruito in base ai dati dei satelliti:  
Norcia verso Ovest, Montegallo verso Est

***Principali terremoti avvenuti nell'area dal 1985 ad oggi:  
nel 1639 (Magnitudo 6,2),  
nel 1646 (Magnitudo 5,9) e nel 1703 (Magnitudo 6,9)***

# Terremoto del Centro Italia (agosto 2016-gennaio 2017)



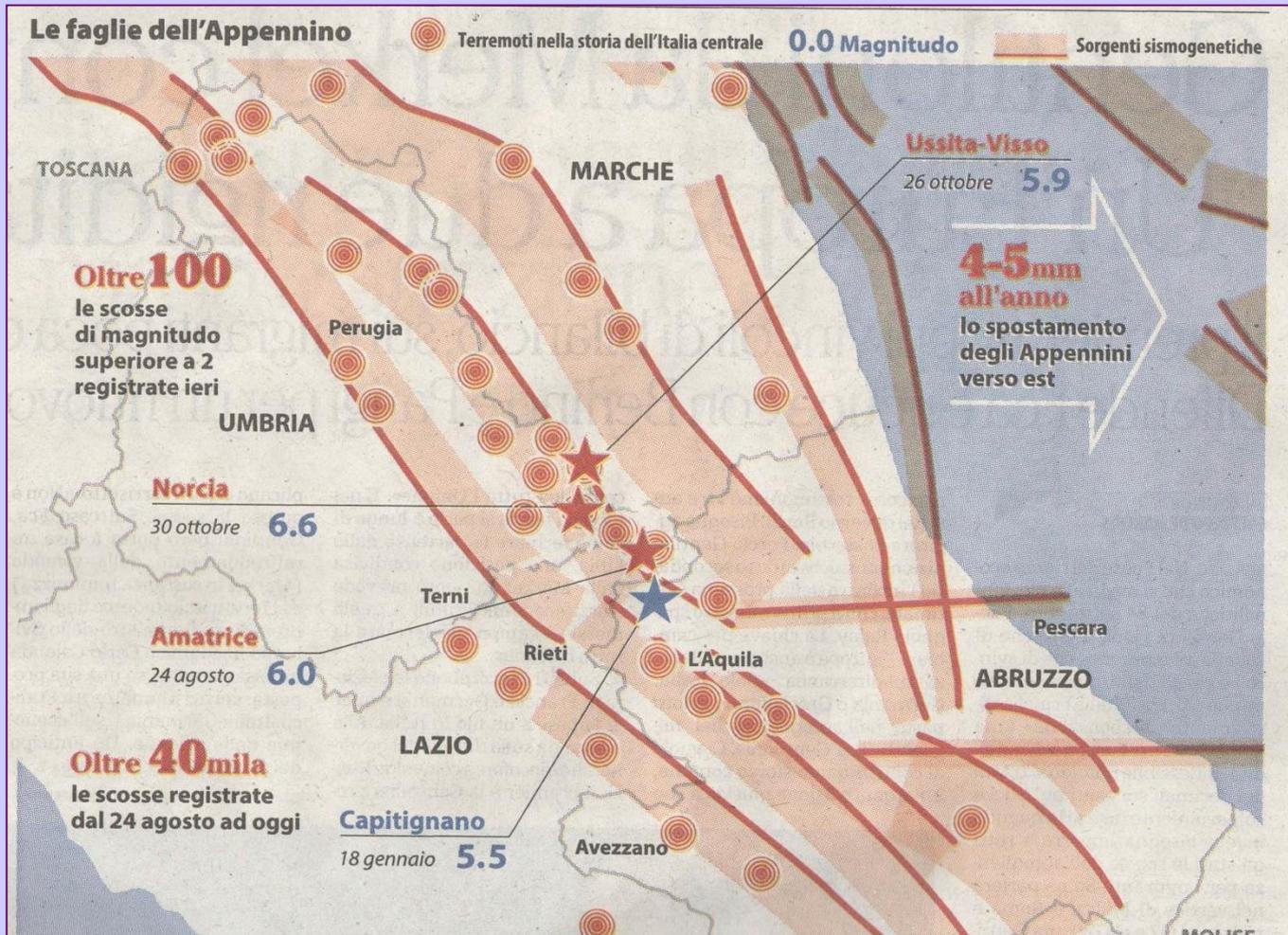
## *Terremoto del Centro Italia (agosto 2016-gennaio 2017)*

Sequenza delle scosse principali dal 24 agosto:

- **24 agosto**, ore 1,36 Amatrice (RI) magnitudo 6,0
- **24 agosto**, ore 2,33 Norcia (PG) magnitudo 5,4
- **26 ottobre**, ore 17,10 Visso (MC) magnitudo 5,4
- **26 ottobre**, ore 19,18 Visso (MC) magnitudo 5,9
- **27 ottobre**, ore 17,22 Norcia (PG) magnitudo 4,2
- **30 ottobre**, ore 6,40 Norcia (PG) magnitudo 6,5
- **1 novembre**, ore 8,56 Acquacanina (MC) magnitudo 4,7
- **3 novembre**, ore 1,35 Pieve Torrina (MC) magnitudo 4,8
- **11 dicembre**, ore 13,54 Castelsantangelo s.N.(MC) magnitudo 4,3
- **18 gennaio**, ore 10,25 Montereale (AQ) magnitudo 5,1
- **18 gennaio**, ore 11,14 Capitignano (AQ) magnitudo 5,5
- **18 gennaio**, ore 11,25 Pizzoli (AQ) magnitudo 5,4
- **18 gennaio**, ore 14,33 Barete (AQ), magnitudo 5,1

# Terremoto del Centro Italia (agosto 2016 - gennaio 2017)

## Dati relativi alla scossa del 18 gennaio 2017



**10-15 km**  
la lunghezza della faglia responsabile

**5-6 km**  
la sua larghezza

La parte orientale della faglia si sposta verso Nord-Est



La parte occidentale della faglia crolla verso il basso

**tra 8,9 e 10 km**  
la profondità dell'ipocentro delle quattro forti scosse di ieri

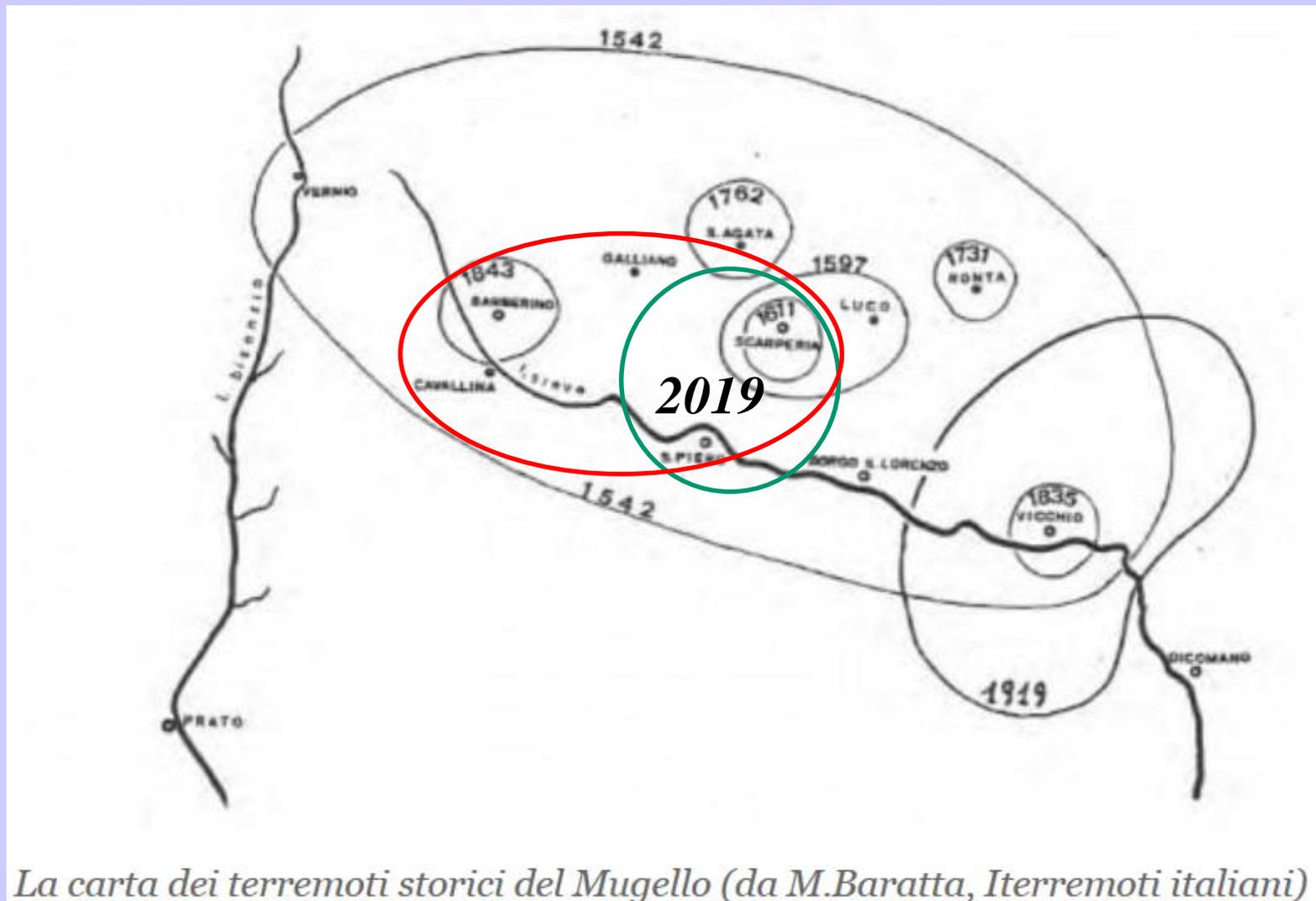
**6,7**  
la magnitudo dell'ultimo terremoto forte nella zona (1703)

**600 km quadri**  
l'area toccata degli epicentri dalla sequenza iniziata il 24 agosto

## *Terremoto del Mugello (dicembre 2019)*

**Dati relativi alla scossa del 9 dicembre 2019 – ore 04:37:03**

*$M_W = 4,5$  Epicentro a 5 km a Nord di Scarperia e San Piero a Sieve*



*La carta dei terremoti storici del Mugello (da M.Baratta, I terremoti italiani)*

## ▪ *Onde sismiche*

**Modellare l'origine del terremoto con un punto è un fatto puramente illusorio, dato che la superficie interessata dalla rottura ha dimensioni generalmente molto ampie (si pensi ad esempio al terremoto di S. Francisco del 1906 con  $M=8,3$  la cui superficie di rottura ebbe dimensioni di 400 km in orizzontale e 15 km in verticale, od al terremoto del Cile – 1960 – di pari magnitudo rispetto al precedente, la cui superficie fu di 775 km in orizzontale e 185 km in verticale).**

**La schematizzazione della sorgente di un terremoto con un punto è pertanto una convenzione per poter interpretare meglio il fenomeno di diffusione delle onde emesse, comunque giustificata dal fatto che la superficie comincia a rompersi in un punto da cui si espande.**

**Come un'onda luminosa, passante attraverso due superfici differenti, in parte viene riflessa, in parte rifratta ed in parte passa per trasparenza, le onde sismiche, anch'esse di tipo sferico, passando dalla crosta terrestre all'aria, in parte ritornano verso l'interno della terra per riflessione, in parte passano con rumore e sollevando polvere nel mezzo aria.**

**Il terremoto si presenta come una serie di esplosioni che si susseguono rapidamente lungo la superficie di rottura, con emissione di onde generalmente di due tipi:**

**Onde di volume (si trasmettono sull'intero volume terrestre);**

**Onde di superficie (seguono la superficie terrestre).**

## ✓ Onde di volume

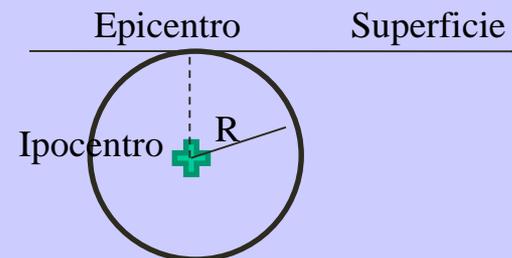
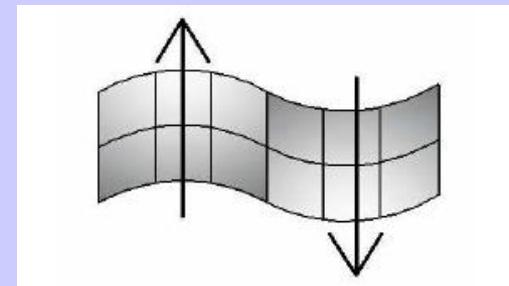
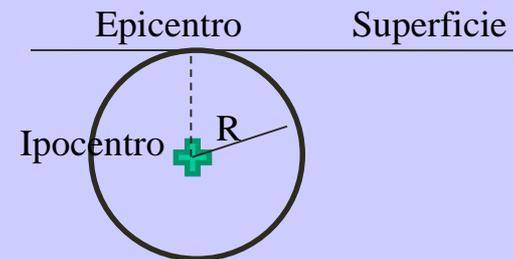
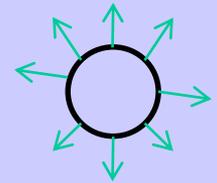
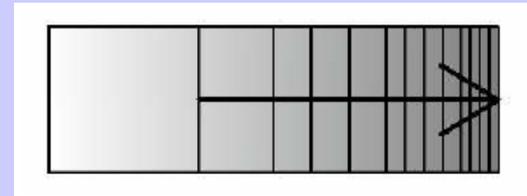
Vengono distinte in:

- **Onde P** (o primarie, di pressione - sfera che pulsa dilatandosi e stringendosi);

Le onde logitudinali o primarie (P), sono responsabili della propagazione delle deformazioni di compressione-dilatazione; la direzione del fronte d'onda longitudinale coincide con la direzione di spostamento delle particelle del terreno; sono veloci e raggiungono per prime la superficie della terra.

- **Onde S** (o secondarie, di taglio – sfera che ruota su se stessa ed avanza tagliando in un certo verso e poi in verso opposto).

Le onde trasversali o secondarie (S), sono responsabili della variazione di forma del terreno; la direzione del movimento del fronte d'onda è perpendicolare allo spostamento delle particelle del terreno; hanno velocità minore rispetto alle onde primarie.



**Onde P** - Velocità di propagazione su roccia compatta  $v_p \cong 1,1\sqrt{(E/d)} \cong 5\div 6 \text{ km/s}$

$k$  = modulo di incompressibilità;  
 $\mu$  = modulo di elasticità tangenziale;  
 $\rho$  = densità del materiale.

$$v_P = \sqrt{\frac{k + \frac{4}{3}\mu}{\rho}}$$

Per piccole distanze varia con  $R^2$

**Onde P** – Legge di attenuazione



Per grandi distanze varia con  $R$

**Onde S** - Velocità di propagazione su roccia compatta  $v_s \cong v_p/\sqrt{3} \cong \sqrt{(G/d)} \cong 3\div 3.5 \text{ km/s}$

$$v_S = \sqrt{\frac{\mu}{\rho}}$$

Per piccole distanze varia con  $R^2$

**Onde S** – Legge di attenuazione

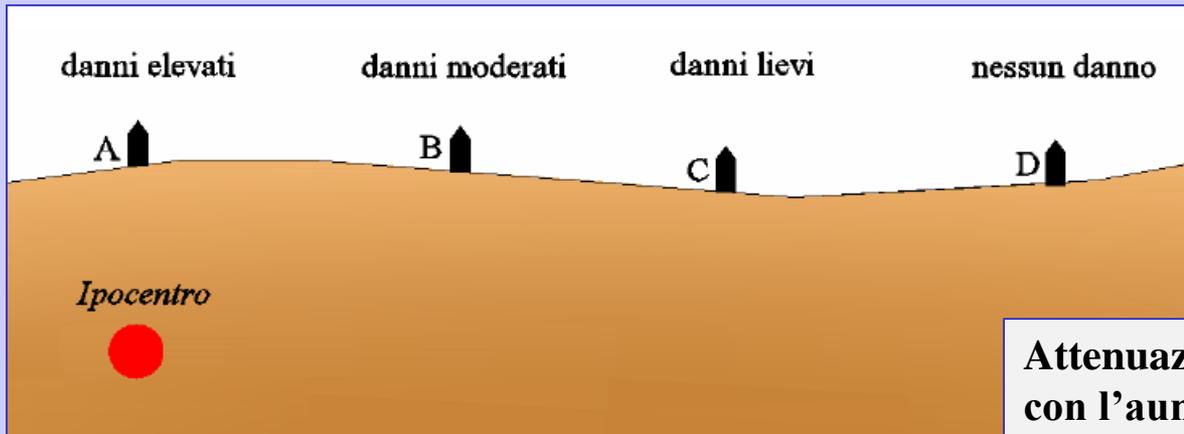
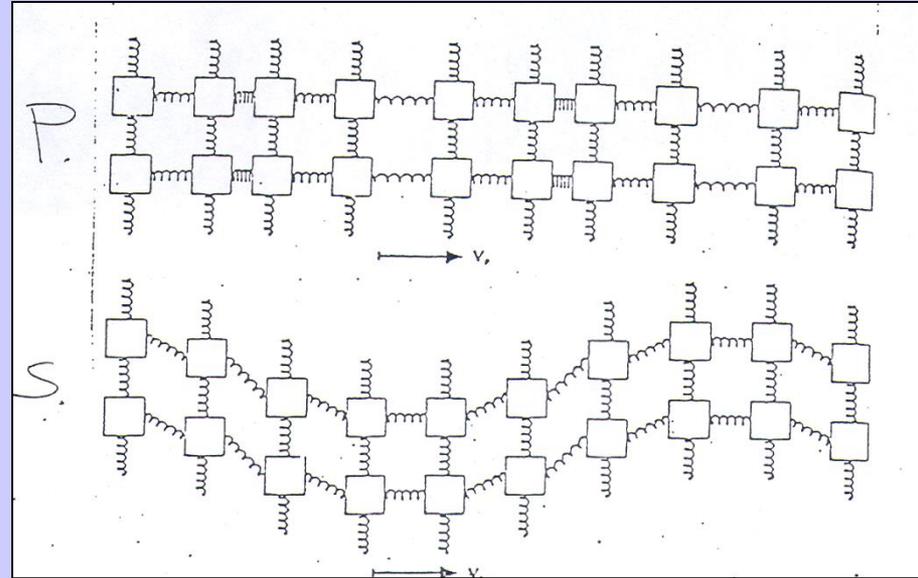


Per grandi distanze varia con  $R$

La differente velocità dei due treni d'onda fa sì che ad una certa distanza dall'epicentro e dall'ipocentro le onde *P* arrivino con sufficiente anticipo rispetto alle onde *S*, sotto forma di due terremoti distinti.

**Le onde di volume di tipo P producono variazioni di volume con sollecitazione assiale, mentre le S generano solo distorsioni.**

**L'attenuazione fornisce un dato riguardo alla riduzione dell'intensità del moto allontanandosi dall'ipocentro.**



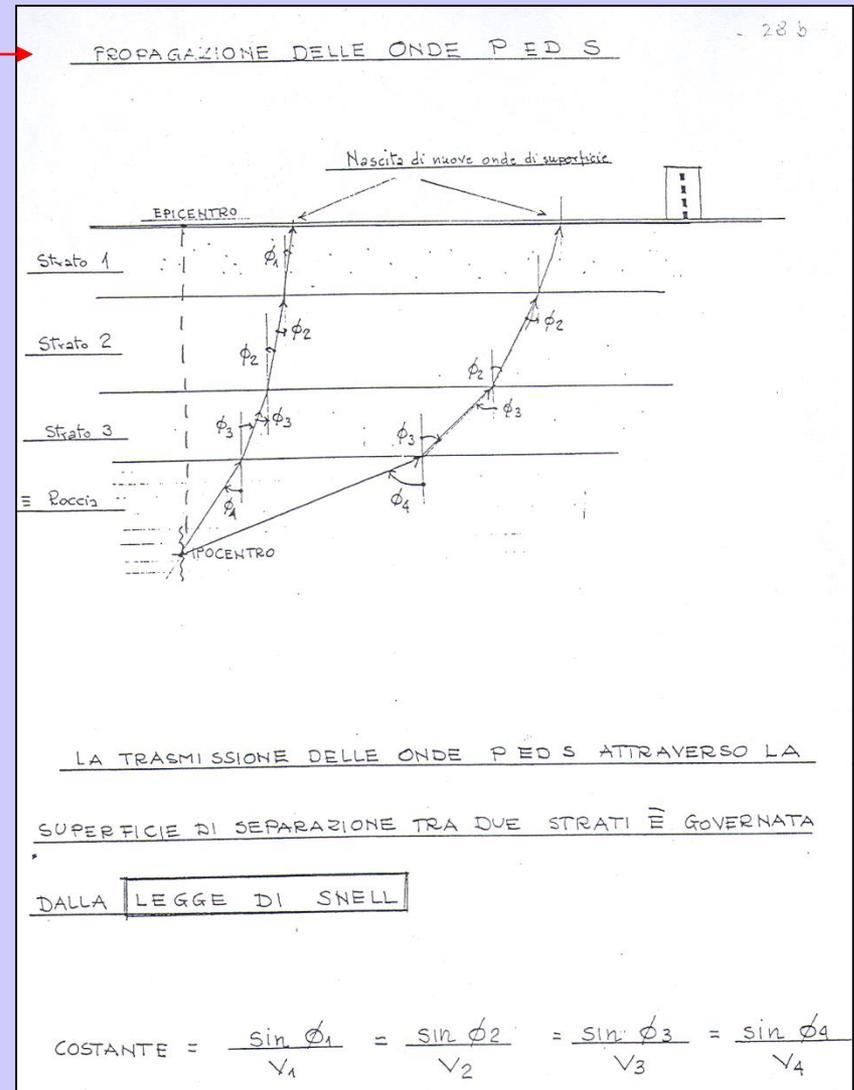
**Attenuazione delle onde sismiche con l'aumento della distanza**

## Ideale cammino di un'onda sismica che sta emergendo

In virtù dell'ottica geometrica l'attraversamento di strati con differente consistenza porta a fenomeni di polarizzazione, ovvero di variazione della direzione dell'onda (effetto di distorsione dell'immagine di un bastone nell'acqua per variazione del percorso seguito dalla luce).

Validità in forma vettoriale della legge di Snell (scritta accanto, in forma scalare, in riferimento ad un solo piano coordinato).

Dalla legge di Snell, poiché la velocità varia al variare delle caratteristiche elastiche del mezzo attraversato e poiché progredendo verso la superficie le caratteristiche elastiche peggiorano, ci si deve aspettare che il termine a numeratore si riduca secondo la stessa legge di riduzione del denominatore (in superficie arrivano quasi verticalmente).



**In ogni terremoto coesistono sempre le due condizioni di moto ondulatorio e sussultorio.**

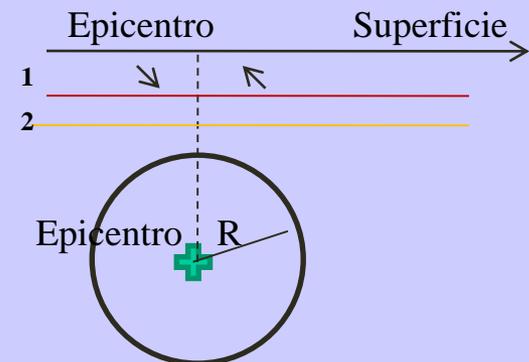
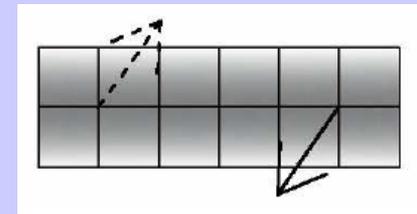
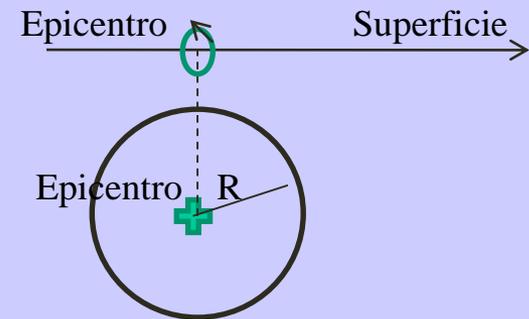
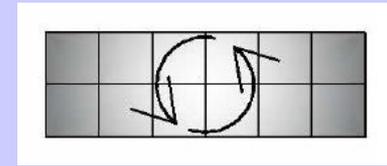
Le onde *P* ed *S* partono alla pari; essendo tuttavia più veloci, le onde *P* arrivano prima in superficie con una componente verticale prevalente rispetto alla componente orizzontale, in quanto la direzione di avanzamento tende ad essere verticale. L'onda tende ad emergere tangente alla superficie adducendo un movimento ortogonale alla superficie dell'onda stessa, alternativamente verso l'alto e verso il basso (si parla in tal caso di ***terremoto sussultorio***).

Trascorso un certo tempo (dipendente dalla distanza dall'ipocentro), arriva in superficie anche il treno d'onda *S*, già polarizzato verso la verticale. Il moto trasmesso è altresì un moto ortogonale alla direzione di avanzamento dell'onda; pertanto l'onda *S* in superficie si manifesta imprimendo al terreno un'accelerazione orizzontale (***terremoto ondulatorio***).

Non esistono quindi terremoti puramente ondulatori o sussultori, bensì terremoti inizialmente sussultori (più tollerabili dalla specie umana) che successivamente acquistano le caratteristiche del moto ondulatorio (di maggiore disturbo).

## ✓ Onde di superficie

- **Onde di Rayleigh** (interessano i primi metri di superficie - 4÷5 m – ed il loro moto segue un'ellisse in senso antiorario; se si osserva l'onda investire una massa localizzata, si scorge come questa reagisca alzandosi e tornando indietro secondo un percorso ellittico antiorario molto breve, dato l'elevato smorzamento del moto).
- **Onde di Love** (dato l'epicentro e due strati successivi, le onde di Love si presentano con moto tipo taglio e velocità legata a quella delle onde di taglio degli stessi due strati; l'onda di taglio interessa più o meno tutto lo strato 1, con intensità decrescente dalla superficie a quella di discontinuità fra i due strati).



**Onde di Rayleigh** - Velocità di propagazione  $v_R \cong 2,7 \div 3 \text{ km/s}$

Per piccole distanze varia con il  $\ln R$

**Onde di Rayleigh** – Legge di attenuazione

Per grandi distanze varia con la  $\sqrt{R}$

**Onde di Love** - Velocità di propagazione  $v_L \cong 2,7 \div 3 \text{ km/s}$

Per piccole distanze varia con il  $\ln R$

**Onde di Love** – Legge di attenuazione

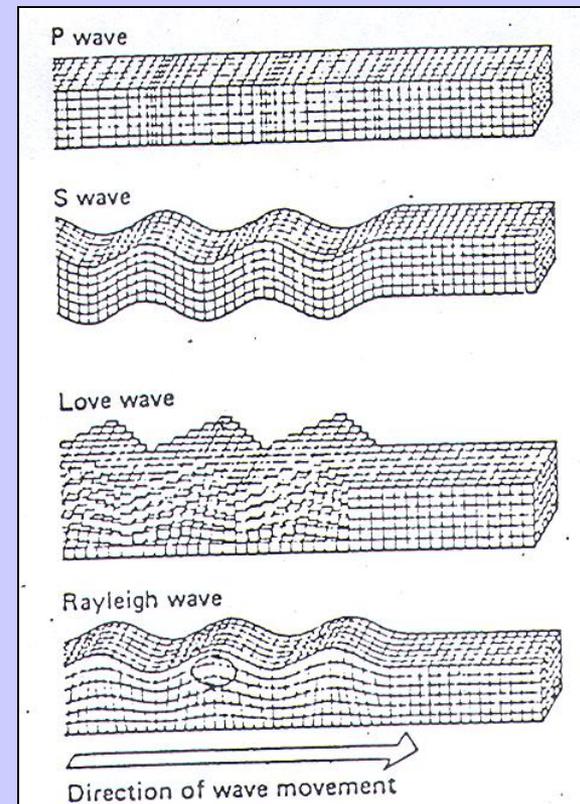
Per grandi distanze varia con la  $\sqrt{R}$

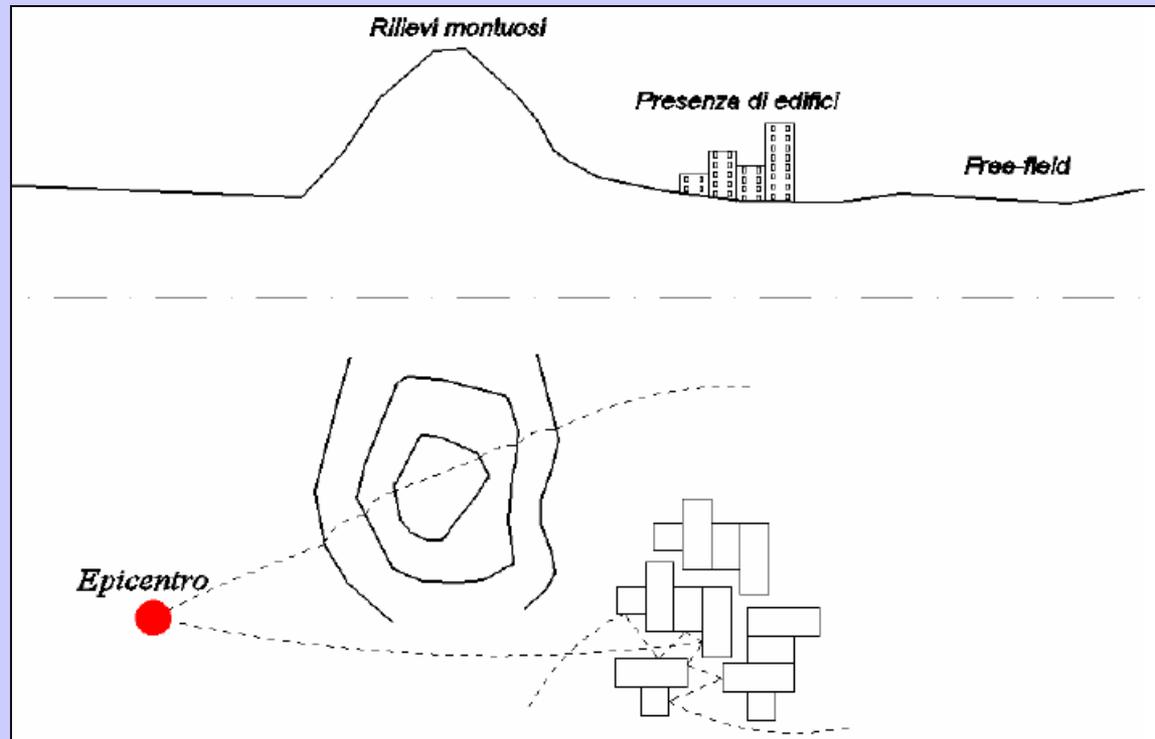
Le onde di superficie interessano per la proprietà di attenuazione, che segue il logaritmo di  $R$  per piccole distanze dall'epicentro (ovvero dalla zona in cui le onde emergono in superficie) e la  $\sqrt{R}$  per grandi distanze dall'epicentro.

Se si confrontano tali relazioni con gli ordini di grandezza delle leggi di attenuazione delle onde di volume ci si accorge che le onde di superficie si smorzano più lentamente.

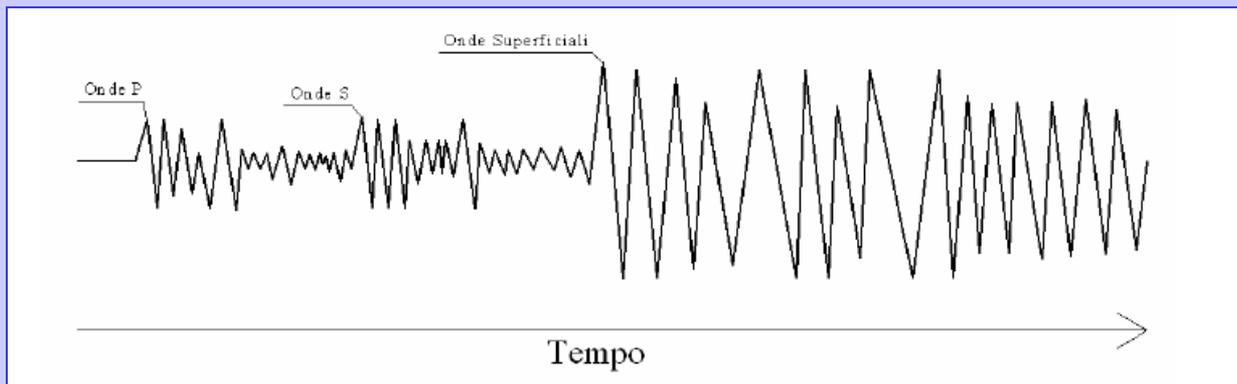
**Ciò determina la maggiore importanza delle onde di superficie, rispetto a quelle di volume, per punti lontani rispetto all'epicentro in terremoti superficiali; viceversa in punti vicini all'epicentro per terremoti profondi.**

**Di conseguenza il tipo di treno d'onda che investirà la struttura ed il tipo di accelerogramma riferibile al sito varierà a seconda della distanza dall'ipocentro e dall'epicentro (dall'importanza mutua fra onde di volume e di superficie).**





**Fattori che influenzano la propagazione delle onde superficiali**



**Tempi di arrivo per diversi tipi di onde**