

## ***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.**

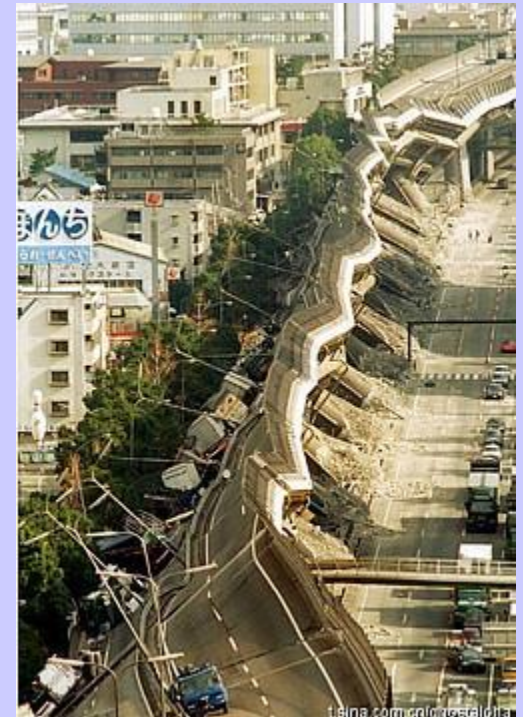


**L'Aquila (2009)**

**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.**

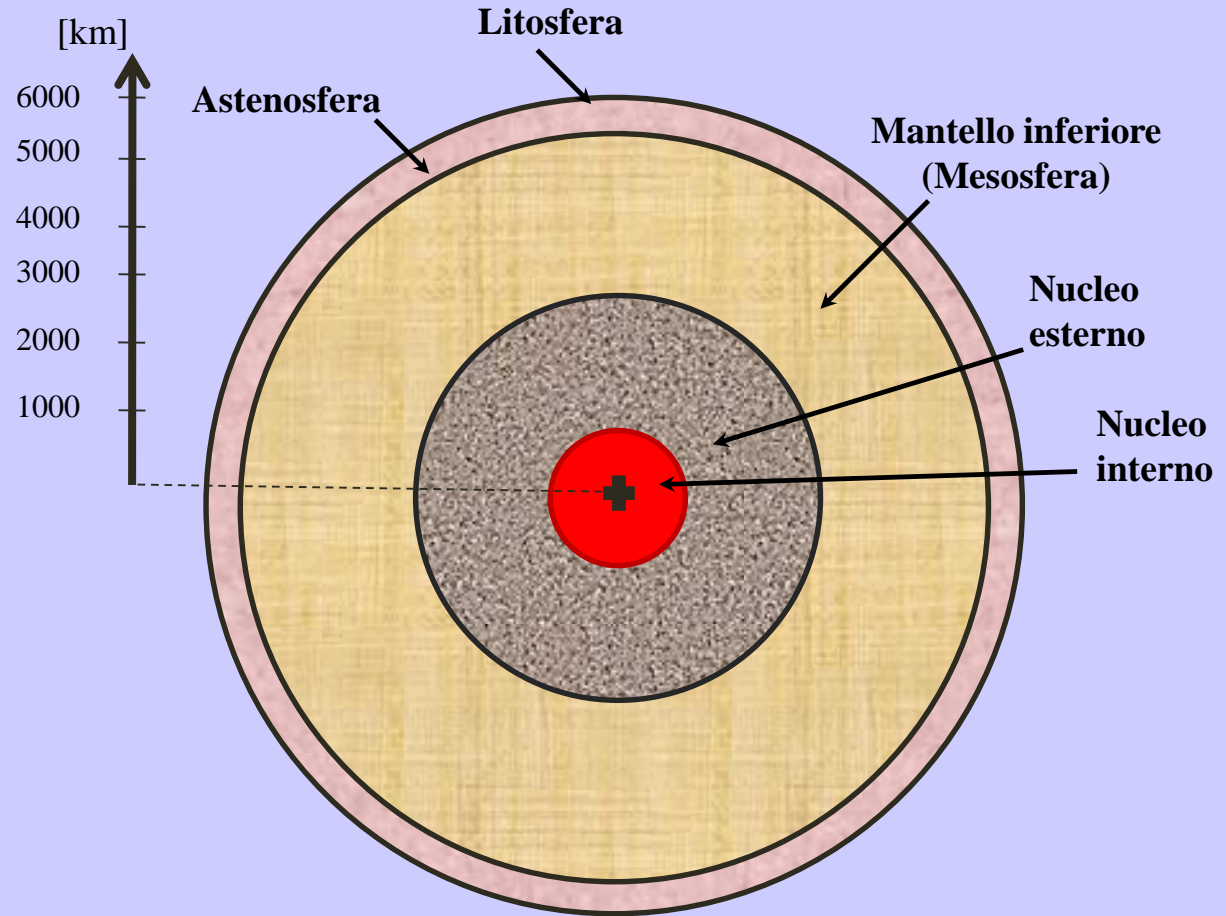
**I terremoti hanno frequenza giornaliera sul pianeta, ma molti di essi sono brevi e quasi impercettibili. Nel caso di terremoti più forti, la durata può essere di alcuni minuti e l'intensità varia a seconda della distanza dal punto in cui si genera.**



**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.

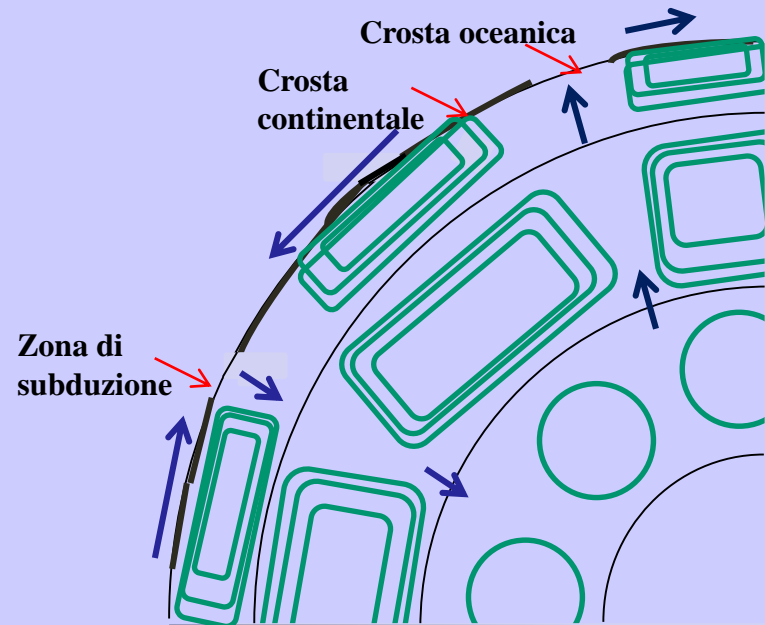


E' noto come una sezione della terra passante per il suo centro presenti le seguenti stratificazioni: 1. Litosfera (Crosta terrestre + Mantello litosferico); 2. Astenosfera; 3. Mantello inferiore (Mesosfera); 4. Nucleo esterno; 5. Nucleo interno.

**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.**

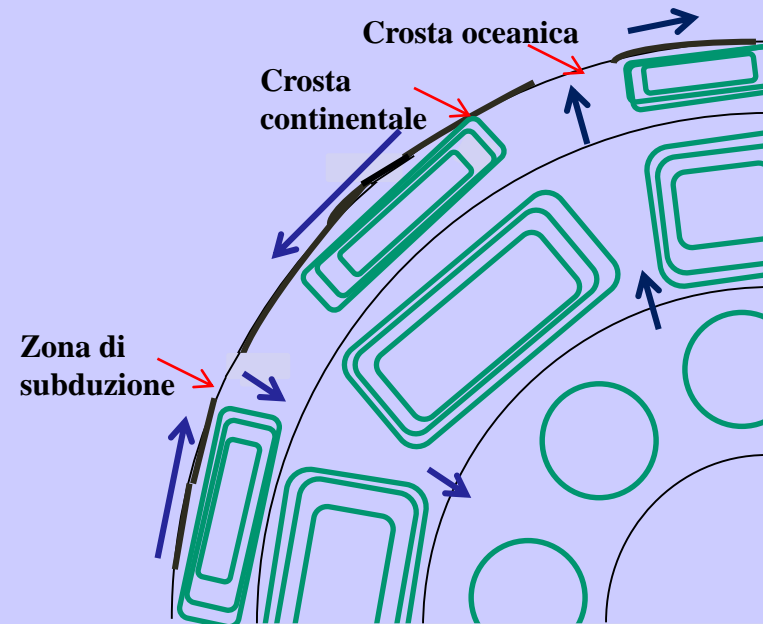


**La zona più calda è naturalmente quella del *Nucleo*.**

**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.



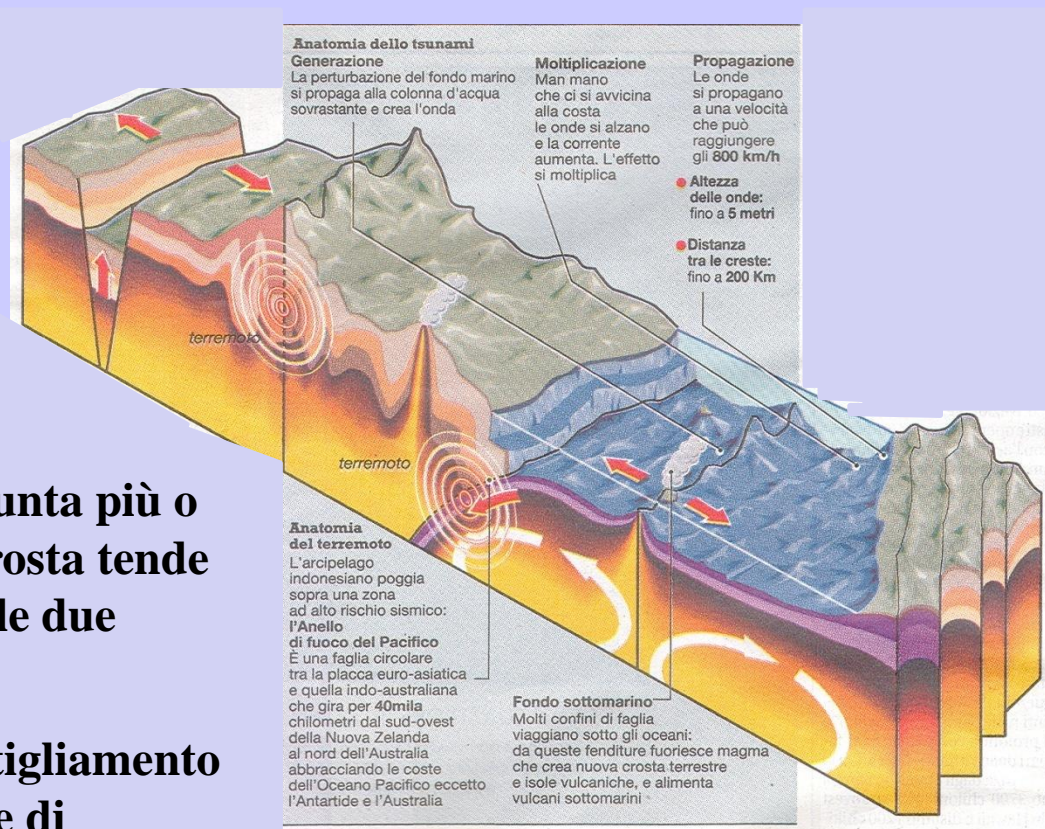
Nel momento in cui i liquidi vengono a contatto con il solido rappresentato dalla crosta terrestre, sorgono invece problemi dal contrasto fra una zolla e l'altra, procurato dal trascinamento del fluido sottostante, oppure dalla rottura della crosta stessa che non ha resistenza e rigidità sufficienti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

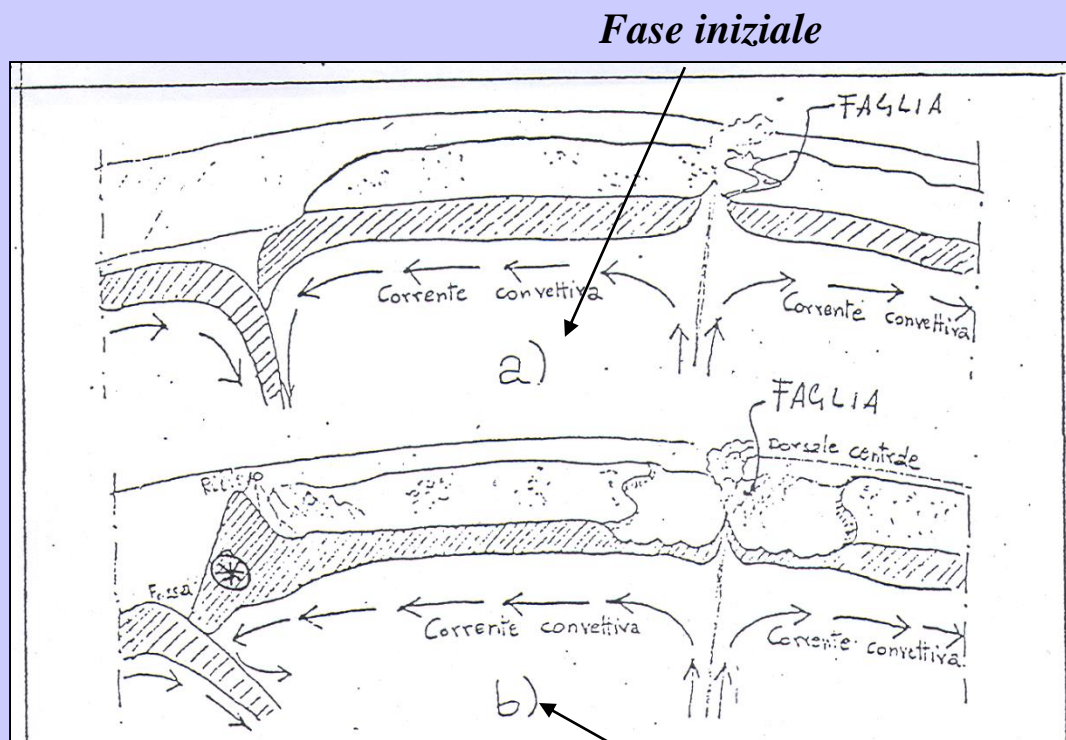


Una dorsale oceanica è dove abitualmente si collocano isole costituite da vecchi vulcani spenti, e vulcani sottomarini. Man mano che il vulcano invecchia, e quindi si allontana dalla zona della corrente convettiva in azione, la sua alimentazione diminuisce e tende ad estinguersi.

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*

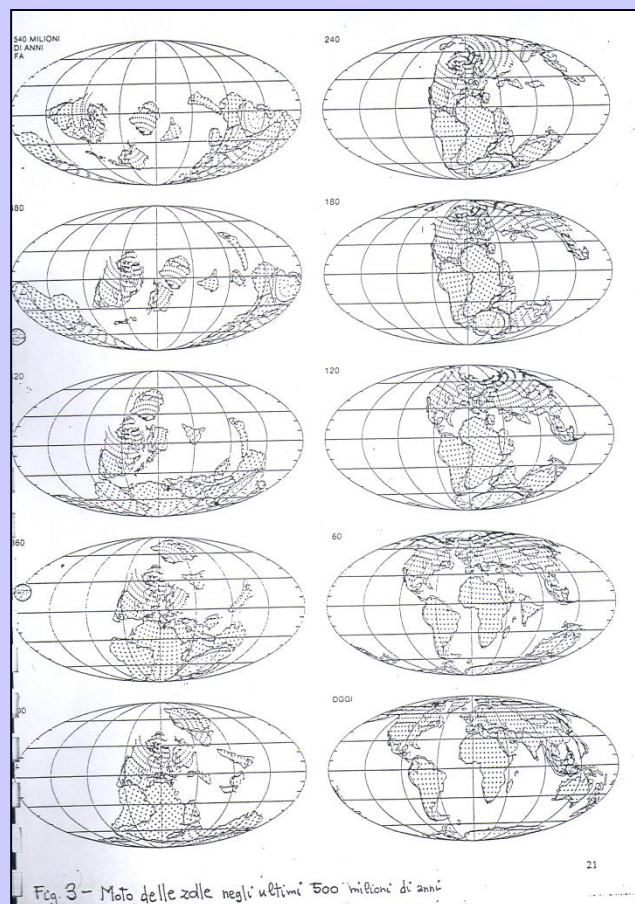
**Le zolle traslano e ruotano. La rotazione deriva da un movimento della crosta, in senso ortogonale al piano del disegno, che avviene lungo linee, dette “faglie trasformi” perché trasformano un movimento di traslazione in un altro di rotazione.**

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



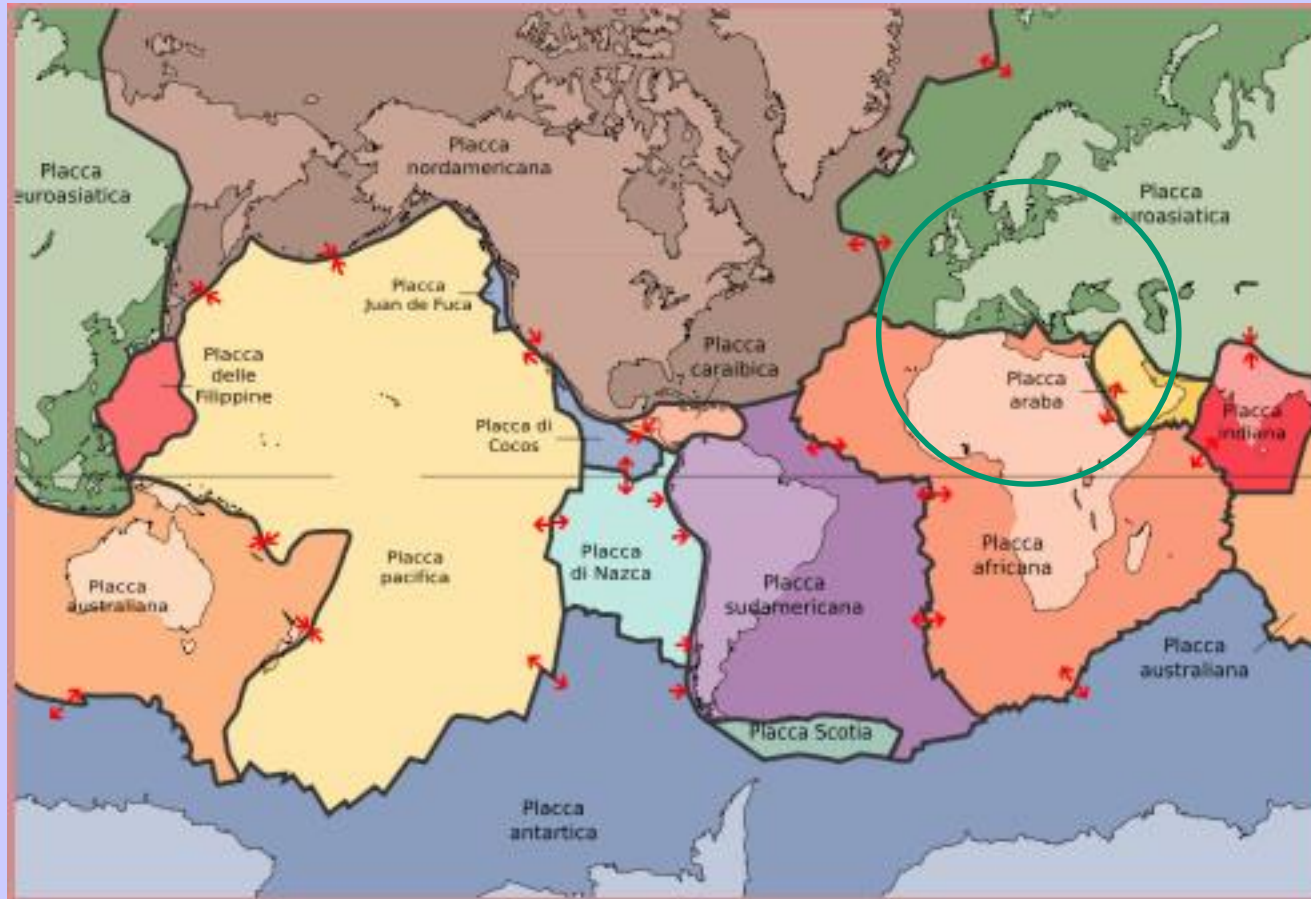
**Il risultato complessivo è quello indicato in figura, ove viene ripercorsa l'evoluzione dei movimenti della terra a partire da 480 milioni di anni fa, fino ad oggi.**

**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.**

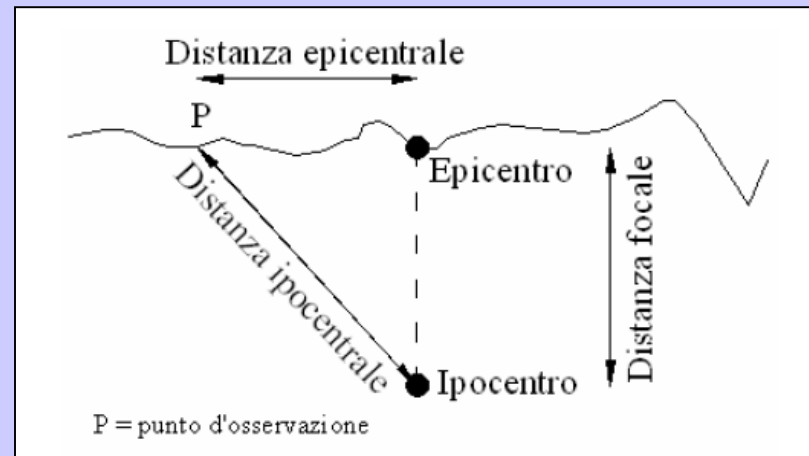
Gli **epicentri** indicano la posizione sulla superficie terrestre che corrisponde alla verticale dal punto in cui il terremoto ha origine.

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.

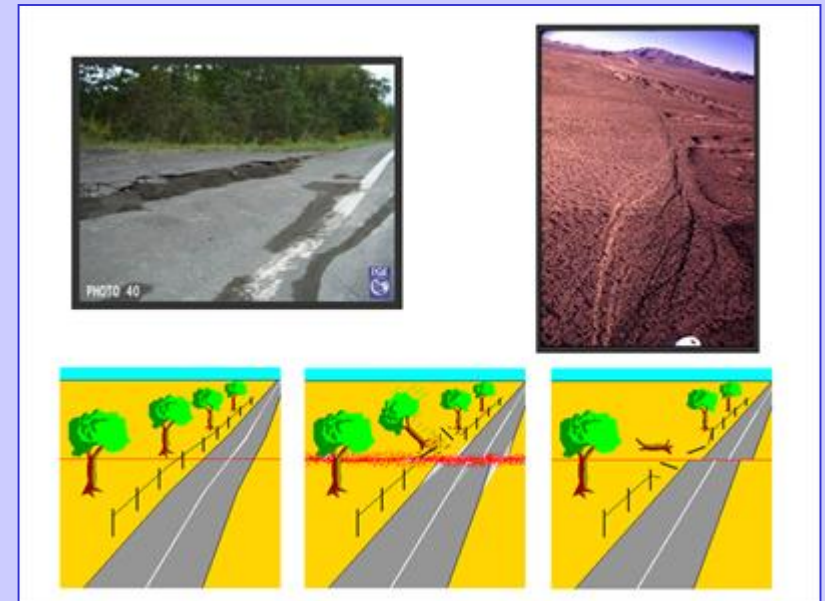
Percorrendo l'autostrada che passa accanto a questa faglia si osserva che ai due lati della gola, al fondo della quale c'è la faglia, c'è una vegetazione profondamente diversa che pone ancor più in risalto la differenza delle due formazioni che si fronteggiano e si muovono l'una rispetto all'altra.

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.

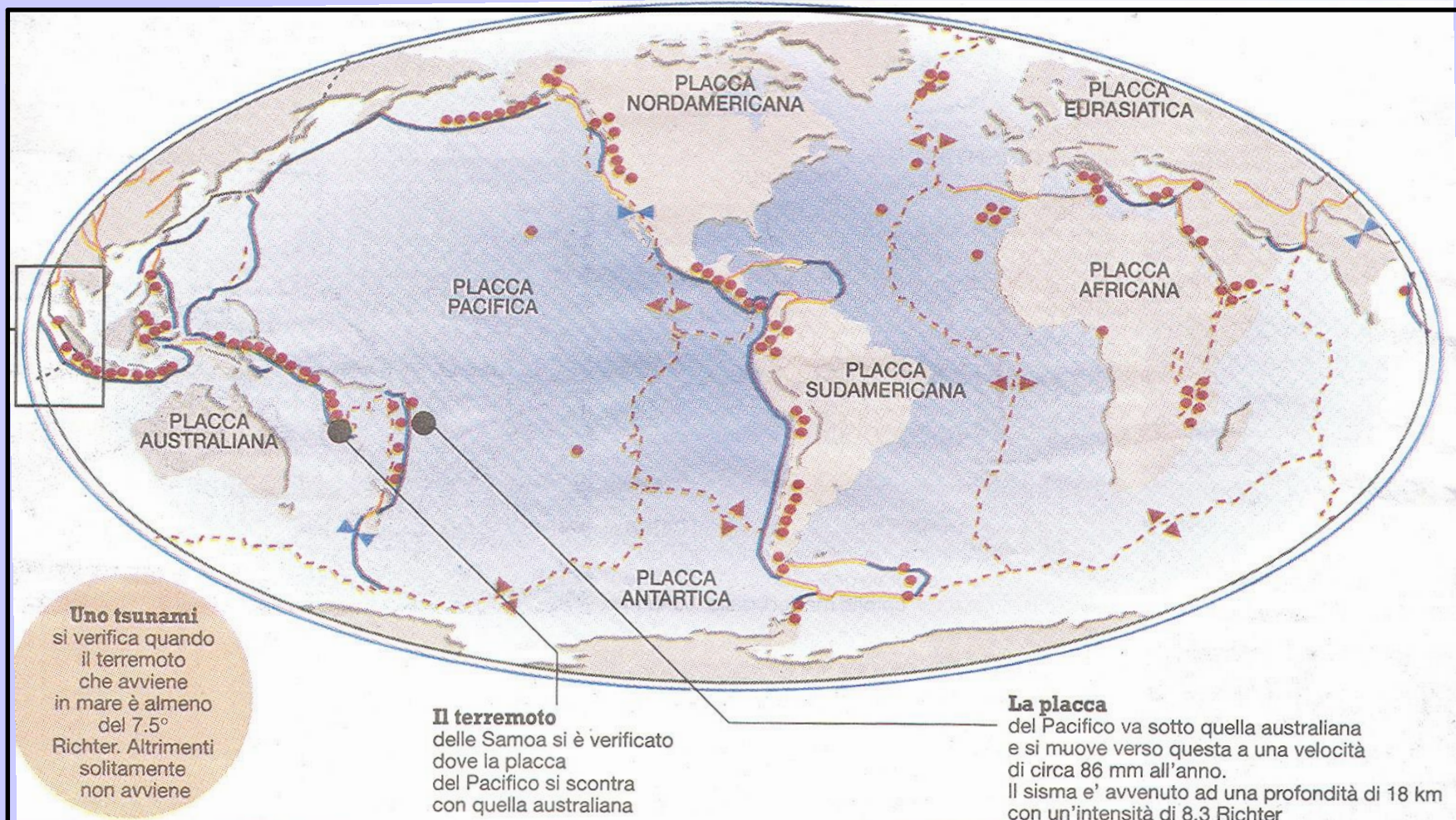
Naturalmente non raggiunge subito la sua posizione di equilibrio, continuando ad oscillare per un tempo dell'ordine di 20÷30 secondi in rapporto all'entità dell'energia che sta rilasciando.

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*).

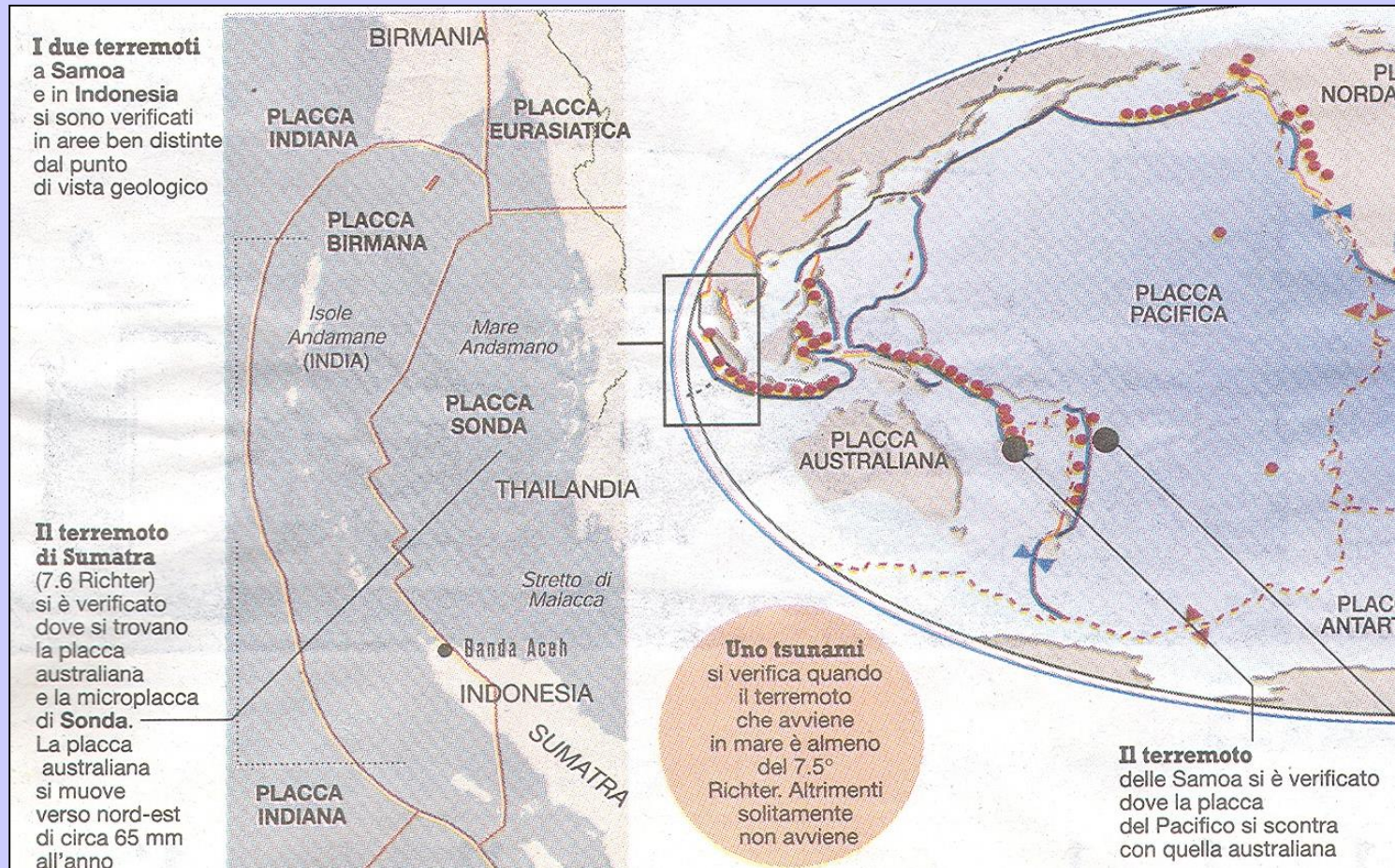
La teoria all'epoca non venne accettata per il fatto che non si conosceva il motore dello spostamento delle zolle, ora identificato nelle correnti convettive che dal nucleo portano calore in superficie.

## Terremoti di Sumatra e Samoa (2009)

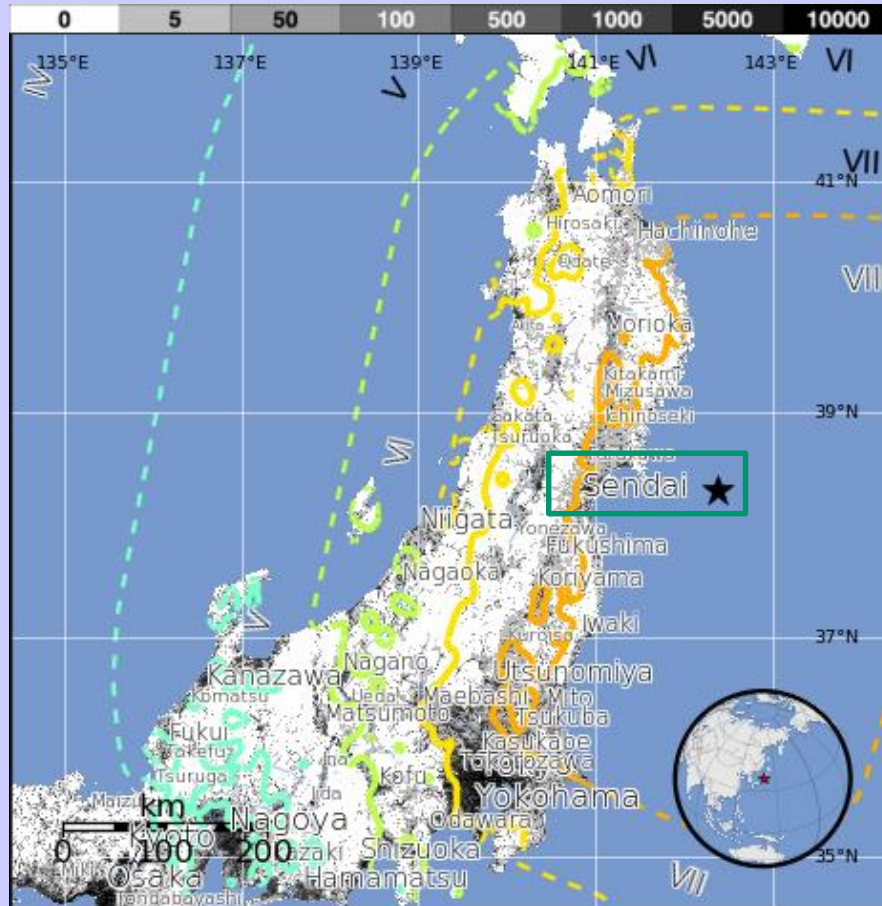


Le frecce riportate nella mappa mettono in risalto le posizioni delle faglie e come si svolga il movimento, ovvero se ci si trovi in una zona di creazione o meno di zolla (frecce uscenti od entranti).

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



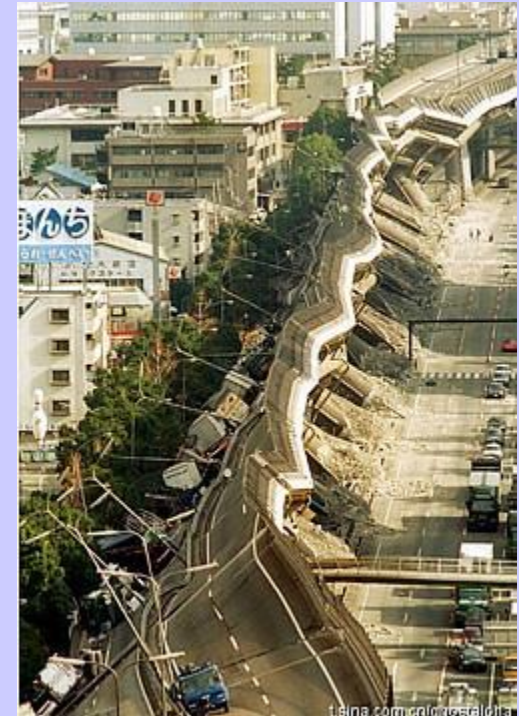
## ■ *Terremoto del Giappone (11 marzo 2011)*



**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.

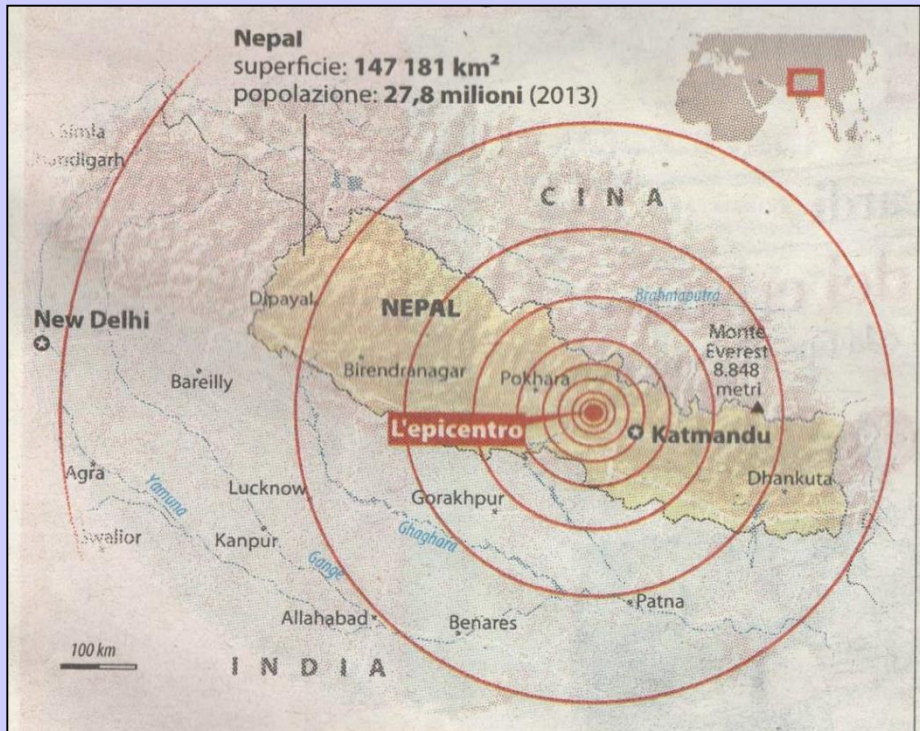
Nella provincia indonesiana di Papua e di Tobati, anch'esse raggiunte dallo Tsunami, gli abitanti si sono rifugiati sulle colline antistanti osservando impotenti l'onda anomala che distruggeva le loro abitazioni.



▪ ***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*).



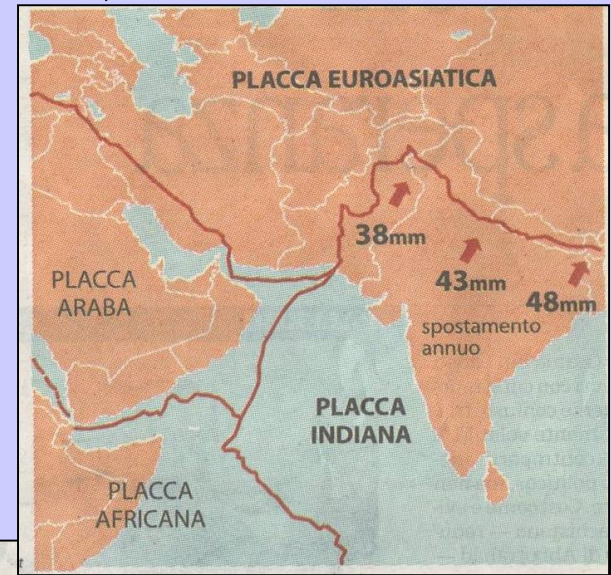
In Nepal sono rimasti pesantemente colpiti 35 dei 75 distretti per lo spostamento della massa himalayana che ha trovato sfogo a soli 10 km sottoterra, provocando effetti ancor più diffusi e violenti in superficie.

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)*

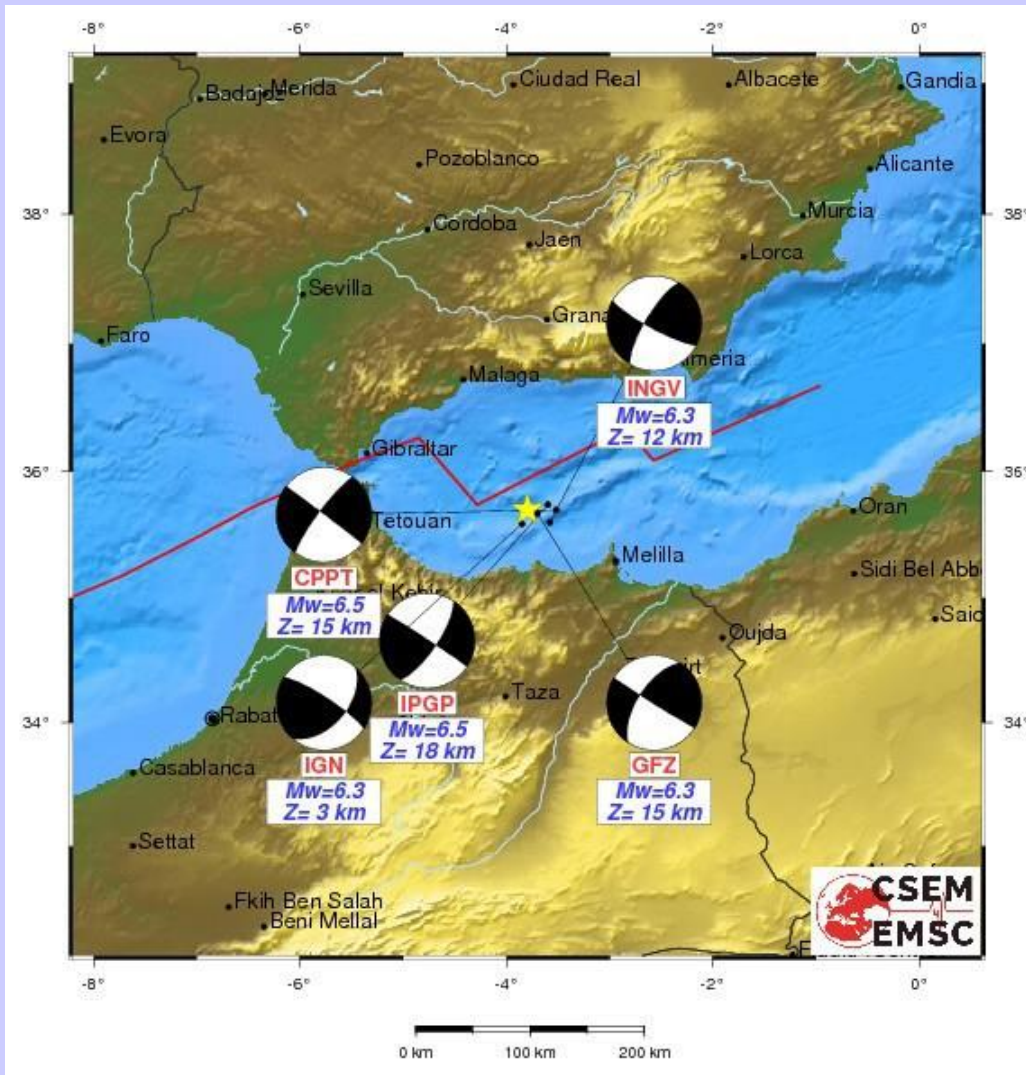
Questo terremoto è avvenuto circa 12 anni **dopo il terremoto di M 6,3 di Al Hoceima che il 24 febbraio 2004** ha colpito la costa settentrionale del **Marocco** causando più di 630 vittime. L'epicentro del terremoto del 25 gennaio 2016 si situa circa 50 km a nord dell'epicentro del terremoto del 2004 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.



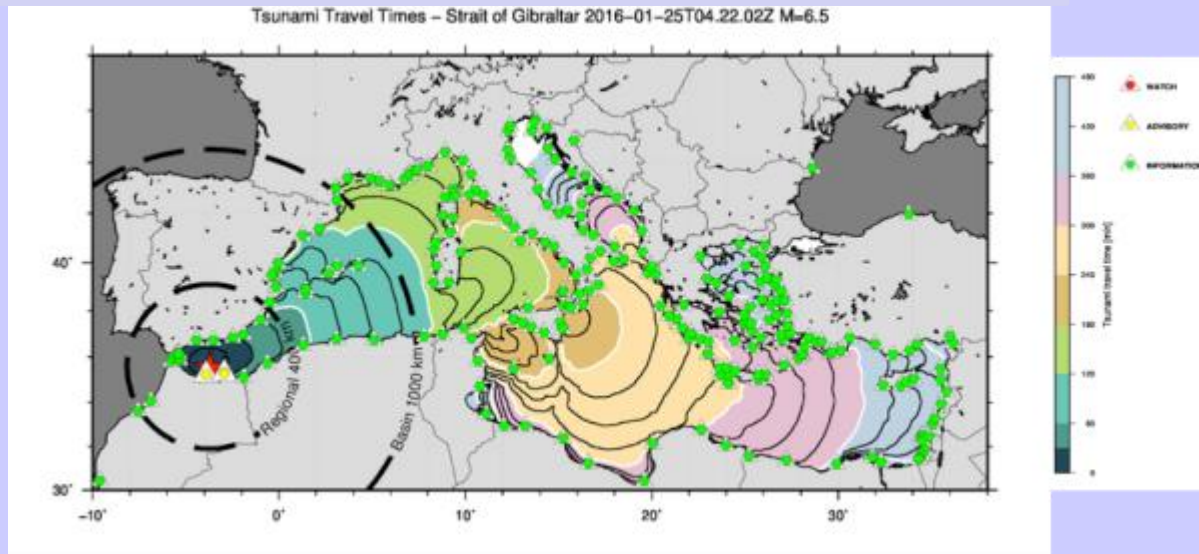
## *Evento sismico nello Stretto di Gibilterra, M 6,3 (25 gennaio 2016)*



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.*

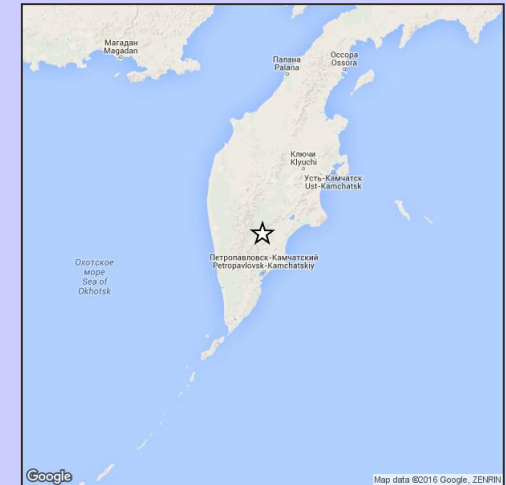
La magnitudo indicata in figura è quella calcolata in via preliminare; la magnitudo definitiva calcolata dal CAT è di 6,3

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***

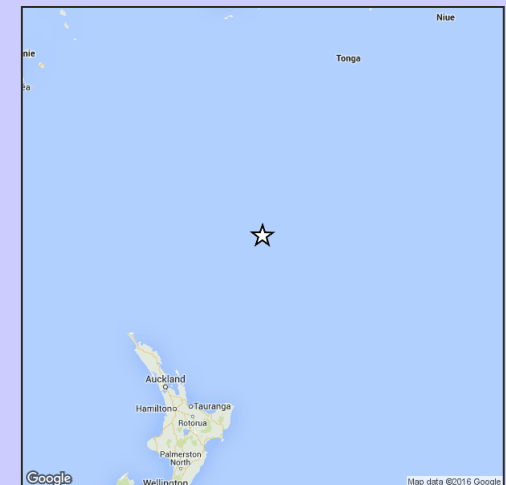
Un terremoto di magnitudo  $M_w$  **6,9** è avvenuto nella  
provincia/zona **Near east coast of Kamchatka  
Peninsula, Russia** il **30-01-2016 04:25:10 (UTC  
+01:00) ora italiana**

**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).

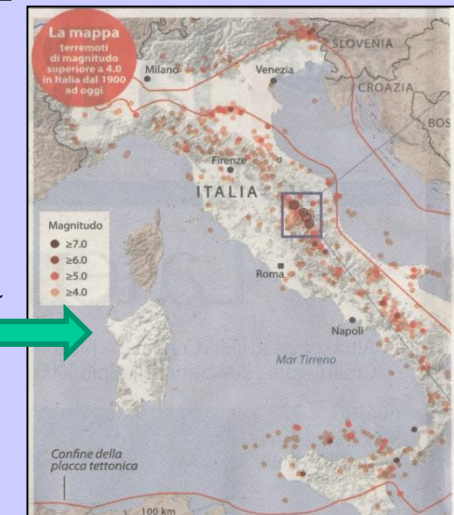
La prima forte scossa si è avuta il 24 agosto 2016 ed ha avuto una magnitudo di 6,0, con epicentro situato lungo la Valle del Tronto, tra i comuni di Accumoli (RI) e di Arquata del Tronto (AP).



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.

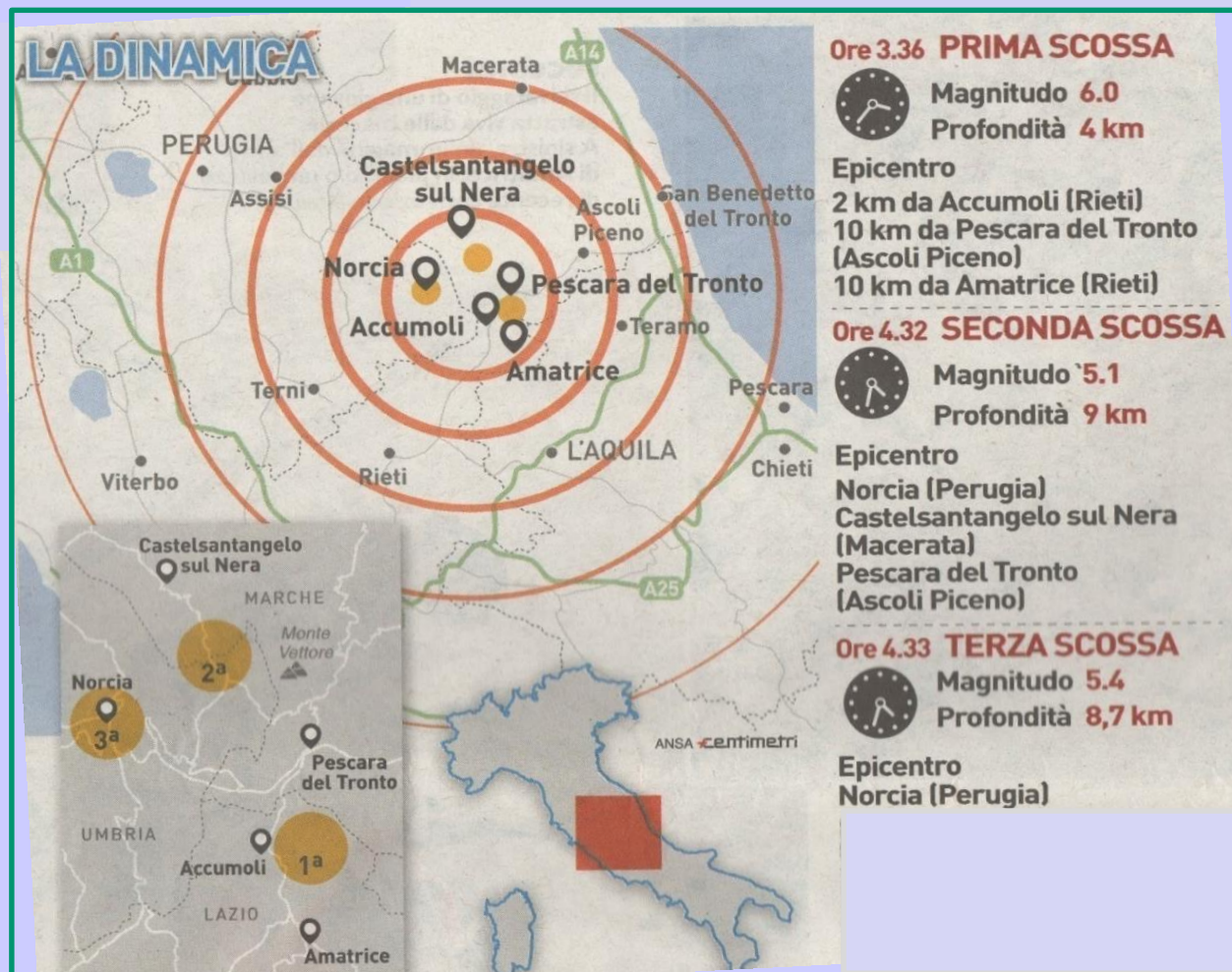
Del grande terremoto che ha distrutto Messina all'inizio del XX secolo, qualcuno dice ancora che sia stata una punizione divina.

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*



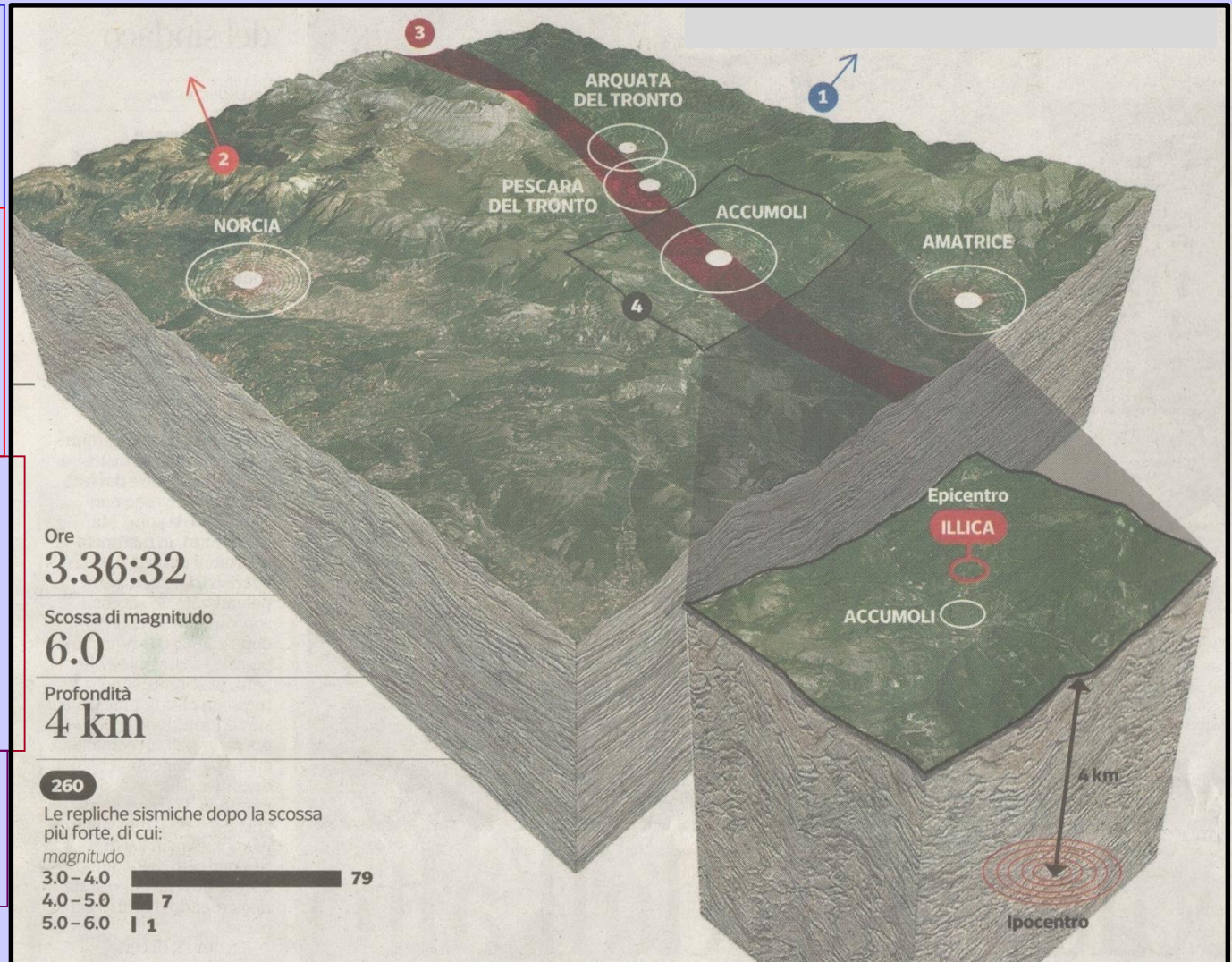
# Terremoto del Centro Italia, 24 agosto 2016 (prima scossa alle 3:36:32) - M 6,0 Ipocentro a 4 km di profondità, epicentro ad Illica vicino ad Accumoli

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

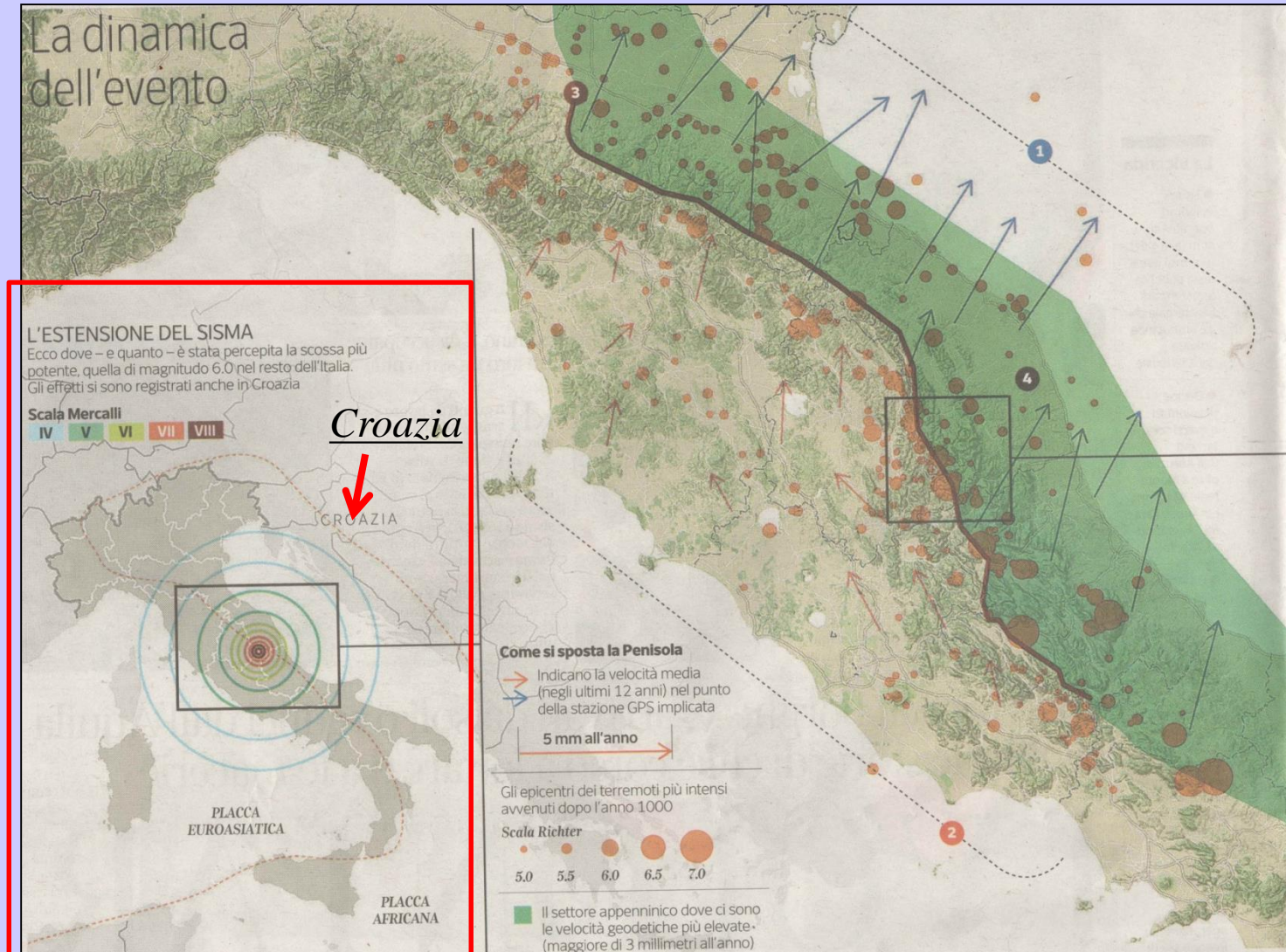
2. Si ha quindi una divergenza di 2-3 mm/anno.





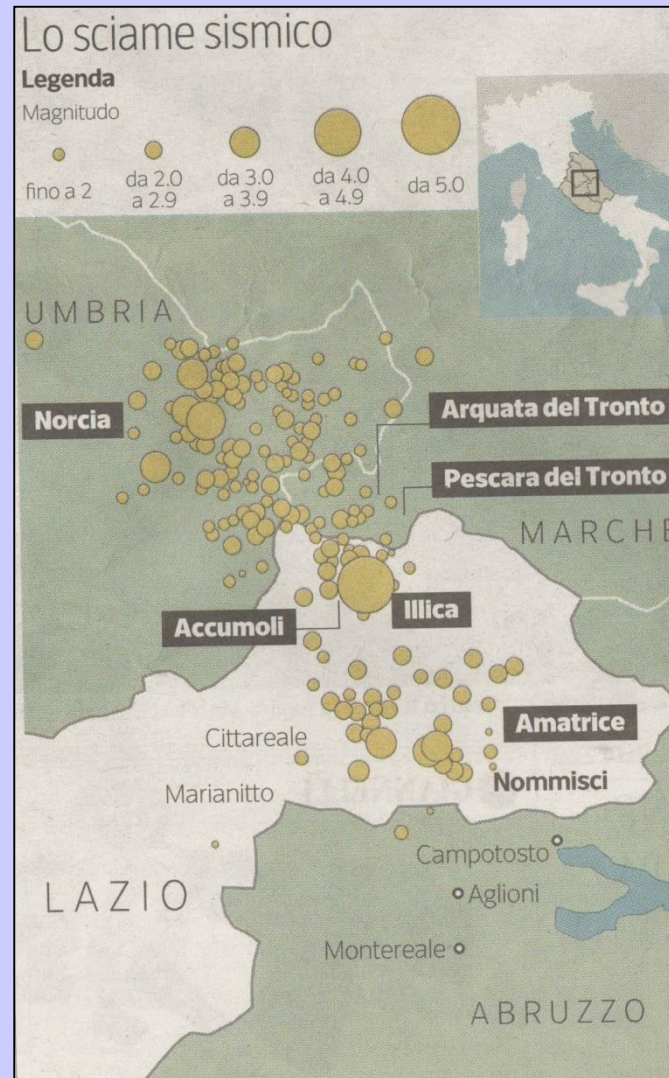
# Terremoto del Centro Italia (agosto 2016-gennaio 2017)

## scossa del 24 agosto 2016



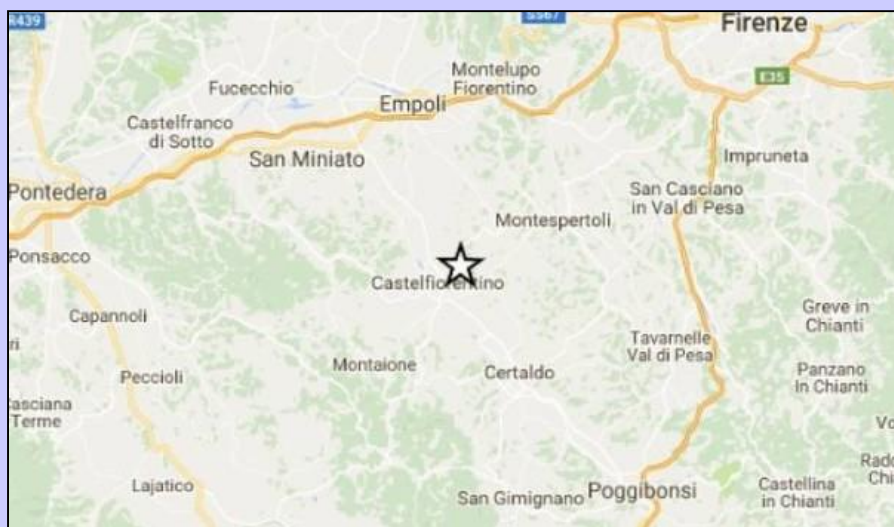
# *Terremoto del Centro Italia (agosto 2016-gennaio 2017)*

## **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.

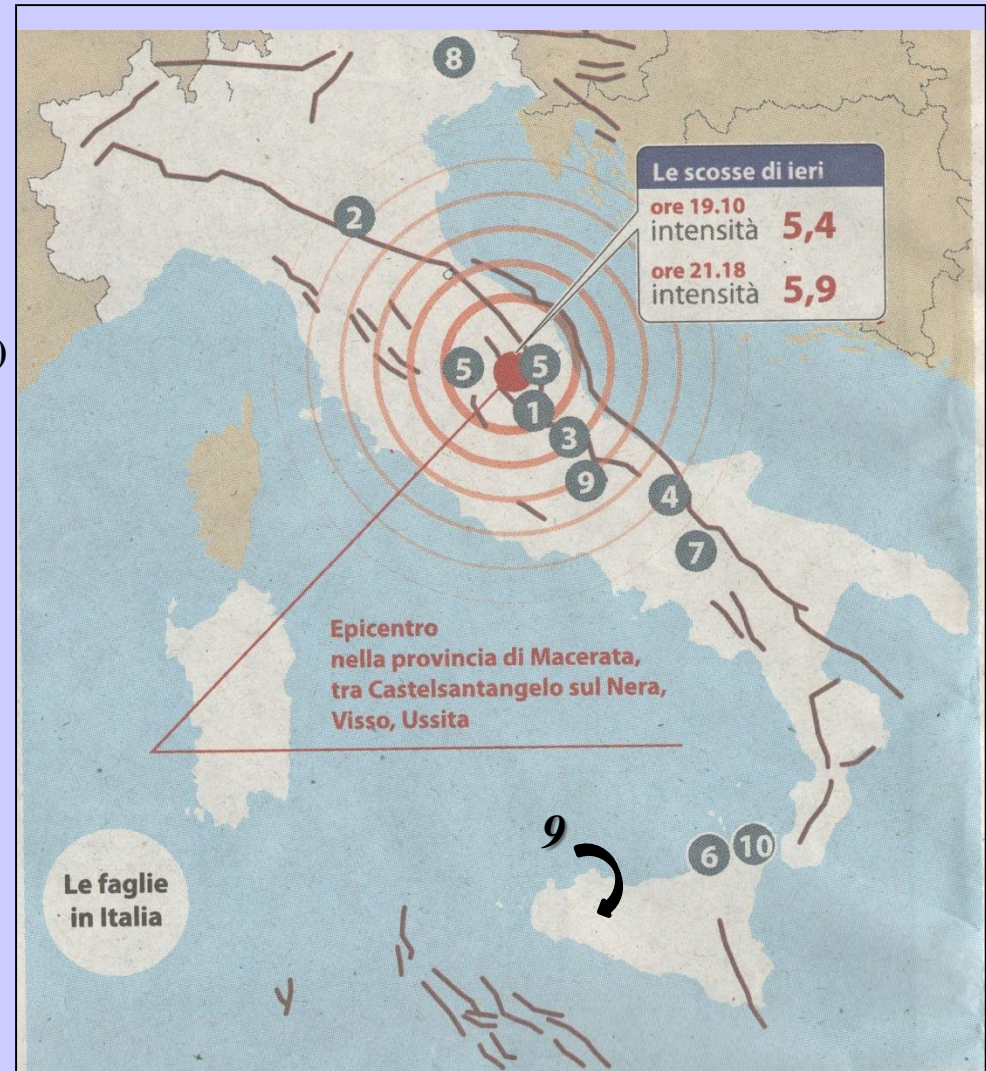
*Nel comune dell'epicentro non sono stati registrati danni a persone o cose.*

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

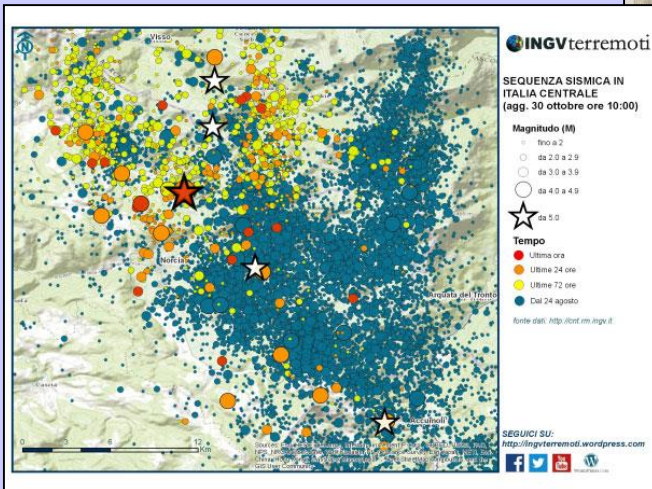


# Principali terremoti in Italia dal '900 al terremoto del Centro-Italia

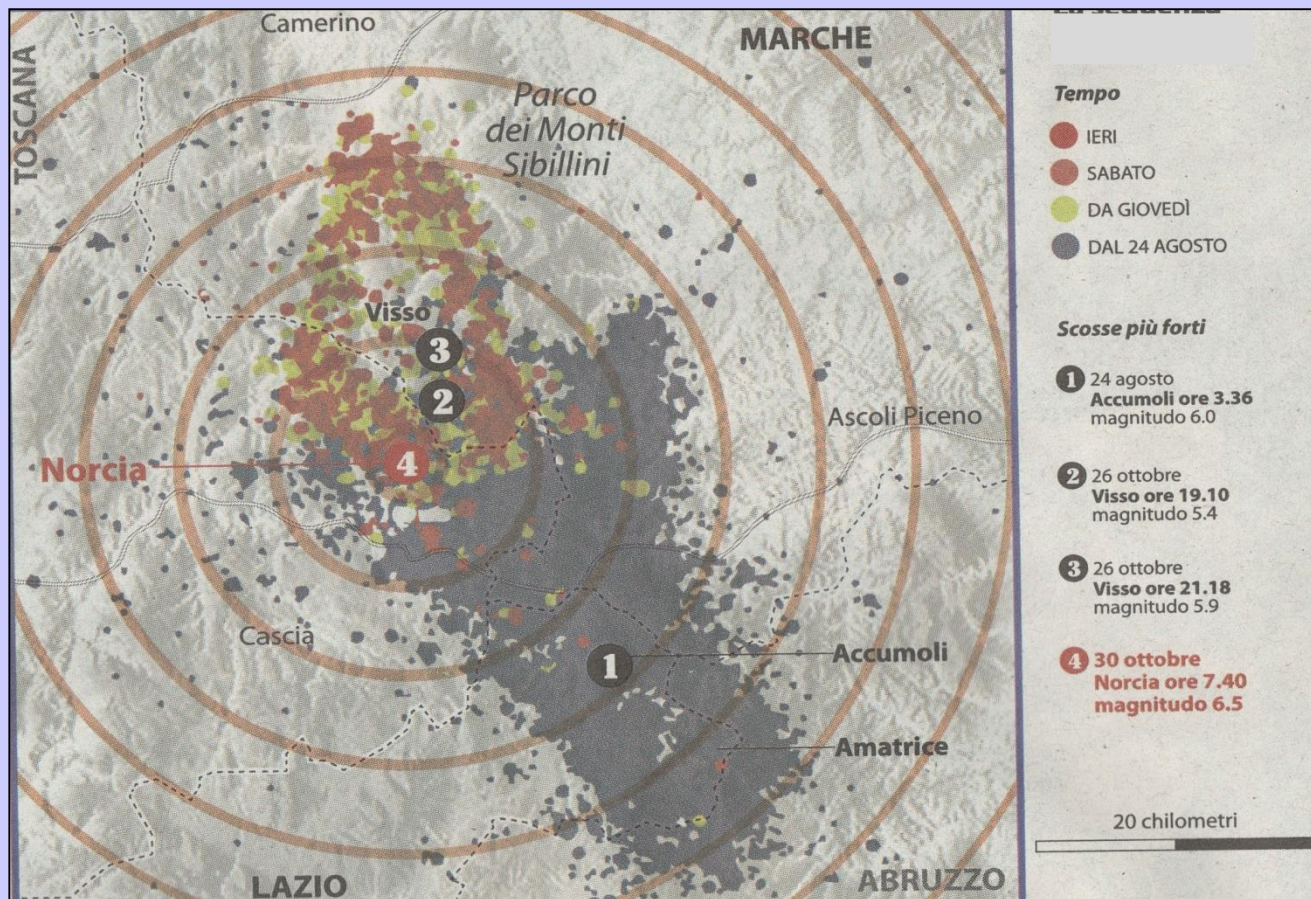
- 1.** 24/08/2016 Amatrice (M=6) 298 morti  
30/10/2016 Norcia (M=6,5) 0 morti  
18/01/2017 L'Aquila (M=5,4)  
morti per la valanga di Rigopiano
- 2.** 20/05/2012 Emilia Romagna  
(M≈M<sub>w</sub>=5,9) 27 morti
- 3.** 06/04/2009 Abruzzo (M=5,9; M<sub>w</sub>=6,1) 309  
morti
- 4.** 31/10/2002 San Giuliano 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



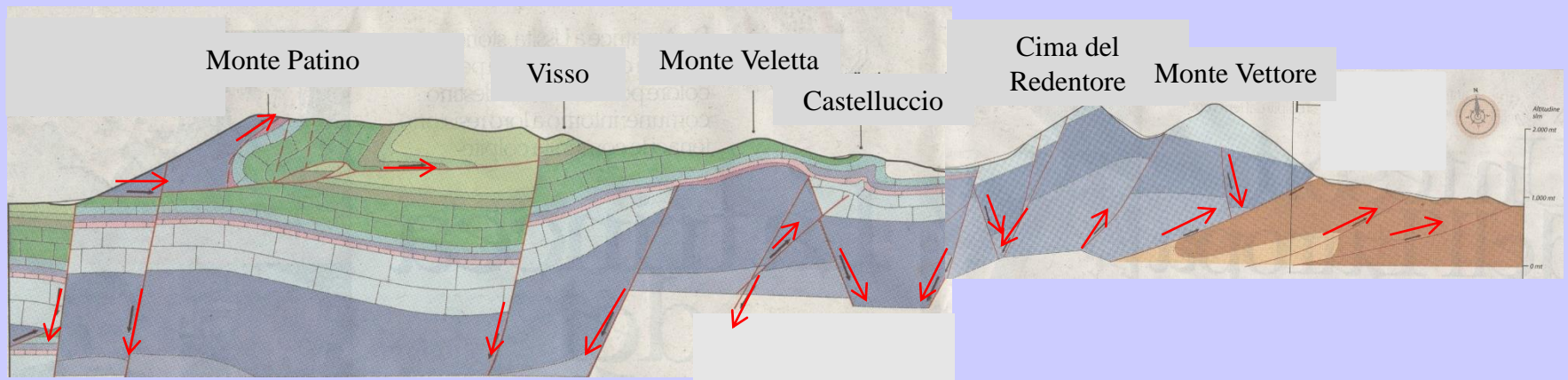
# Terremoto del Centro Italia, 30 ottobre 2016 (ore 06:40:18) – M=6,5; Ipocentro a 9 km di profondità, epicentro a Norcia



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



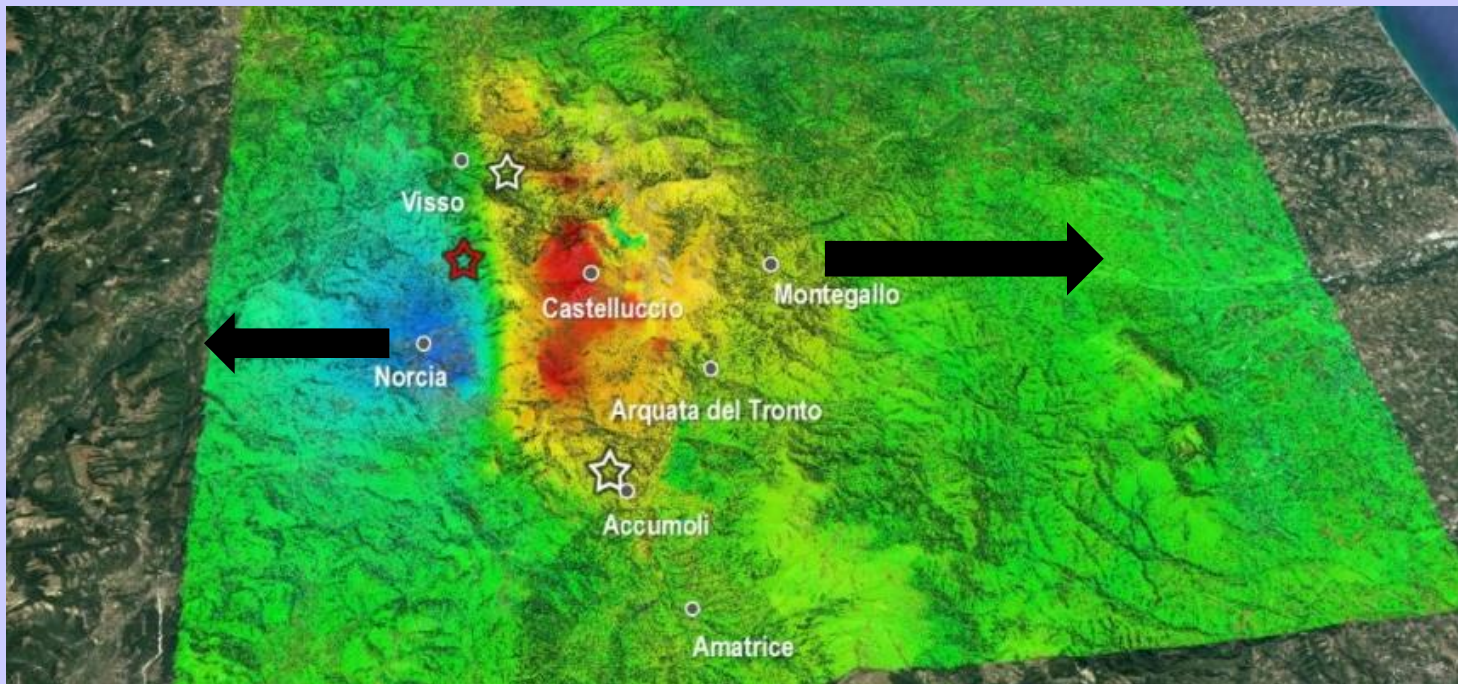
***Terremoto del Centro Italia, 30 ottobre 2016 (ore 06:40:18) – M=6.5;  
Ipocentro a 9 km di profondità, epicentro a Norcia***



***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)



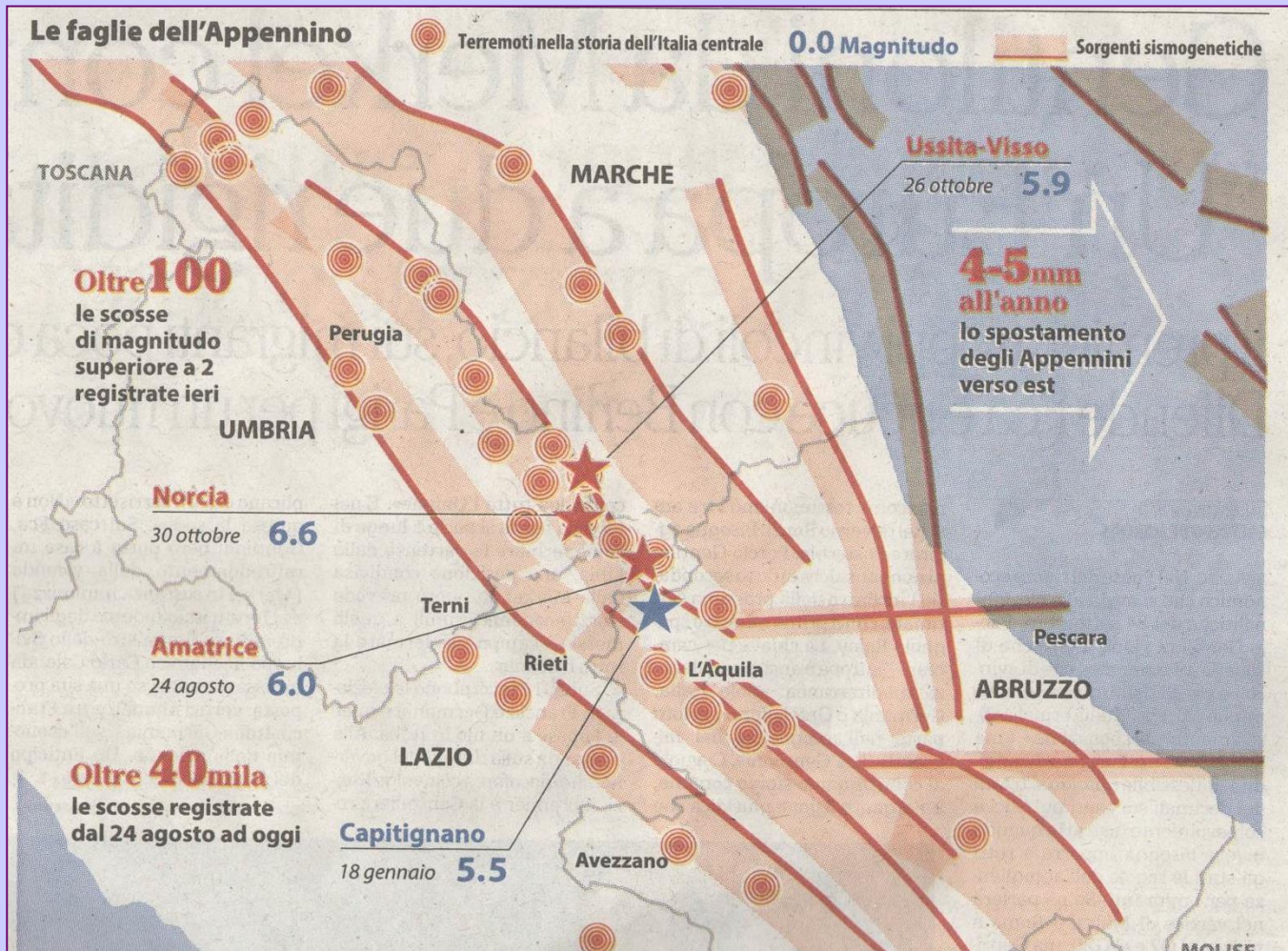
## *Terremoto del Centro Italia (agosto 2016-gennaio 2017)*

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



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

**5-6km**  
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 10km**  
la profondità dell'ipocentro delle quattro forti scosse di ieri

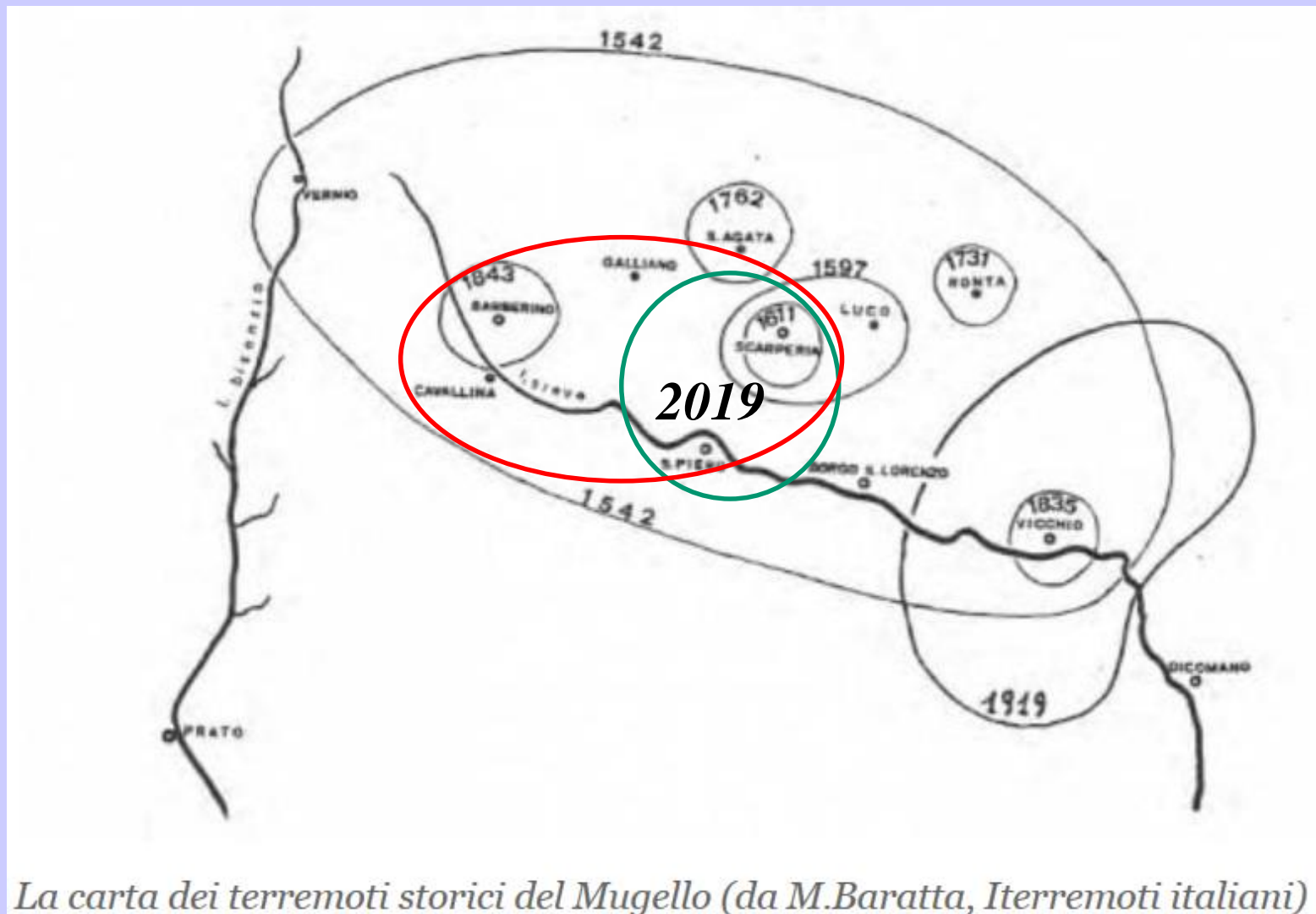
**6,7**  
la magnitudo dell'ultimo terremoto forte nella zona (1703)

**600km 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

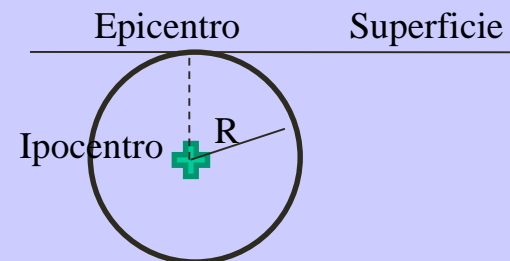
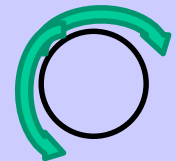
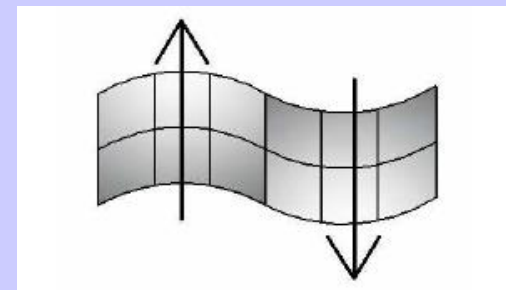
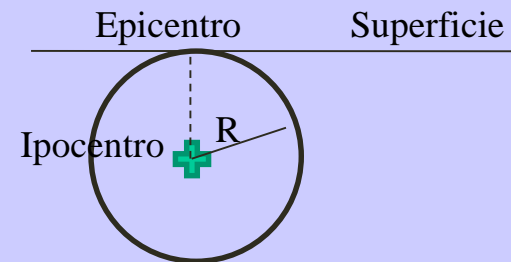
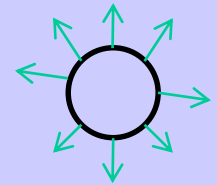
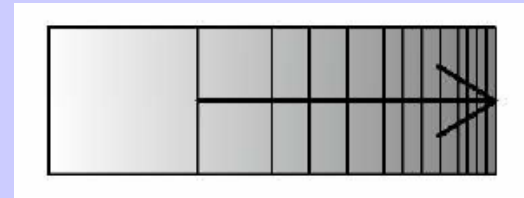
Vengono distinte in:

- **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



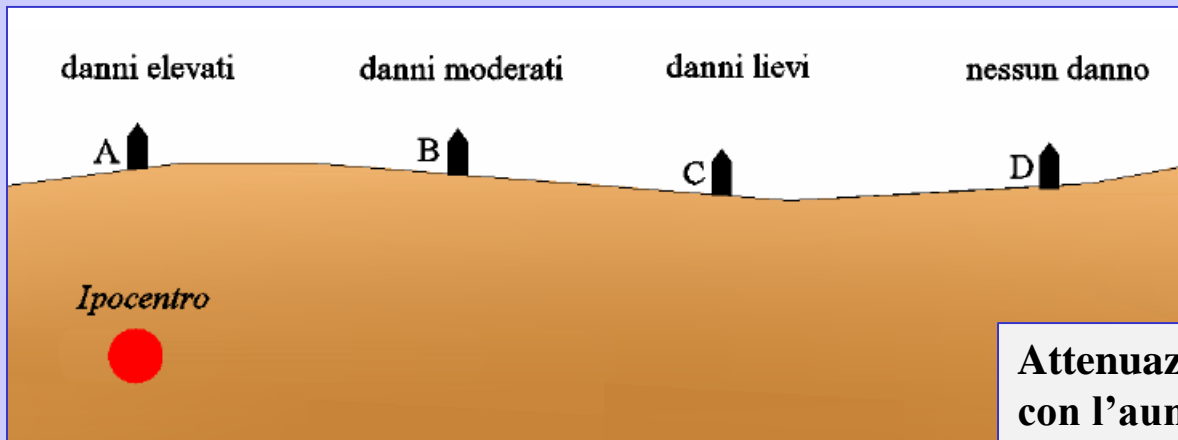
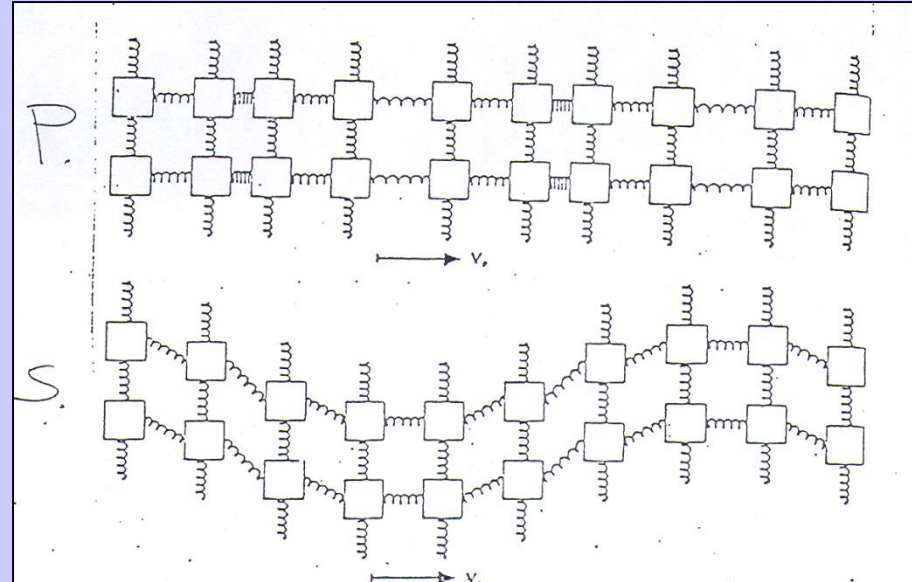
Per grandi distanze varia con  $R$

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.**



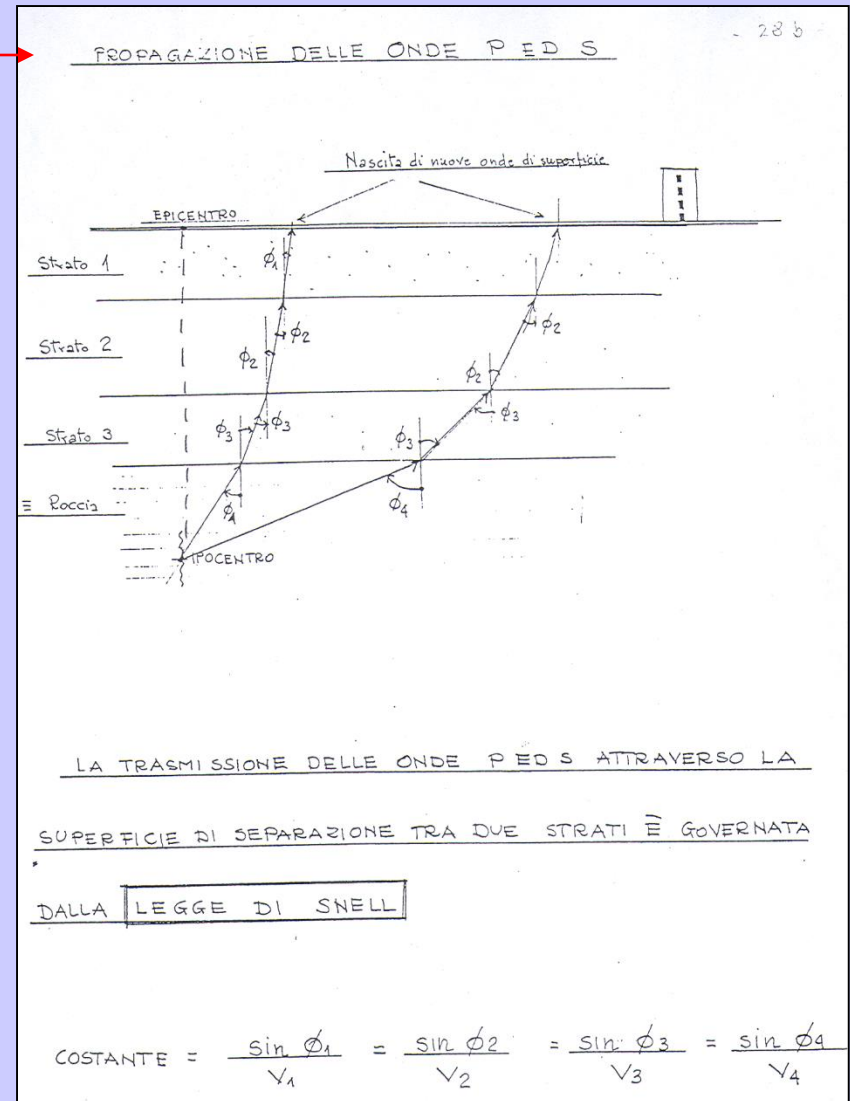
**Attenuazione delle onde sismiche con l'aumento della distanza**

## 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.**

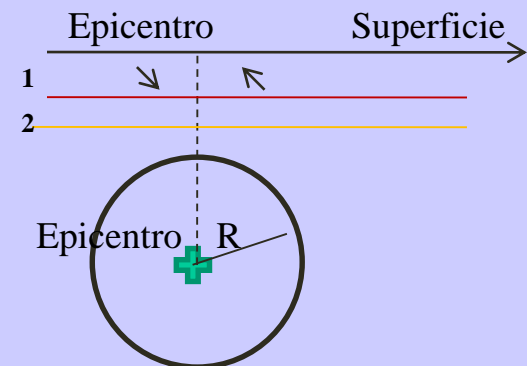
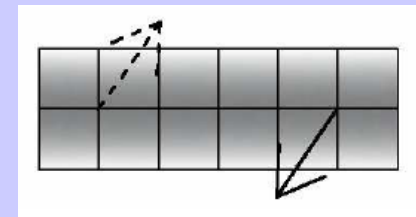
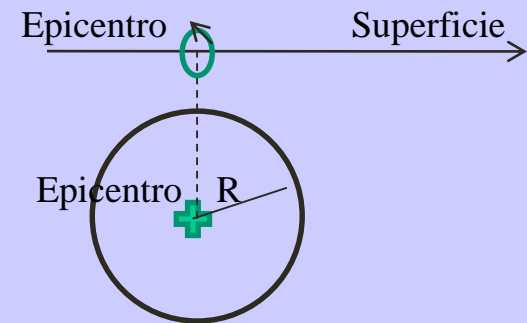
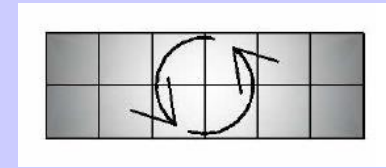
Le onde *P* ed *S* partono alla pari; essendo tuttavia più veloci, le onde *P* arrivano prima in superficie con una componente verticale prevalente rispetto alla componente orizzontale, in quanto la direzione di avanzamento tende ad essere verticale. L'onda tende ad emergere tangente alla superficie 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 →

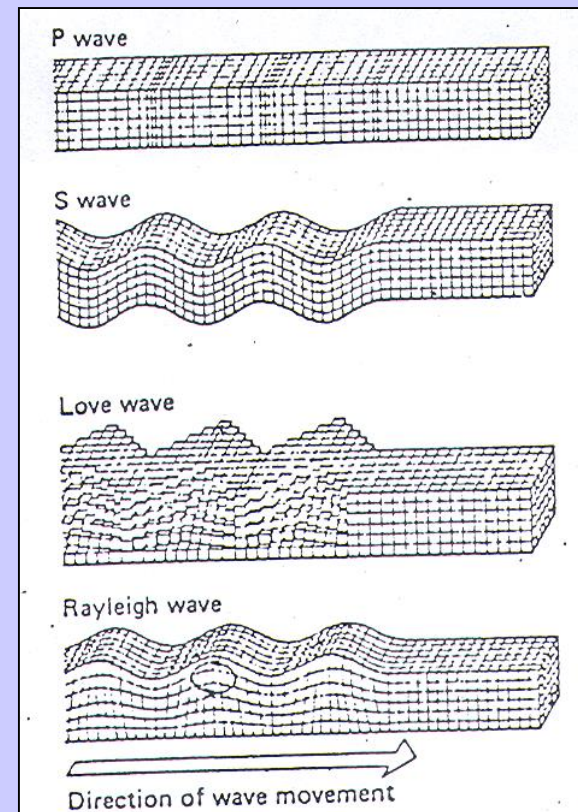
Per grandi distanze varia con la  $\sqrt{R}$

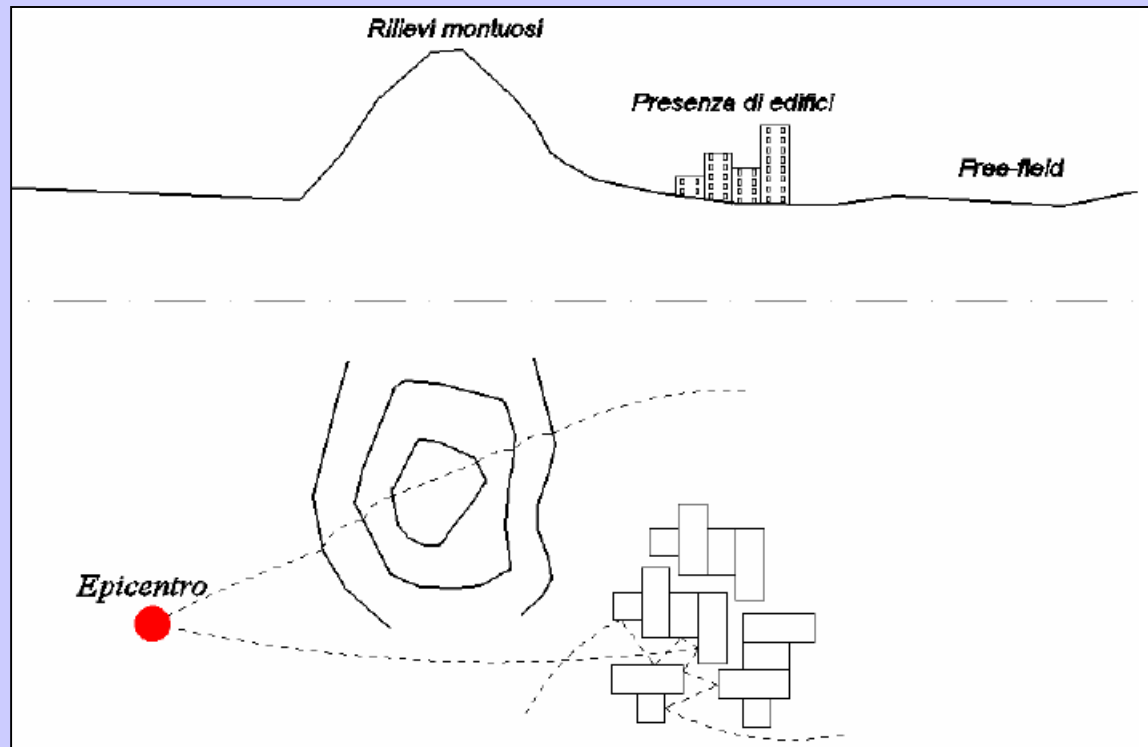
Le onde di superficie interessano per la proprietà di attenuazione, che segue il logaritmo di  $R$  per piccole distanze dall'epicentro (ovvero dalla zona in cui le onde emergono in superficie) e la  $\sqrt{R}$  per grandi distanze dall'epicentro.

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.

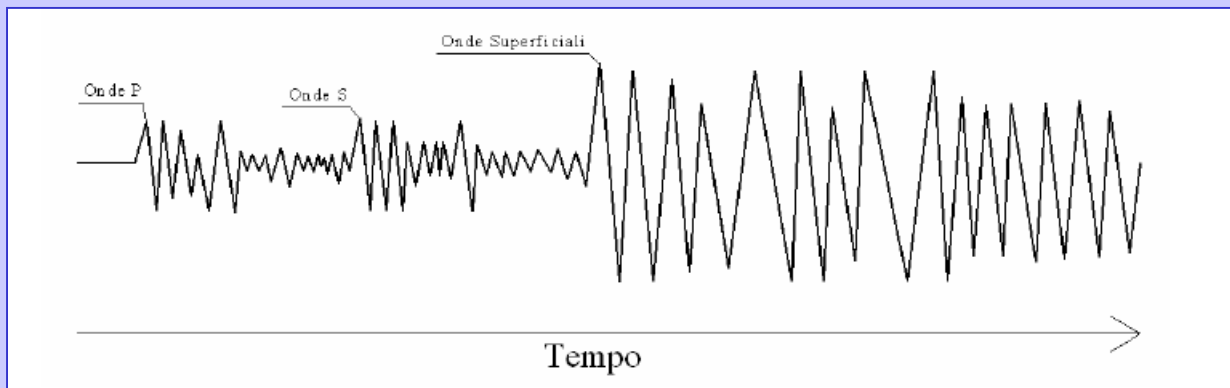
**Ciò determina la maggiore importanza delle onde di superficie, rispetto a quelle di volume, per punti lontani rispetto all'epicentro in terremoti superficiali; viceversa in punti vicini all'epicentro per terremoti profondi.**

**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**

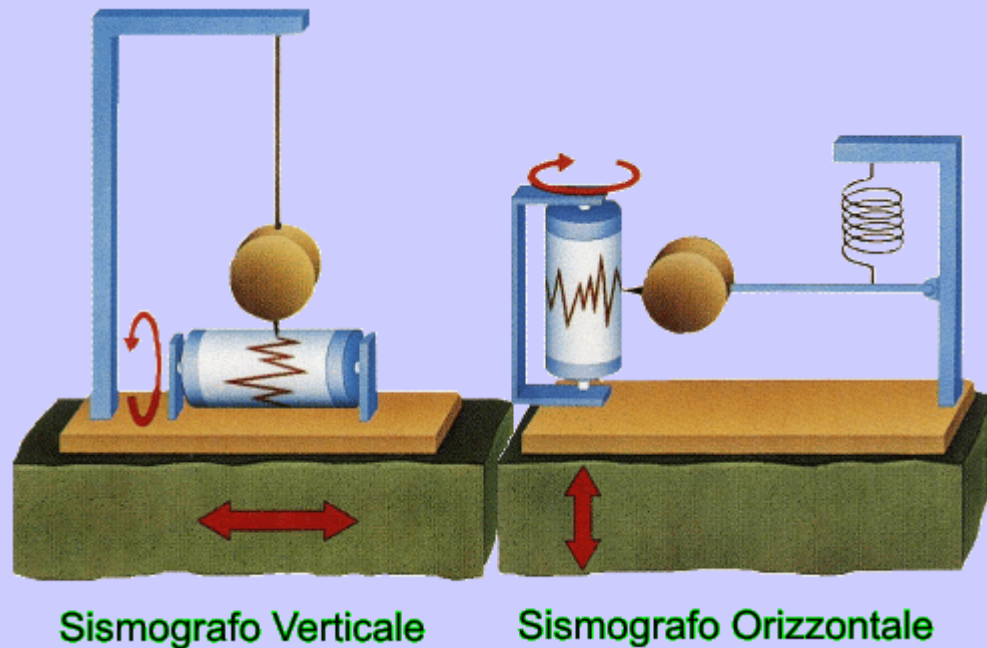
## ▪ *Strumenti di registrazione*

**Sismografi:** registrano gli spostamenti prodotti dal sisma secondo tre direzioni ortogonali (sismografo di Wood-Anderson risalente ai primi anni del 1900 – utilizzato fin dall’inizio per fare misurazioni di Magnitudo, è un utile strumento per avere dati comparabili a quelli storici)



**Primo sismografo cinese**

**Il primo sismografo fu inventato dal cinese Zhang Heng nel 132 d.C. In Italia, invece, l'invenzione di questo strumento viene attribuita al padre benedettino Don Andrea Bina, nella metà del Settecento.**



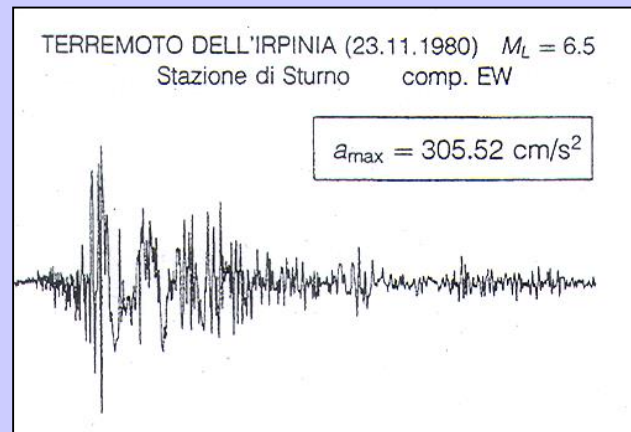


**Accelerografi:** registrano le accelerazioni prodotte dal sisma secondo tre direzioni ortogonali

**Gli strumenti hanno una taratura minima di misurazione del segnale secondo tre direzioni ortogonali**

**(per gli accelerografi si adotta ad esempio lo 0,5% o l'1% dell'accelerazione di gravità a seconda dell'entità di traffico registrabile nell'intorno).**

**In generale la registrazione avviene per frequenze dell'eccitazione prossime alla banda di frequenze a cui lo strumento è sensibile.**



## ▪ *Misurazione dell'intensità sismica*

**Misurazioni soggettive:** classificano in modo empirico la severità di un sisma secondo una scala ordinale – espressa in gradi – degli effetti prodotti prevalentemente sulle strutture civili (danni alle costruzioni) e, in misura minore, sull'assetto geomorfologico e geotecnico (danno geologico). La prima di queste scale, detta “**scala Mercalli**”, risale agli inizi del '900 (è stata definita da Giuseppe Mercalli nel 1902). Tale classificazione è stata successivamente perfezionata; sono state infatti definite la **Mercalli-Cancani-Sieberg (MCS)** del 1923 (la versione definitiva è del 1930), e la Mercalli modificata del 1931, aggiornata ed espressa in forma più concisa nella scala (**Mercalli Modificata - MM**) del 1956.

**Misurazioni oggettive:** la stima dell'intensità sismica è basata su grandezze repute strettamente correlate al fenomeno d'interesse (ad esempio lo spostamento di punti di riferimento). Parametro di valutazione: la «**Magnitudo Richter**» (1935).

## ***La Scala Mercalli***

| <b>Grado</b> | <b>Tipo Scossa</b>       | <b>Effetti</b>  |
|--------------|--------------------------|---|
| <b>I</b>     | <b>STRUMENTALE</b>       | <b>Avvertita solo dagli strumenti</b>   |
| <b>II</b>    | <b>LEggerISSIMA</b>      | <b>Avvertito solo da poche persone sensibili in condizioni particolari</b>  |
| <b>III</b>   | <b>LEggerA</b>           | <b>Avvertito da poche persone</b>   |
| <b>IV</b>    | <b>MEDIOCRE</b>          | <b>Avvertito da molte persone; tremiti di infissi e cristalli; oscillazione di oggetti sospesi</b>                |
| <b>V</b>     | <b>FORTE</b>             | <b>Avvertito da molte persone, anche addormentate; caduta di oggetti</b>  |
| <b>VI</b>    | <b>MOLTO FORTE</b>       | <b>Qualche lesione agli edifici</b>   |
| <b>VII</b>   | <b>FORTISSIMA</b>        | <b>Caduta di comignoli; lesione agli edifici</b>  |
| <b>VIII</b>  | <b>ROVINOSA</b>          | <b>Rovina parziale di alcuni edifici; vittime isolate</b>   |
| <b>IX</b>    | <b>DISASTROSA</b>        | <b>Rovina totale di alcuni edifici; molte vittime umane; crepacci nel suolo</b>                                   |
| <b>X</b>     | <b>DISASTROSISSIMA</b>   | <b>Crollo di parecchi edifici; numerose vittime umane; crepacci evidenti nel terreno</b>                          |
| <b>XI</b>    | <b>CATASTROFICA</b>      | <b>Distruzione di agglomerati urbani; moltissime vittime; crepacci; frane; maremoto</b>                           |
| <b>XII</b>   | <b>GRANDE CATASTROFE</b> | <b>Danneggiamento totale; distruzione di ogni manufatto; pochi superstiti; sconvolgimento del suolo, maremoto</b> |

## ✓ Scale di valutazione soggettive

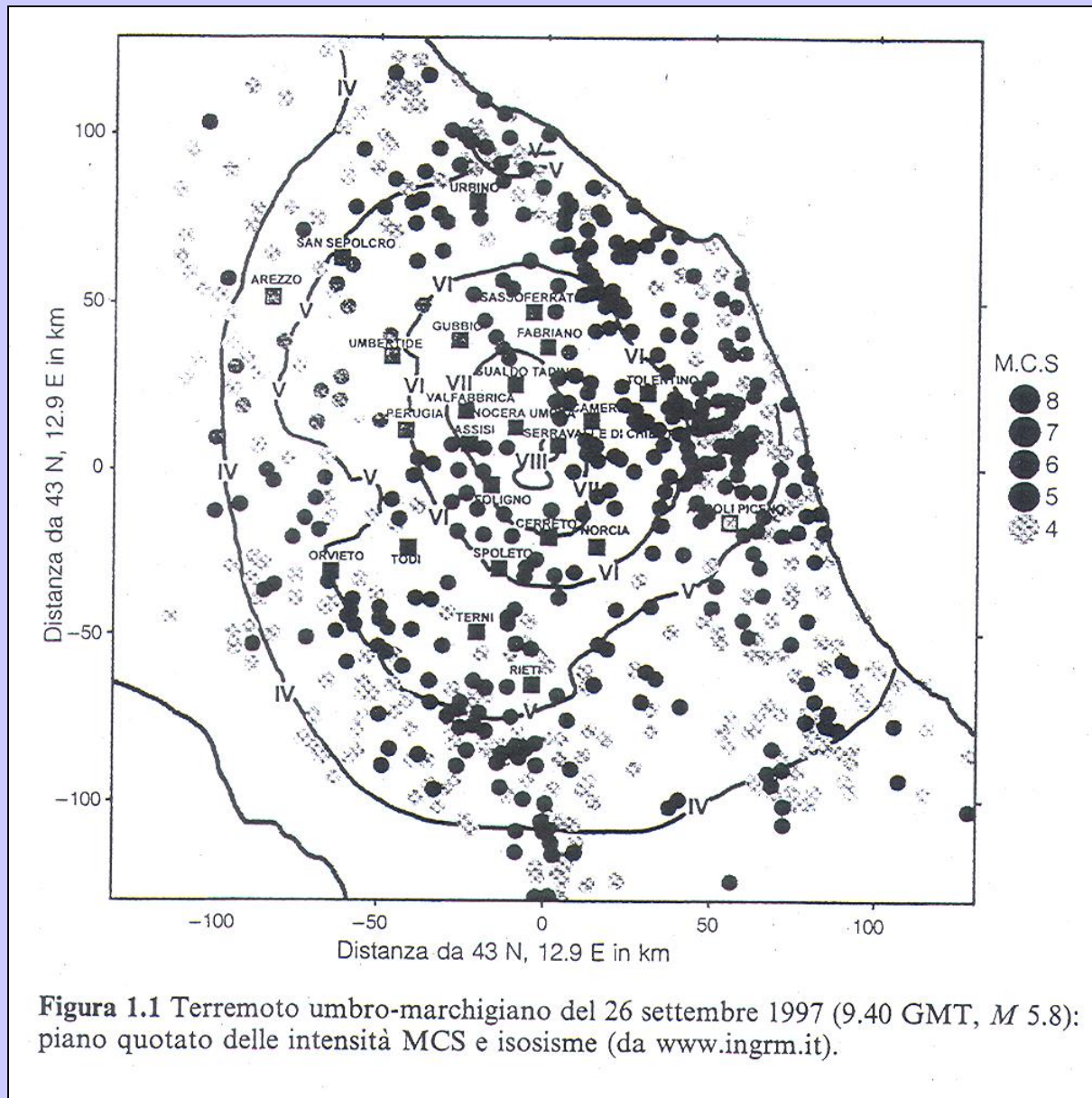
A seguito di rilevazioni speditive, che in alcuni casi possono riguardare anche molte migliaia di edifici, viene costruita una mappa degli effetti del terremoto, sotto forma di piano quotato, in cui su ciascuna località viene riportato il grado d'intensità, o tracciando curve isosisme attorno all'epicentro.

Le isosisme delimitano zone entro le quali il terremoto ha provocato effetti comparabili.

Il grado della isosisma epicentrale rappresenta l'intensità attribuita al sisma.

L'isosisma di grado VI MCS identifica la soglia minima di danneggiamento per gli edifici.

La classificazione, in termini d'intensità, è legata inevitabilmente alla qualità ed alla tipologia delle costruzioni locali e dipende anche dalla concentrazione abitativa della regione colpita. Al limite, un sisma violento che colpisca una regione desertica e non arrechi danni, potrebbe essere classificato con un grado d'intensità molto basso.



**Figura 1.1** Terremoto umbro-marchigiano del 26 settembre 1997 (9.40 GMT,  $M$  5.8): piano quotato delle intensità MCS e isosisme (da [www.ingrm.it](http://www.ingrm.it)).

Scala MCS (Mercalli - Cancani - Sieberg) dell'intensità sismica, versione del 1930 (dal *Bollettino Macrosismico* dell'Istituto Nazionale di Geofisica).

| Grado | Denominazione del terremoto | Descrizione degli effetti  |
|-------|-----------------------------|--|
| I     | Impercettibile              | Rilevato soltanto da sismografi.   |
| II    | Molto leggero               | Sentito soltanto da persone estremamente sensibili o nervose, in perfetta quiete e quasi sempre nei piani superiori dei caseggiati.  |
| III   | Leggero                     | Anche in zone densamente abitate viene percepito come terremoto, soltanto da una piccola parte degli abitanti nell'interno delle case, come nel caso del passaggio di un pesante mezzo. Da alcuni viene riconosciuto come terremoto soltanto dopo averne parlato con altri.  |
| IV    | Moderato                    | All'aperto il terremoto è percepito da pochi. Nelle case è notato da numerose persone ma non da tutti, a seguito del tremolio o di oscillazioni leggere di mobili. Cristalleria e vasellame, posti a breve distanza, urtano come al passaggio di un pesante autocarro su strada dissestata. Finestre tintinnano; porte, travi e assi in legno scricchiano; cricchiano i soffitti. In recipienti aperti, i liquidi vengono leggermente mossi. Si ha la sensazione che in casa si sia rovesciato un oggetto pesante; si oscilla con tutta la sedia o il letto come una barca. In generale questi movimenti non provocano paura a meno che le persone non si siano innervosite o spaventate a causa di terremoti precedenti. In rari casi i dormienti si svegliano. |
| V     | Abbastanza forte            | Nel pieno delle attività giornaliere, il sisma viene percepito da numerose persone nelle strade e se sensibili anche in campo aperto. In casa si avverte in seguito allo scuotere dell'intero edificio. Piante e piccoli rami di cespugli ed alberi si muovono con evidenza, come se ci fosse un vento moderato. Oggetti pendenti come lampade, tendaggi, lampadari non troppo pesanti entrano in oscillazione,  |

|     |             |  |
|-----|-------------|--|
|     |             | campanelle suonano. Gli orologi a pendolo si fermano od oscillano con maggior periodo, a seconda della direzione della scossa se perpendicolare o normale al moto di oscillazione. A volte orologi a pendolo fermi riprendono il movimento. La luce elettrica guizza o viene a mancare in seguito a movimenti della linea. I quadri urtano, battono contro le pareti oppure si spostano; da recipienti colmi e aperti vengono versate piccole quantità di liquido; ninnoli e oggetti del genere possono cadere come pure gli oggetti addossati alle pareti; arredi leggeri possono essere spostati di poco; mobili ritronano; porte ed imposte sbattono; vetri delle finestre si infrangono. Quasi tutti i dormienti si svegliano. Sporadici gruppi di persone fuggono all'aperto.   |
| VI  | Forte       | Il terremoto viene notato da tutti con paura, molti fuggono all'aperto, alcuni hanno la sensazione di instabilità. Liquidi si muovono fortemente; quadri, libri e oggetti simili cadono dalle pareti e dagli scaffali; porcellane si frantumano; suppellettili assai instabili, e perfino pezzi di arredo vengono spostati se non rovesciati; piccole campane in cappelle e chiese, e orologi di campanili battono. Case isolate, solidamente costruite subiscono danni leggeri; spaccature all'intonaco, caduta del rinzafo di soffitti e di pareti. Danni più forti, ma non ancora pericolosi si hanno sugli edifici mal costruiti. Qualche tegola e pietra di camino cade.  |
| VII | Molto forte | Notevoli danni vengono provocati ad oggetti di arredamento anche di grande peso. Grandi campane rintoccano. Corsi d'acqua, stagni e laghi si agitano e s'intorbidiscono a causa della melma smossa. Qua e là, parte delle sponde di sabbia e ghiaia scivolano via. Varia la portata delle sorgenti. Danni moderati a numerosi edifici costruiti solidamente: piccole spaccature nei muri; caduta di toppe piuttosto grandi della incalcinatura e dello stucco, a volte anche di mattoni. Caduta generale di tegole. Molti fumaioli vengono lesi da incrinature. Camini già danneggiati si rovesciano sopra il tetto danneggiandolo. Da torri e costruzioni alte cadono decorazioni mal fissate. Quando la casa è a pareti intelaiate, i danni all'intonaco e all'intelaiatura sono più gravi. In casi isolati distruzione di case mal costruite oppure riattate. |

|      |                           |   |
|------|---------------------------|---|
| VIII | Rovinoso                  | Interi rami d'albero pendono rotti e perfino si staccano. Anche i mobili più pesanti vengono spostati lontano e a volte rovesciati. Statue, monumenti in chiese, in cimiteri e parchi pubblici, ruotano sul proprio piedistallo oppure si rovesciano. Solidi muri di cinta in pietra si rompono e crollano. Circa un quarto delle case è gravemente leso, alcune crollano, molte diventano inabitabili; gran parte di queste cadono. Negli edifici intelaiati cade gran parte della tamponatura. Case in legno vengono schiacciate o rovesciate. Spesso campanili di chiese e di fabbriche con la loro caduta causano danni agli edifici vicini più di quanto non avrebbe fatto da solo il terremoto. In pendii e terreni acquitrinosi si formano crepe. In terreni bagnati si ha l'espulsione di sabbia e di melma.  |
| IX   | Distruttivo               | Circa la metà di case in pietra sono distrutte; molte crollano; la maggior parte diviene inabitabile. Case ad intelaiature sono divelte dalle proprie fondamenta e crollano; travi strappate a seconda delle circostanze contribuiscono alla rovina.  |
| X    | Completamente distruttivo | Gravissima distruzione di circa 3/4 degli edifici, la maggior parte crolla. Perfino costruzioni solide di legno e ponti subiscono gravi lesioni, alcuni vengono distrutti. Argini e dighe ecc., chi più, chi meno, sono danneggiati notevolmente, binari leggermente piegati e tubature (gas, acqua e scarichi) vengono troncate, rotte e schiacciate. Nelle strade lastricate e asfaltate si formano crepe e per pressione sporgono large pieghe ondose. In terreni meno densi e più umidi si creano spaccature fino alla larghezza di più decimetri; si notano parallelamente ai corsi d'acqua spaccature che raggiungono larghezze fino a un metro. Non solo pezzi di terreno scivolano dai pendii, ma interi macigni rotolano a valle. Grossi massi si staccano dagli argini dei fiumi e da coste scoscese; riviere basse subiscono spostamenti di masse sabbiose e fangose, per cui il livello del terreno viene notevolmente variato. Le sorgenti subiscono frequenti cambiamenti di livello dell'acqua. Da fiumi, canali e laghi ecc. le acque vengono gettate contro le sponde. |

|     |                          |  |
|-----|--------------------------|--|
| XI  | Catastrofico             | Crollo di tutti gli edifici in muratura, resistono soltanto le capanne di legno e le costruzioni ad incastro di grande elasticità. Anche i ponti più sicuri crollano a causa della caduta di pilastri in pietra o del cedimento di quelli in ferro. Binari si piegano fortemente e si spezzano. Tubature interrate vengono spaccate e rese irreparabili. Nel terreno si manifestano vari mutamenti di notevole estensione, a seconda della natura del suolo, si aprono grandi crepe e spaccature; soprattutto in terreni soffici e acquitrinosi il dissesto è considerevole sia orizzontalmente che verticalmente. Ne segue il trabocco di sabbia e melma con diverse manifestazioni. Sono frequenti lo sfaldamento di terreni e la caduta di massi. |
| XII | Grandemente catastrofico | Non regge alcuna opera dell'uomo. Lo sconvolgimento del paesaggio assume aspetti grandiosi. Corsi d'acqua sia superficiali che sotterranei subiscono mutamenti vari, si formano cascate, scompaiono laghi, fiumi deviano.  |

SCALA MERCALLI MODIFICATA (1956 DELL'INTENSITA' SISMICA - RICHTER

C. F.)

| Grado | Denominazione del terremoto | Corrispondenti valori della accelerazione a mm/sec <sup>2</sup> |   |
|-------|-----------------------------|---|---|
| I     | Strumentale                 | < 2,5   | Non percepito dalle persone, ma dai soli strumenti sismici.   |
| II    | Leggerissimo                | 2,5 - 5   | Percepito da persone in riposo, nei piani superiori delle case o in posizione favorevole. (L)   |
| III   | Leggero                     | 5 - 10  | Percepito nelle case. Oscillazione di oggetti appesi. Vibrazione come al passaggio di autocarri leggeri. Stima della durata. Talora non riconosciuto come terremoto.  |
| IV    | Sensibile o mediocre        | 10 - 25   | Oscillazione di oggetti appesi. Vibrazioni come al passaggio di autocarri pesanti, o scossa come di uno pesante palla che colpisce le pareti. Oscillazione di automobili fermi. Movimenti di porte e finestre. Tintinnio di vetri. Vibrazioni di vasellami. Nello stadio superiore al IV, scricchiolio di pareti o di strutture in legname. |
| V     | Forte                       | 25 - 50   | Risentito all'esterno; stima della direzione. Sveglia di persone dormienti. Movimento della superficie dei liquidi, versamento di tauloni dai recipienti. Spostamento   |

| Grado | Denominazione del terremoto | Corrispondenti valori della accelerazione a mm/sec <sup>2</sup> |   |
|-------|-----------------------------|---|---|
| VI    | Molto forte                 | 50 - 100  | o rovesciamento di piccoli oggetti instabili. Oscillazione di porte che si aprono e si chiudono. Movimento di imposte e quadri. Arresto, messa in moto, cambiamento del passo di orologi a pendolo.<br>Sentito da tutti. Spavento e fuga all'esterno. Barcollare di persone in moto. Rottura di vetrine, piatti, vetriere. Caduta dagli scaffali di ninnoli, libri ecc. e di quadri dalle pareti. Spostamento o rotazione di mobili. Screpolature di intonachi deboli e di murature tipo D(*). Suono di campanelli (Chiese, scuole). Stormire di alberi e di cespugli.                          |
| VII   | Fortissimo                  | 100 - 250   | Difficile stare in piedi. Risentito dai guidatori di automezzi. Tremolio di oggetti sospesi. Rottura di mobili. Danni alle murature tipo D(*), incluse fenditure. Rottura di comignoli deboli situati sul colmo dei tetti. Cadute di intonachi, mattoni, pietre, tegole, cornicioni (anche di parapetti isolati e ornamenti architettonici). Qualche lesione alle murature tipo C(*). Formazione di onde sugli specchi di acqua, intorbidamento delle acque. Piccoli smottamenti e scavamenti in depositi di sabbia e ghiaia. Forte suono di campane. Danni ai canali di irrigazione rivestiti. |



| Grado | Denominazione del terremoto | Corrispondenti valori della accelerazione a mm/sec <sup>2</sup> |   |
|-------|-----------------------------|---|---|
| VIII  | Rovinoso                    | 250 - 500   | Risentito nella guida di automezzi. Danni alle murature tipo C(*), crolli parziali. Alcuni danni a murature tipo B(*), non tipo A(*). Caduta di stucchi e di alcune pareti in muratura. Rotazione a caduta di camini, monumenti, torri, serbatoi elevati. Costruzioni con strutture in legname smosse dalle fondazioni se non imbullonate; pannelli delle pareti lanciati fuori. Rottura di palizzate deteriorate. Rottura di rami di alberi. Variazioni di portata o di temperatura di sorgenti e pozzi. Crepacci nel terreno e sui pendii ripidi. |
| IX    | Disastroso                  | 500 - 1000<br>0,1 g   | Panico generale. Distruzione di murature di tipo D(*), gravi danni a murature tipo B(*) talvolta con crollo completo; seri danni a murature tipo B(*) (danni generali alle fondazioni). Gravi danni ai serbatoi. Rottura di tubazioni sotterranee. Rilevanti crepacci nel terreno. Nelle aree alluvionali espulsione di sabbia e fango, formazione di crateri di sabbia.  |
| X     | Disastroso                  | 1000 - 2500<br>0,25 g   | Distruzione di gran parte delle delle murature e delle strutture in legame, con le loro fondazioni. Distruzioni di alcune robuste strutture in legname, con le loro   |





| Grado | Denominazione del terremoto | Corrispondenti valori della accelerazione a mm/sec <sup>2</sup> |   |
|-------|-----------------------------|---|---|
| XI    | Catastrofico                | 2500 - 5000<br>0,5 g  | fondazioni. Distribuzione di alcune robuste strutture in legname e di ponti. Gravi danni a dighe, briglie, argini. Grandi frane. Disalveamento delle acque di canali, fiumi, laghi, ecc. Traslazione orizzontale di sabbie e argille sulle spiagge e su regioni piane. Rotaie debolmente deviate. |
| XII   | Molto catastrofico          | 5000 - 10000<br>1 g   | Rotaie fortemente deviate. Tubazioni sotterranee completamente fuori servizio.<br>Distruzione pressoché totale. Spostamento di grandi masse rocciose. Linee di riferimento deformate. Oggetti lanciati in aria. (3)   |

### Sulla Terra si verificano ogni giorno:

- circa 8000 scosse di terremoto di *magnitudo 0*;
- circa 1000 di *magnitudo 2*;
- circa 130 di *magnitudo 3*;
- 120 volte all'anno di *magnitudo 6*;
- 18 all'anno di *magnitudo 7*;
- 1 volta all'anno di *magnitudo 8*;
- 1 volta ogni 20 anni di *magnitudo 9*.

# Le scale d'intensità macrosismica

## EMS – EUROPEAN MACROSEISMIC SCALE

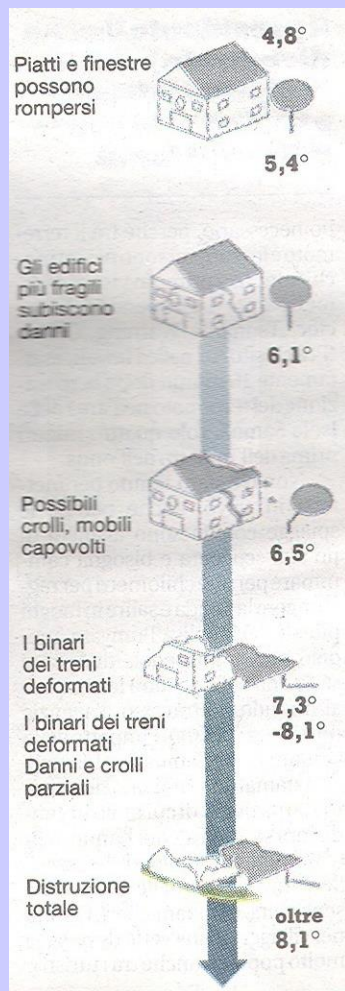
| EMS-98 Intensità | Risentito     | Impatto  | Magnitudo (Valori indicativi) | Danno agli edifici (Muratura)   |
|------------------|---------------|--|-------------------------------|---|
| I                | Non risentito | Non risentito  | 2                             |   |
| II-III           | Debole        | Il terremoto è avvertito all'interno da pochi. I dormienti registrano un ondeggiamento o un lieve tremito.   | 3                             |   |
| IV               | Leggero       | Il terremoto è risentito all'interno da molti e all'aperto soltanto da pochissimi. Qualcuno viene svegliato. Le porcellane, i vetri, le finestre e le ante si scuotono rumorosamente.  | 4                             |    |
| V                | Moderato      | Risentito all'interno da molti, all'aperto da pochi. Alcune persone si spaventano. Molti dormienti si svegliano. Gli osservatori sentono un forte scuotimento e oscillazione dell'intera costruzione. Gli oggetti appesi oscillano considerevolmente. Le porcellane e i vetri tintinnano rumorosamente. I piccoli oggetti possono essere spostati o cadere. Le ante e le finestre si aprono o si chiudono. | 5                             |    |
| VI               | Forte         | Molta gente si spaventa e fugge all'aperto. Alcuni oggetti possono cadere. Molti edifici soffrono leggeri danni non strutturali, come fessure capillari e caduta di piccole porzioni di intonaco.  | 6                             |  |
| VII              | Molto forte   | La maggior parte delle persone si spaventa e cerca di fuggire all'aperto. I mobili si spostano e molti oggetti cadono dalle mensole. Molti edifici residenziali di buona qualità soffrono danni moderati: fessure nelle pareti, caduta di intonaco, collasso parziale dei camini; altri edifici possono riportare grandi fessure nelle pareti e collasso dei tamponamenti.                                 | 7                             |  |
| VIII             | Severo        | Molte persone non riescono a stare in piedi. Mole costruzioni riportano grandi crepe nelle pareti. Alcuni edifici di buona qualità soffrono gravi collassi delle pareti. Edifici deboli e vecchi possono crollare.   |                               |   |
| IX               | Violento      | Panico generale. Molte costruzioni deboli crollano. Anche gli edifici di buona qualità riportano danni molto pesanti: collasso di pareti e parziale collasso strutturale.  |                               |   |
| X+               | Estremo       | Crolla la maggior parte delle costruzioni di buona qualità. Vengono distrutte anche alcune costruzioni con buona progettazione antisismica.  |                               |   |

© Servizio Sismico Svizzero

## MCS – MERCALLI CANCANI SIEBERG

| Grado | Scossa                    |
|-------|---------------------------|
| I     | impercettibile            |
| II    | molto leggera             |
| III   | leggera                   |
| IV    | moderata                  |
| V     | piuttosto forte           |
| VI    | forte                     |
| VII   | molto forte               |
| VIII  | rovinosa                  |
| IX    | distruttiva               |
| X     | completamente distruttiva |
| XI    | catastrofica              |
| XII   | apocalittica              |

## La valutazione in Magnitudo Richter



### Magnitudo

0 - 1,9

### Effetti

Può essere registrato solo mediante adeguati apparecchi.

2 - 2,9

Solo coloro che si trovano in posizione supina lo avvertono; un pendolo si muove

3 - 3,9

Poca gente lo avverte come un passaggio di un camion; vibrazione di un bicchiere

4 - 4,9

Normalmente viene avvertito; un pendolo si muove notevolmente; bicchieri e piatti tintinnano; piccoli danni

5 - 5,9

Tutti lo avvertono scioccante; possibili fessurazioni sulle mura; i mobili si spostano; alcuni feriti

6 - 6,9

Tutti lo percepiscono; eventualmente panico; crollo delle case; spesso feriti; pericolo di vita; onde alte

7 - 7,9

Panico; pericolo di vita negli edifici; solo alcune costruzioni rimangono illese; morti e feriti

8 - 8,9

Ovunque pericolo di vita; edifici inagibili; onde alte sino a 40 metri

9 +

Catastrofe; eventualmente un grande spostamento della superficie terrestre

## ✓ Valutazione della Magnitudo Richter

**Il passo decisivo per caratterizzare l'energia meccanica globale dei terremoti, e misurarli quindi con una scala di tipo strumentale, fu compiuto nei primi anni '30 da C. Richter, presso il California Institute of Technology di Pasadena.**

**Egli osservò:**

- **dati due terremoti aventi diversa intensità ma profondità focale comparabile, registrati dallo stesso sismografo a distanze poco diverse, il più forte produce oscillazioni del suolo più forti** e quindi fa tracciare dallo strumento un sismogramma di maggiore ampiezza;
- **se gli stessi due terremoti sono registrati da vari strumenti del medesimo tipo a distanze diverse** e se per ogni strumento si riporta su un grafico la massima ampiezza registrata in funzione della distanza epicentrale, si possono costruire due curve (una per ciascun terremoto) congiungendo i punti relativi alle varie stazioni. **Risulterà che la curva più alta (con ordinate superiori) sarà quella associata al terremoto più forte.**

**L'uso dei valori di picco dei sismogrammi registrati consentì a Richter di analizzare e stimare l'intensità dei terremoti della California meridionale; egli disponeva di una rete regionale di sette stazioni dotate di strumenti uguali, cioè sismografi del tipo Wood-Anderson, capaci di generare, su pellicola, dei sismogrammi con ampiezze leggibili da un minimo di 0,1 mm ad un massimo di 120 mm per ogni singola componente.**

**Rappresentando in un grafico i logaritmi delle ampiezze di picco, in funzione della distanza epicentrale, di terremoti diversi, Richter notò che le curve erano simili, con ordinate maggiori per eventi maggiori. Ciò significava che le ampiezze stavano tra loro in rapporto pressochè costante, indipendentemente dalla distanza.**

**Per poter ricavare una quantificazione dell'intensità del terremoto era pertanto necessario definire solo un terremoto campione da assumere come base di confronto.**

**A tale scopo Richter scelse arbitrariamente l'evento che fa registrare, ad un sismografo standard del tipo Wood-Anderson, un'ampiezza di picco di 0,001mm a 100 km di distanza epicentrale. Ad esso assegnò una Magnitudo pari a 0. Inoltre, fissato il punto di coordinate (100 km, 0,001 mm) su un grafico, ricavò le ordinate  $A_0$  di Magnitudo 0 per distanze diverse da 100 km tracciando una curva simile in media alle precedenti.**

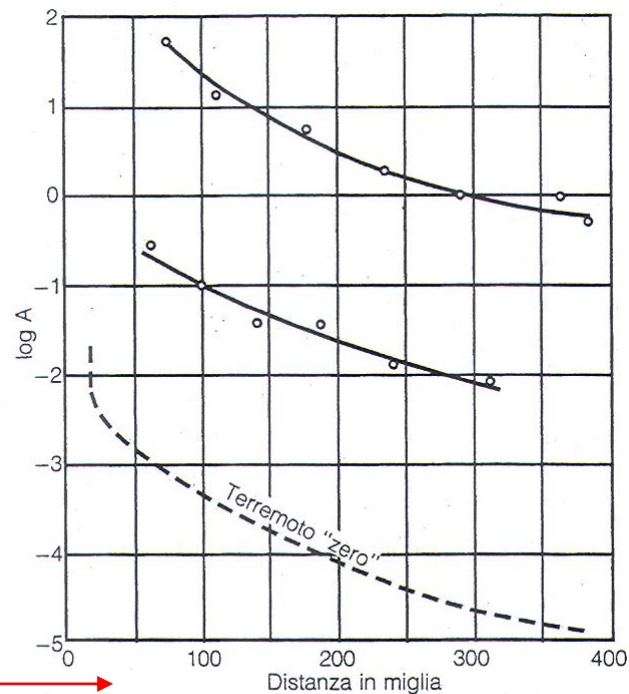
$$M_0 = \log_{10}(s_0)$$

$s_0$  = Massimo spostamento misurato in micron a 100 km dall'epicentro.

Lo spostamento deve essere misurato con un sismometro di Wood-Anderson, caratterizzato da un periodo proprio  $T=0,8$  s, amplificazione statica di 2800 e coefficiente di smorzamento pari a 0,8.

$$1,5 M = \log_{10}(E/E_0)$$

$$E_0 = 250 \text{ kN}\cdot\text{m}$$



100 km = 60 miglia

Figura 1.2 Illustrazione del metodo di Richter per la determinazione della magnitudo.

$$M = \log A - \log A_0$$

**A** = ampiezza di picco, in mm, della traccia registrata da un sismografo di Wood-Anderson ad una data distanza;

**A<sub>0</sub>** = ampiezza corrispondente del terremoto “zero” alla stessa distanza.

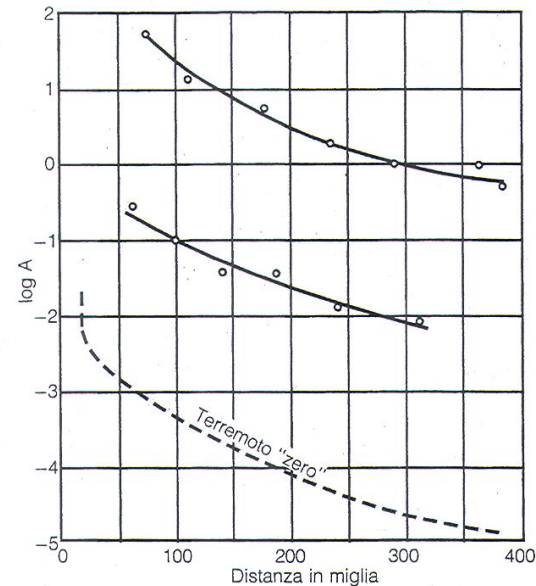


Figura 1.2 Illustrazione del metodo di Richter per la determinazione della magnitudo.

I valori di  $\log A_0$ , stabiliti empiricamente da Richter per distanze comprese tra 0 e 600 km, sono tabulati e discendono dall’espressione:

$$\log A_0 = a \cdot \log(R/100) + b \cdot (R-100)$$

**R** = distanza ipocentrale (in km); **a**, **b** = coefficienti numerici.

Per misurare **M** occorre pertanto che il terremoto sia stato previamente localizzato; essendo però la Magnitudo indipendente dalla distanza, essa rappresenta una misura del terremoto alla sorgente, ovvero dell’energia rilasciata.

Per la valutazione dell'energia rilasciata da un terremoto in Italia si utilizzano due tipi magnitudo:

LA MAGNITUDO RICHTER (O LOCALE) **ML**

LA MAGNITUDO MOMENTO **Mw**

## LA MAGNITUDO RICHTER - **ML**

$M_L = \log A + 1,6 \log D - 0,15$  per gli eventi distanti meno di 200 km

$M_L = \log A + 3,0 \log D - 3,38$  per gli eventi compresi tra 200 km e 600 km

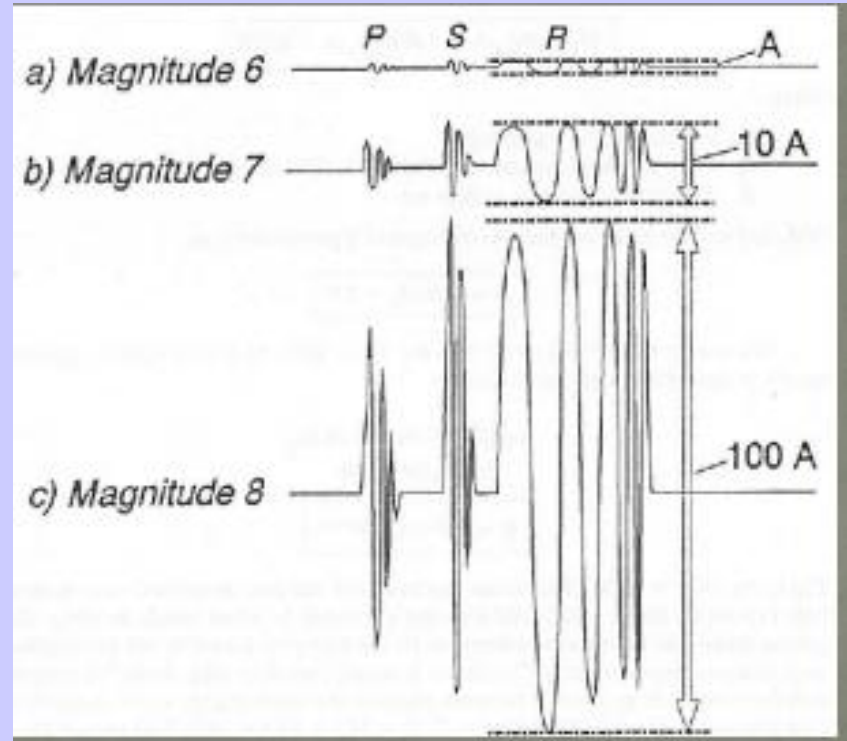


## **Magnitudo locale $M_L$ (Magnitudo Richter)**

Misura la quantità di energia rilasciata.

Si basa su una misura precisa dell'ampiezza dell'onda sismica a distanze note dall'epicentro.

Viene misurata su scala logaritmica, quindi un aumento di una unità di magnitudo corrisponde a 10 volte l'incremento dell'ampiezza.



**La Magnitudo locale  $M_L$**  stima pertanto la grandezza di un terremoto, conoscendone la distanza sismografo-ipocentro, direttamente dall'ampiezza delle onde sismiche (sismogramma).

## ***Magnitudo locale $M_L$ (Magnitudo Richter)***

**La magnitudo locale ( $M_L$ )** fu introdotta dal sismologo statunitense Richter nel 1935 per avere una stima della gravosità dei terremoti che fino a quel momento si basava esclusivamente sulla determinazione degli effetti dei terremoti (scale d'intensità soggettiva).

Il semplice concetto introdotto da Richter consisteva nella stima dell'intensità di un terremoto direttamente dall'ampiezza di un sismogramma registrato da un sismografo standard di Wood-Anderson.

Richter calibrò quindi una relazione che per ogni aumento di ampiezza di 10 volte delle onde sismiche di frequenza pari a circa 1 Hz, equivaleva un aumento di un grado di magnitudo.

**$M_L$  è quindi una misura della grandezza relativa tra terremoti e non una stima della reale gravosità dei terremoti.**

## *Energia rilasciata*

$$\text{Log}_{10} E = 11,8 + 1,5 M_s$$

**Considerando due eventi sismici 1, 2:**

$$\text{Log}_{10} E_1 = 11,8 + 1,5 M_1$$

$$\text{Log}_{10} E_2 = 11,8 + 1,5 M_2$$

$$\rightarrow \text{Log}_{10} E_1 - \text{Log}_{10} E_2 = 11,8 + 1,5 (M_1 - M_2)$$

$$\rightarrow \text{Log}_{10} (E_1/E_2) = 1,5 (M_1 - M_2) \rightarrow \text{se } (M_1 - M_2) = \Delta M$$

$$\rightarrow (E_1/E_2) = 10^{1,5 \Delta M}$$

$$\Delta M=1 \rightarrow (E_1/E_2) = 10^{1,5} = 31,6$$

$$\Delta M=2 \rightarrow (E_1/E_2) = 10^3 = 1000$$

$$\Delta M=3 \rightarrow (E_1/E_2) = 10^{4,5} = 31600$$

Teoricamente il calcolo richiederebbe di sommare il flusso di energia per un ampio range di frequenze generate da un terremoto.

A causa delle limitazioni strumentali storicamente la maggior parte delle stime di energia è stata fatta utilizzando la relazione di Guthemberg-Richter.

Analizzando il rapporto tra due eventi 1 e 2, con rapporto tra le corrispondenti energie rilasciate  $E_1$  ed  $E_2$  relazionate con le relative magnitudo  $M_1$  e  $M_2$ .

## *Energia rilasciata*

**Magnitudo  $M_L = 3$**

**Spostamento =  $S_1$**

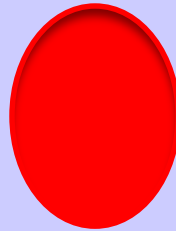
**Energia =  $E_1$**



**Magnitudo  $M_L = 4$**

**Spostamento =  $10 * S_1$**

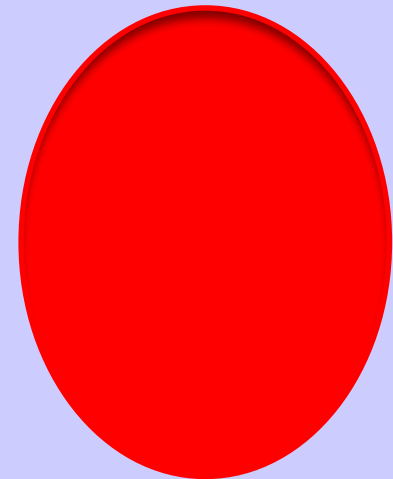
**Energia =  $31,6 * E_1$**



**Magnitudo  $M_L = 5$**

**Spostamento =  $100 * S_1$**

**Energia =  $1000 * E_1$**



➤ *Il problema della saturazione verso l'alto della Magnitudo Richter.*

Per terremoti di forte intensità la Magnitudo  $M_L$  non fornisce un quadro completo significativo delle caratteristiche del terremoto, risultando inefficace dal punto di vista sia sismologico, sia ingegneristico.

Il motivo della sovrapposizione nella parte alta delle intensità è principalmente legato all'interpretazione logaritmica.

Inoltre, secondo questo metodo di valutazione la risposta in superficie tende ad assomigliarsi, pur al variare della profondità alla quale si localizzi la rottura,

In altri termini, un terremoto molto più intenso e profondo ci giunge in superficie con le stesse caratteristiche di spostamento, rispetto ad un terremoto molto meno intenso e superficiale.

Dal punto di vista ingegneristico la differenza è invece notevole, in quanto il primo influenza una superficie estremamente meno ampia, pur con effetti localmente superiori, di un terremoto superficiale.

Lo spostamento massimo può essere lo stesso, ma la superficie interessata è completamente diversa.

## *Magnitudo momento ( $M_w$ )*

Negli anni '70 Kanamori introdusse **la magnitudo momento ( $M_w$ )** derivata dal parametro sismologico **Momento Sismico ( $M_0$ )** che equivale al prodotto tra area di faglia, dislocazione e resistenza delle rocce.

$M_0$  ed  $M_w$  rappresentano quindi la migliore stima della reale gravosità del terremoto.

$$M_w = \frac{\log M_0}{1.5} - 10.73$$

$M_0$  è anche un osservabile sismologico in quanto si può calcolare direttamente dal sismogramma, in particolare dalla parte a bassa frequenza (minore di 1Hz) ma la sua determinazione richiede tempo.

**Momento ( $M_0$ ) = Rigidità x Area della Faglia x Spostamento della superficie**

$$M_0 = \mu \langle D \rangle A$$

**Maggiore è l'area che si rompe in un singolo evento, maggiore sarà la magnitudo.**

## ***Magnitudo momento ( $M_w$ )***

**L'ampiezza delle onde sismiche a bassa frequenza, dove viene calcolata la magnitudo momento (al di sotto di 1 Hz), per forti terremoti è maggiore dell'ampiezza delle onde sismiche a 1 Hz, dove viene calcolata la magnitudo Richter, e questo è dovuto alle caratteristiche della sorgente sismica.**

**Questa particolarità delle onde sismiche dei forti terremoti è alla base della differenza che si osserva tra magnitudo Richter e magnitudo momento.**

Si parla infatti di saturazione della magnitudo Richter per forti terremoti in quanto **l'ampiezza delle onde sismiche a 1 Hz non aumenta linearmente all'aumentare della magnitudo.**

La magnitudo Richter è ancora in uso grazie alla rapidità con la quale viene calcolata, ma **la magnitudo momento** è sicuramente **la migliore stima della reale grandezza di un terremoto, essendo direttamente legata alle dimensioni e alla dislocazione della sorgente sismica.**



**La Magnitudo da sola non basta a caratterizzare il potenziale distruttivo di un terremoto; le proprietà della crosta terrestre che influenzano l'attenuazione del moto sismico a distanza, o la profondità focale, possono quindi far variare fortemente l'estensione delle aree di uguale risentimento in eventi di pari magnitudo.**

**La magnitudo di un sisma è direttamente correlabile con l'intensità Mercalli epicentrale solo se la profondità focale è compresa tra 5 km e 20 km.**

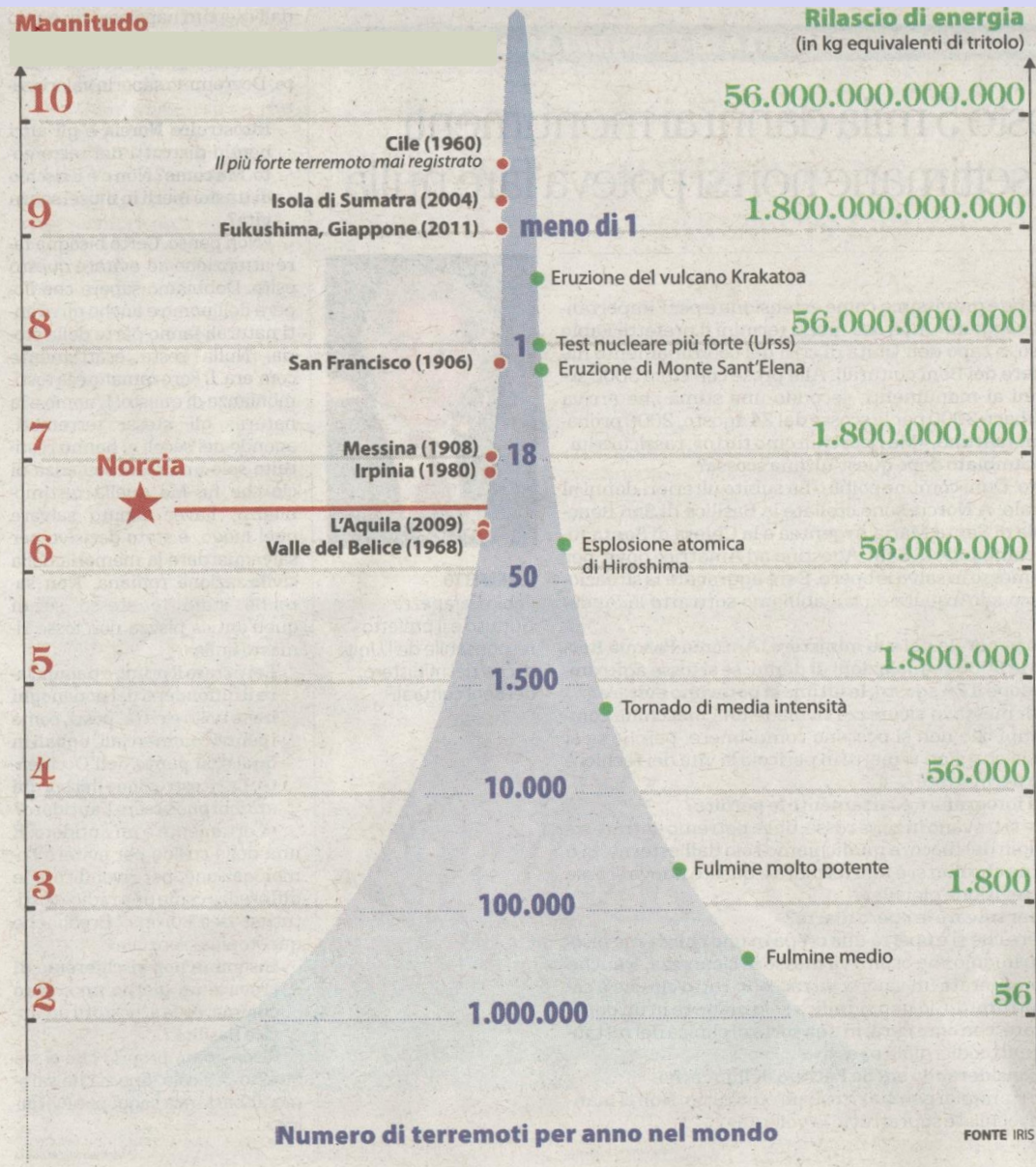


***Corrispondenza fra le valutazioni della scala Mercalli e di quella delle magnitudo ( $M_w$ ) riferite ai principali terremoti che si sono susseguiti in Italia dal 1905 al 2012***

| Data       | Area                                     | Intensità  | Magnitudo $M_w$ |
|------------|--|------------|-----------------|
| 08.09.1905 | Calabria                                 | X – XI     | 7.1             |
| 23.10.1907 | Calabria                                 | IX         | 5.9             |
| 28.12.1908 | Stretto di Messina (Calabria, Sicilia)   | XI         | 7.2             |
| 07.06.1910 | Irpinia (Basilicata)                     | IX         | 5.9             |
| 27.10.1914 | Garfagnana (Toscana)                     | VII        | 5.8             |
| 13.01.1915 | Avezzano (Abruzzo)                       | XI         | 7.0             |
| 17.05.1916 | Mar Adriatico settentrionale             | VIII       | 5.9             |
| 16.08.1916 | Mar Adriatico settentrionale             | VIII       | 5.9             |
| 26.04.1917 | Monterchi – Citerna (Toscana – Umbria)   | IX – X     | 5.8             |
| 10.11.1918 | Appennino forlivese (Emilia Romagna)     | VIII       | 5.8             |
| 29.06.1919 | Mugello (Toscana)                        | IX         | 6.2             |
| 07.09.1920 | Garfagnana (Toscana)                     | X          | 6.5             |
| 07.03.1928 | Capo Vaticano (Calabria)                 | VIII       | 5.9             |
| 23.07.1930 | Irpinia (Campania)                       | X          | 6.7             |
| 30.10.1930 | Senigallia (Marche)                      | VIII – IX  | 5.9             |
| 18.10.1936 | Bosco Cansiglio (Veneto)                 | IX         | 5.9             |
| 03.10.1943 | Ascolano (Marche)                        | IX         | 5.8             |
| 21.08.1962 | Irpinia (Campania)                       | IX         | 6.2             |
| 15.01.1968 | Valle del Belice (Sicilia)               | X          | 6.1             |
| 06.05.1976 | Friuli                                   | IX – X     | 6.4             |
| 15.09.1976 | Friuli                                   | VIII – IX  | 5.9             |
| 15.04.1978 | Golfo di Patti (Sicilia)                 | VIII       | 6.1             |
| 19.09.1979 | Valnerina (Umbria)                       | VIII – IX  | 5.9             |
| 23.11.1980 | Irpinia (Campania, Basilicata)           | X          | 6.9             |
| 07.05.1984 | Lazio – Abruzzo                          | VIII       | 5.9             |
| 05.05.1990 | Potentino (Basilicata)                   | VII – VIII | 5.8             |
| 26.09.1997 | Umbria – Marche                          | IX         | 6.0             |
| 31.10.2002 | Molise                                   | VIII – IX  | 5.8             |
| 06.04.2009 | Abruzzo                                  | IX – X     | 6.1*            |
| 20.05.2012 | Pianura Padana Emiliana (Emilia Romagna) | VIII*      | 5.8*            |
| 29.05.2012 |  |            | 5.6*            |

\* Dati: [iside.rm.ingv.it](http://iside.rm.ingv.it)  
 \* Cumulo degli effetti della sequenza

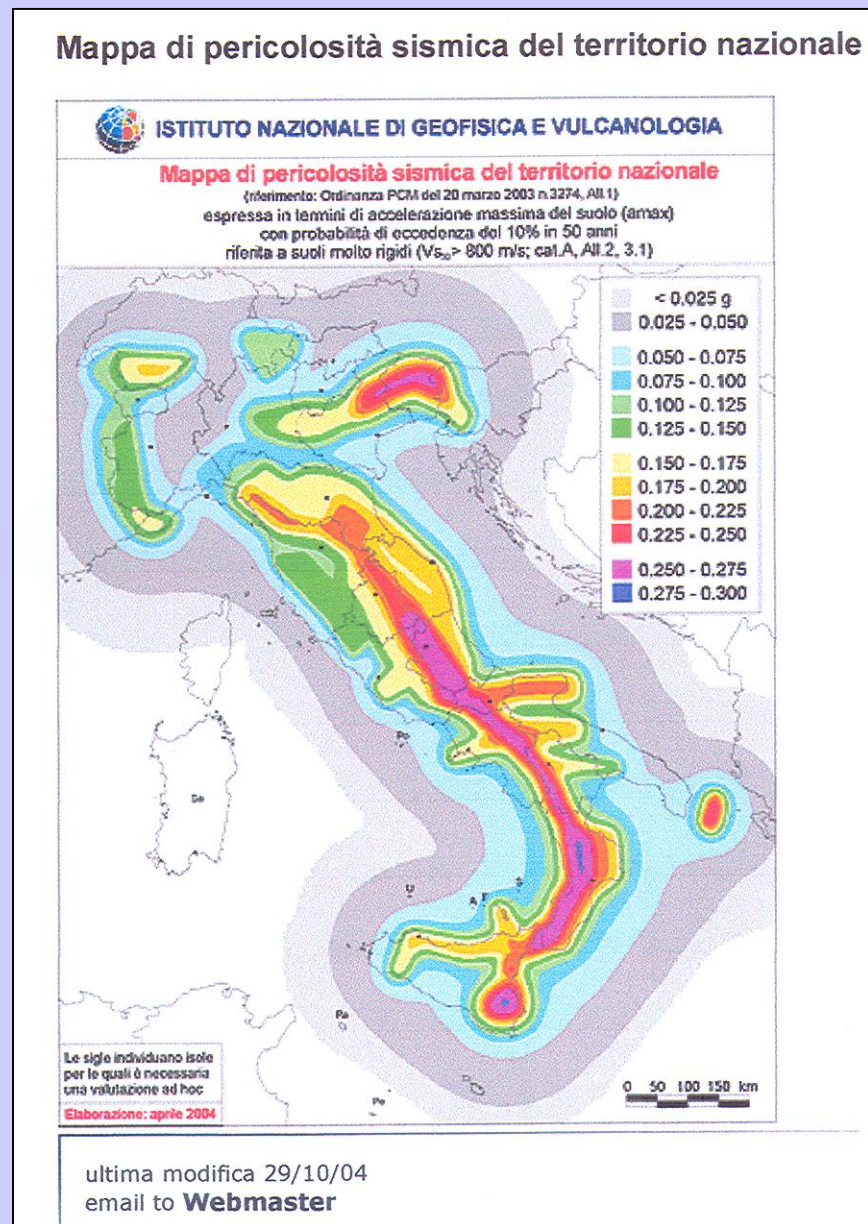
# La scala di potenza dei terremoti



**Pericolosità sismica**: probabilità di eccedenza di un parametro descrittivo del moto del terreno (intensità macrosismica, picco di accelerazione, valori spettrali, ... riferiti ad un dato intervallo di tempo).

**Rischio sismico**: la valutazione del rischio è la sintesi degli studi riguardanti la pericolosità, la vulnerabilità e l'esposizione. Il rischio viene infatti solitamente espresso come perdita attesa, in un certo periodo di tempo, di beni o di vite umane.

Il **Peak ground acceleration** (PGA) è la misura della massima accelerazione del suolo indotta dal terremoto e registrata dagli accelerometri. Diversamente dalla scala Richter, che misura l'ampiezza globale di un terremoto, il PGA misura l'intensità di un terremoto in una singola area geografica.



La misura del PGA può essere vista come una misura strumentale di ciò che la scala Mercalli valuta sulla base di quanto riportato da persone sulla gravità del sisma. Normalmente il valore del PGA e quello della scala Mercalli sono ben correlati. Il PGA si può misurare in [g] (l'accelerazione di gravità) o, più correttamente anche se usato con meno frequenza, in [m/s<sup>2</sup>].

In relazione al valore massimo del PGA misurato o prevedibile (o meglio in base all'Effective Ground Acceleration, EPA – accelerazione massima del terreno epurata da eventuali picchi anomali), dal 2003 il territorio italiano è stato suddiviso in quattro macro-zone sismiche:

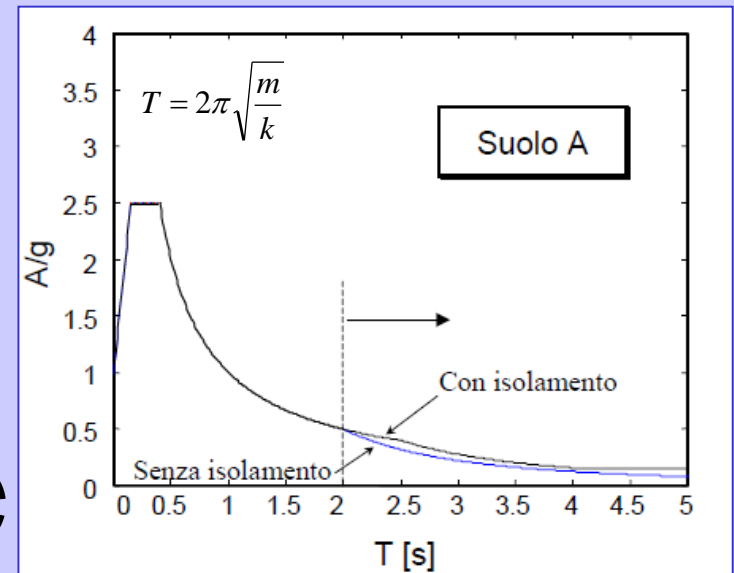
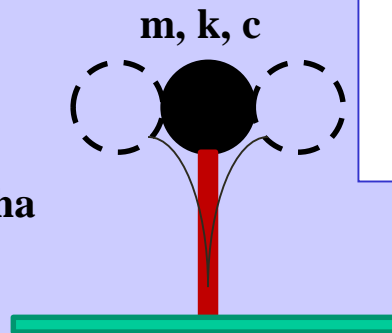
zona 1:  $0.25g < \text{PGA} - \text{EPA} \leq 0.35g$

zona 2:  $0.15g < \text{PGA} - \text{EPA} \leq 0.25g$

zona 3:  $0.05g < \text{PGA} - \text{EPA} \leq 0.15g$

zona 4:  $\text{PGA} - \text{EPA} \leq 0.05g$

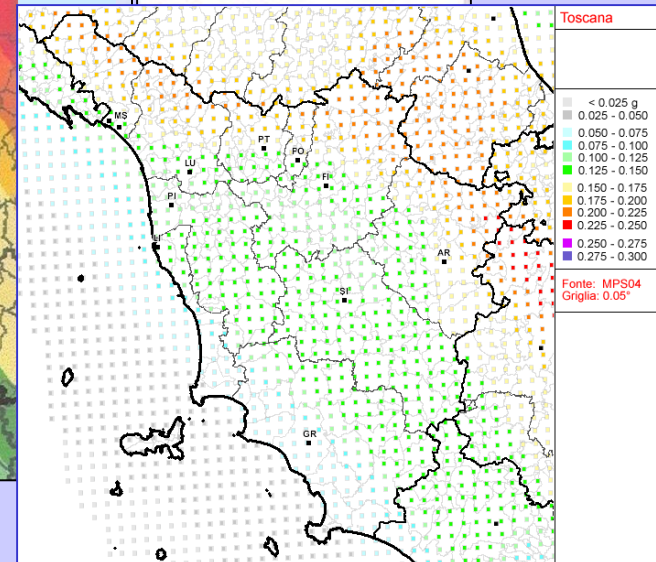
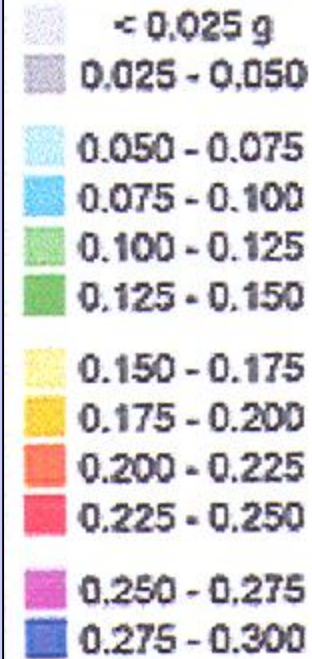
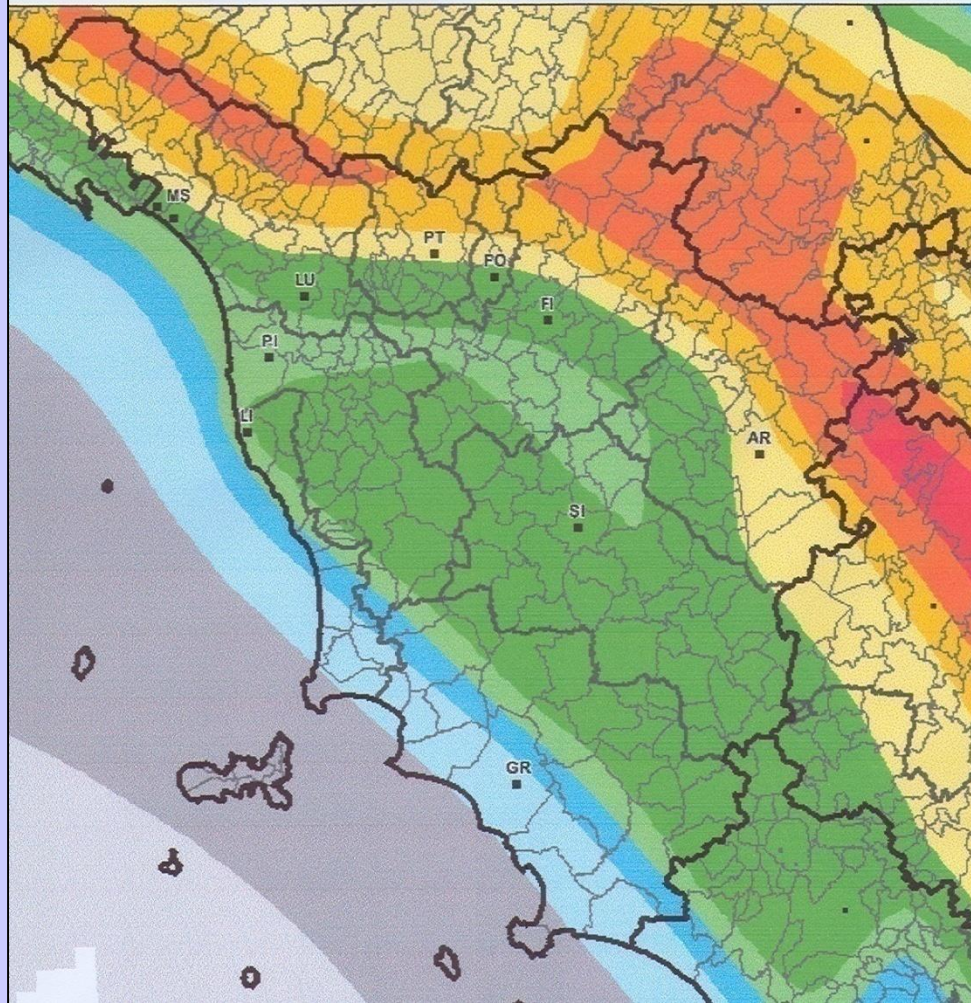
In uno spettro di risposta elastico, il PGA (o EPA) coincide con il valore dell'accelerazione spettrale  $S_e(T)$  quando il periodo proprio di oscillazione dell'oscillatore elementare di riferimento è pari a  $T=0$ ; in questo caso, infatti, l'oscillatore, infinitamente rigido, ha la stessa accelerazione del terreno.



## Mapa di pericolosità sismica del territorio nazionale

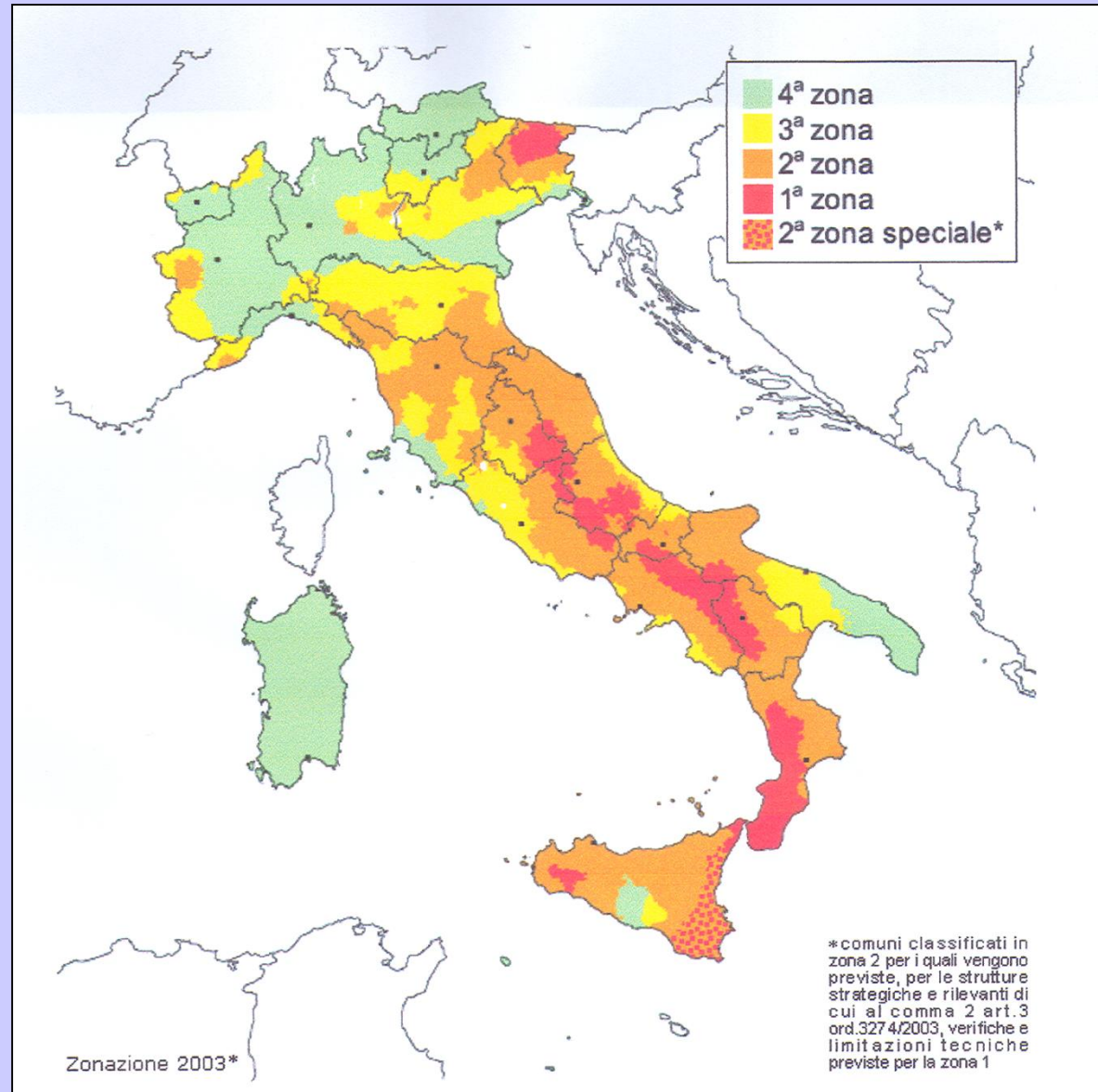
(riferimento: Ordinanza PCM del 20 marzo 2003 n.3274, All.1)

espressa in termini di accelerazione massima del suolo ( $a_{max}$ )  
con probabilità di eccedenza del 10% in 50 anni  
riferita a suoli molto rigidi ( $V_{s30} > 800$  m/s; cat.A, All.2, 3.1)



## ***Classificazione sismica del territorio nazionale presente nell'Ordinanza n. 3274/2003***

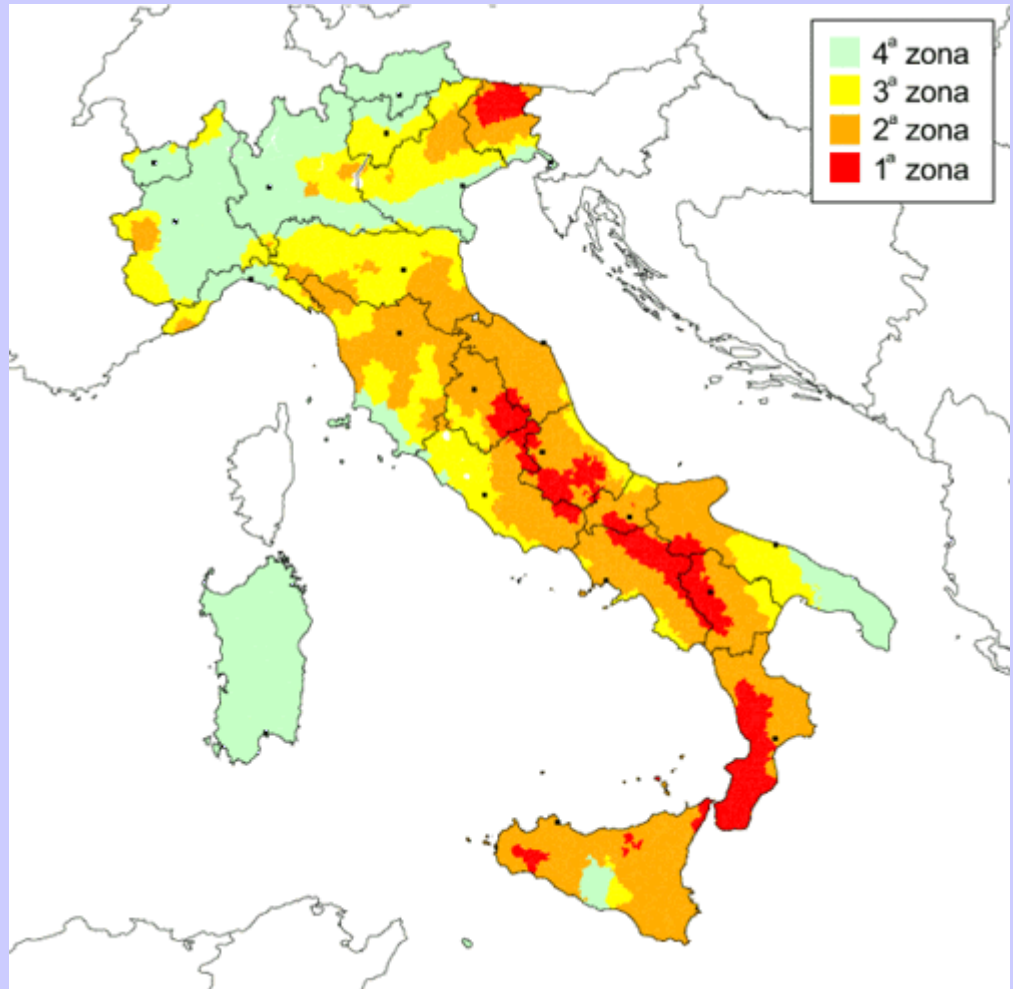
**La classificazione sismica è la suddivisione di un territorio in aree distinte, caratterizzate da un certo rischio sismico (*macrozonazione*). Secondo un'Ordinanza del 2003, in Italia gli Enti locali hanno l'obbligo di classificare dal punto di vista sismico ogni singolo Comune, in modo da prevenire danni ad edifici e persone a seguito di un terremoto (*microzonazione*). In base alla zona, gli edifici dovranno essere costruiti secondo la normativa antisismica.**



**Le zone ad alto rischio sismico si concentrano soprattutto dove sono presenti vulcani attivi come l'Etna, il Vesuvio, i Campi Flegrei, i Colli Albani.**

**L'Italia è posizionata nella zona di collisione tra le placche Africana ed Eurasiatica; ciò comporta un elevato rischio sismico.**

**I terremoti sono provocati dai movimenti reciproci delle due placche, dai cui spostamenti si generò la nostra penisola.**



**La faglia parte dalla dorsale oceanica atlantica, passa per il Nord Africa, taglia la Sicilia, percorre l'Italia lungo gli Appennini, si dirige a est in Veneto e in Friuli, scende di nuovo lungo le coste Jugoslave e finisce lungo le coste della Turchia, al confine con la Siria. E' per questo che in Sardegna non si verificano terremoti.**

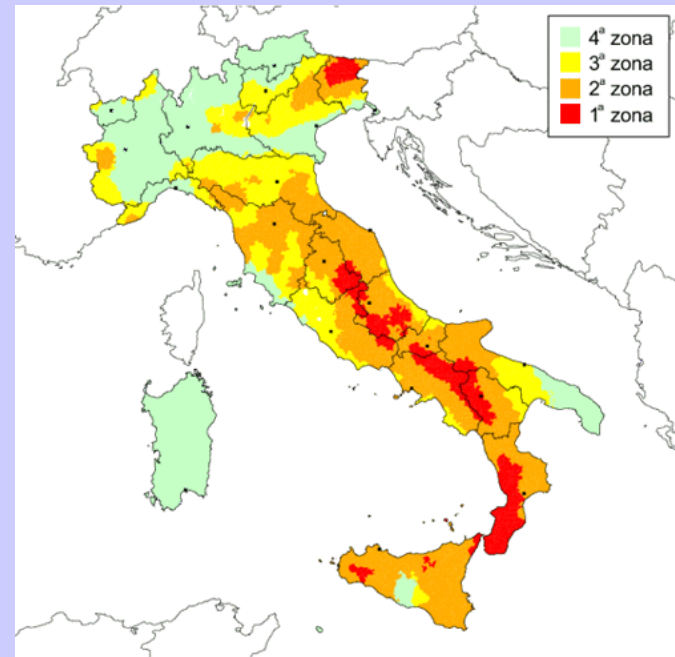
**I Comuni italiani sono stati classificati in 4 categorie principali:**

***Zona 1: sismicità elevata-catastrofica***

**E' la zona più pericolosa, dove si possono verificare forti terremoti e dove nel passato alcuni comuni sono stati distrutti durante eventi sismici. In Italia 716 comuni sono in questa zona e si trovano nel nord-est del Friuli Venezia Giulia, lungo l'Appennino Centrale e Meridionale (dall'Umbria alla Basilicata); nel sud-ovest della Calabria, in Sicilia, nella zona di Sciacca e Mazara del Vallo.**

***Zona 2: sismicità medio-alta***

**In questi comuni si possono verificare terremoti abbastanza forti. Sono presenti 2.324 comuni e si trovano in gran parte del centro-sud Italia, in Sicilia, nei luoghi limitrofi alla Zona 1 del Friuli Venezia Giulia e in una piccola parte a est del Piemonte.**



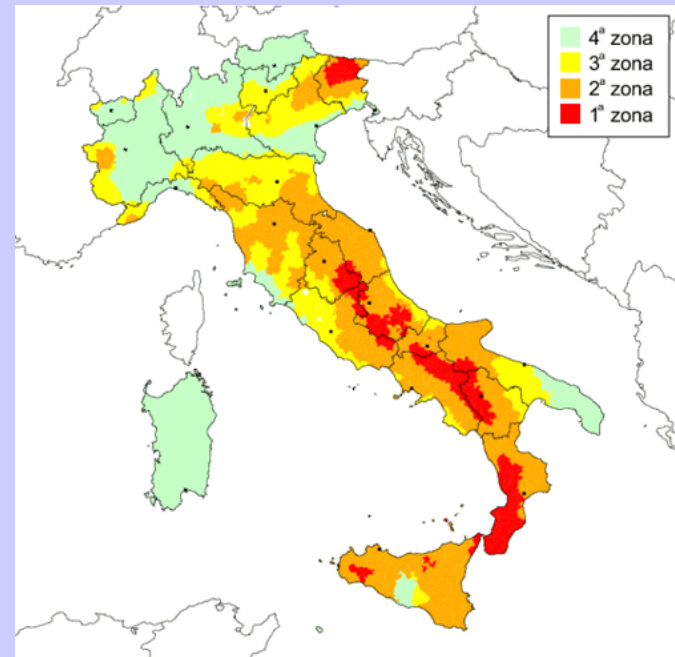


### **Zona 3: sismicità bassa**

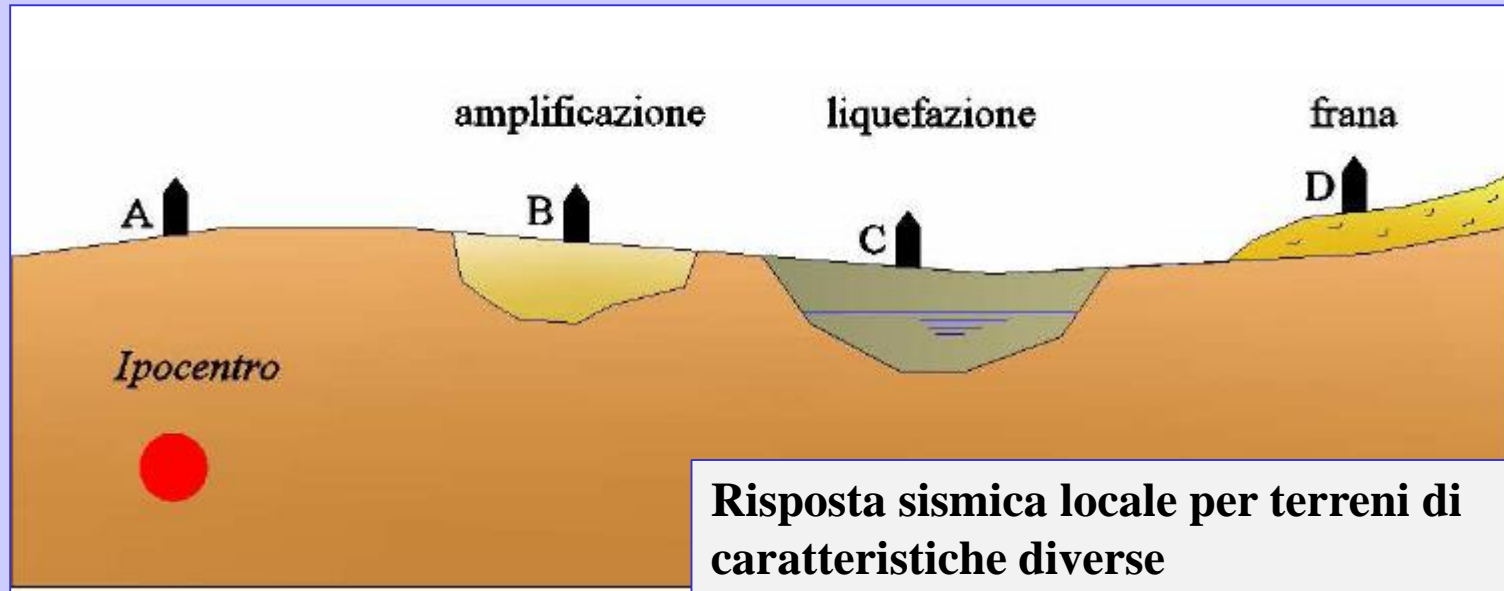
**I comuni presenti in questa zona possono essere soggetti a moderati terremoti. Sono presenti 1.634 comuni e si trovano in una minima parte del Piemonte, Lombardia, Veneto, Trentino, Toscana. Lazio, Umbria, Abruzzo e Puglia e in gran parte dell'Emilia Romagna.**

### **Zona 4: sismicità irrilevante**

**I comuni presenti in questa zona sono a basso rischio di terremoto, ma gli edifici pubblici come scuole, ospedali e caserme, devono essere costruiti con criteri antisismici e devono essere messi a norma quelli già esistenti. In questa zona sono compresi 3.427 comuni presenti in Val d'Aosta, Piemonte, Alto Adige, basso Veneto, il promontorio del Gargano in Puglia e tutta la Sardegna.**



## ▪ *Microzonazione*



Le Norme Tecniche italiane (NTC 2018) richiedono che, ai fini progettuali, si faccia riferimento non ad una delle quattro zone associabili alla macrozonazione, bensì ai dati di microzonazione secondo cui vengono tenuti in conto effetti di amplificazione o deamplificazioni locali, conseguenti alle caratteristiche geologiche del Comune di edificazione.

## ▪ *Terremoto dell'Abruzzo ( aprile 2009)*

**Il devastante terremoto che ha avuto come epicentro L'Aquila, alle 3:32 del giorno 6 aprile 2009, ha fatto registrare una magnitudo Richter di 5,8.**

Bilancio delle vittime: circa 300 morti e 70.000 persone costrette ad abbandonare le proprie abitazioni. Ingenti i danni agli edifici dei vari comuni dell'Aquila; uno dei paesi più colpiti è Onna, con gran parte delle costruzioni letteralmente "rasa al suolo".

Uno sciame sismico successivo alla scossa principale ha interessato le aree delle Marche e dell'Abruzzo.

Sono state circa 200 le scosse di assestamento di minore entità registrate durante tutta la giornata del 6 Aprile 2009, culminate in una scossa più significativa verificatasi alle ore 23:57 con epicentro ancora una volta nell'Aquilano; quest'ultima scossa ha raggiunto una **magnitudo di 3,8**.



## ■ *Principali scosse in Italia nel 2012*

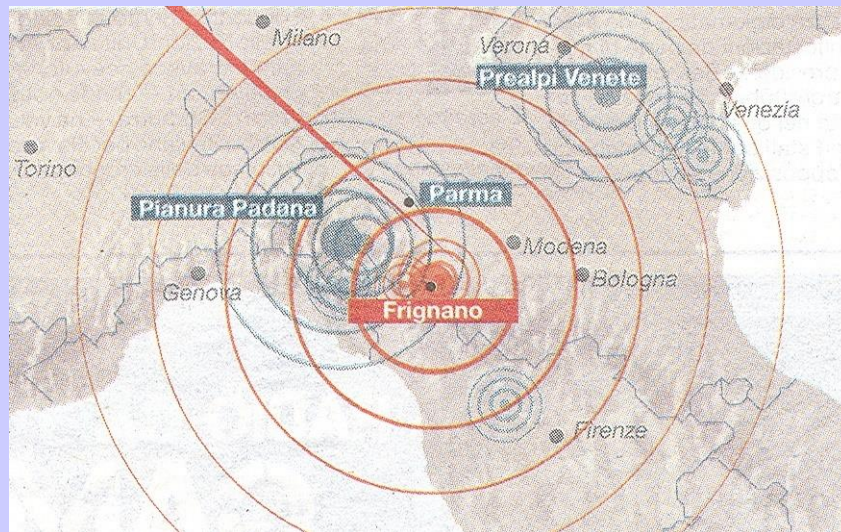
**9 gennaio:** Pianura Veneta (ore 18:01 – M=3,2; ore 19:50 – M=3,0)

**12 gennaio:** Appennino Modenese (ore 7:28 – M=2,1)

**24 gennaio:** Prealpi Venete (ore 0:54 – M=4,2)

**25 gennaio:** Pianura Padana (ore 0:54 – M=4,2; ore 9:06 – M=4,9; ore 18:43 – M=3,5)  
Parma (ore 9:24 – M= 2,3)

**27 gennaio:** ore 15:53 – M=5,4 – **Epicentro: Frignano; Ipocentro a 60,8 km di profondità**  
Scosse successive: ore 16:23 – M=2,7; ore 16:34 – M=3,2; ore 18:48 – M=2,0



**Causa:** spinta della placca Adriatica sotto gli Appennini e le Alpi. Il sisma è stato generato da una rottura della faglia di 5 km. La placca si è mossa di 4-5 cm in un secondo e mezzo. La scossa, di 15 s in superficie, ha avuto le caratteristiche di un effetto “tamburo”, prodotto dalla pianura Padana che si è messa a vibrare in quanto composta da sedimenti soffici.

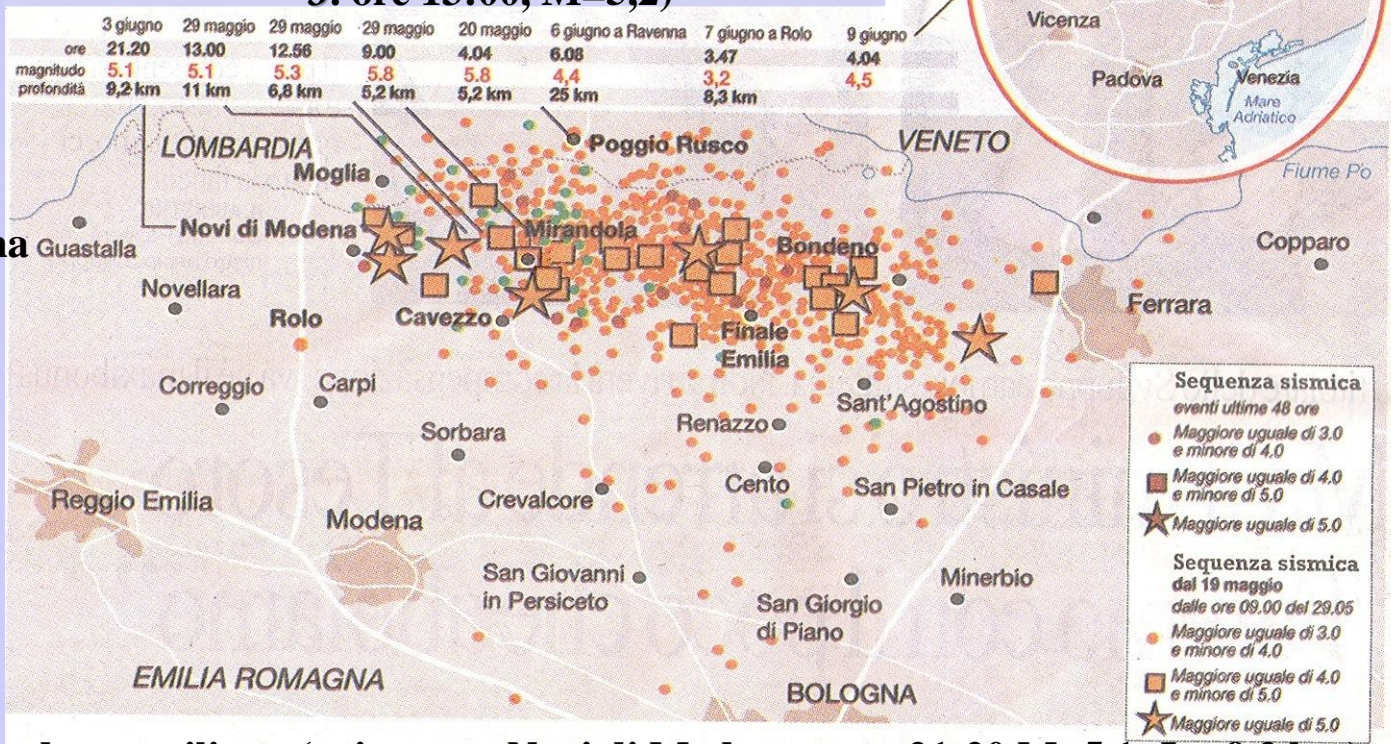
**Effetti:** in relazione all’energia liberata gli effetti sono stati abbastanza contenuti in termini di danno. Poco distante dal distretto sismico di Frignano ci sono faglie della placca Appenninica che si rompono ad appena 5-10 km di profondità. La disastrosità dei conseguenti terremoti è testimoniata dal terremoto di Sellano del 1997 (M=5,5) il cui ipocentro era stato localizzato a 5,5 km di profondità.

▪ *Terremoto in Emilia (2012)*

**20 maggio: Pianura padana emiliana (epicentro: Finale Emilia; ore 04:03–M=5,9, Intensità Mercalli-IM=VII-VIII, profondità=6,3 km)**

**29 maggio: Pianura padana emiliana (epicentro: Medolla; ore 09:00–M=5,8, IM=VII-VIII, profondità=6,3 km)**

(altre tre scosse rilevanti:  
**1. ore 12:56, M 5,3;**  
**2. ore 13:00, M=4,9;**  
**3. ore 13:00, M=5,2)**

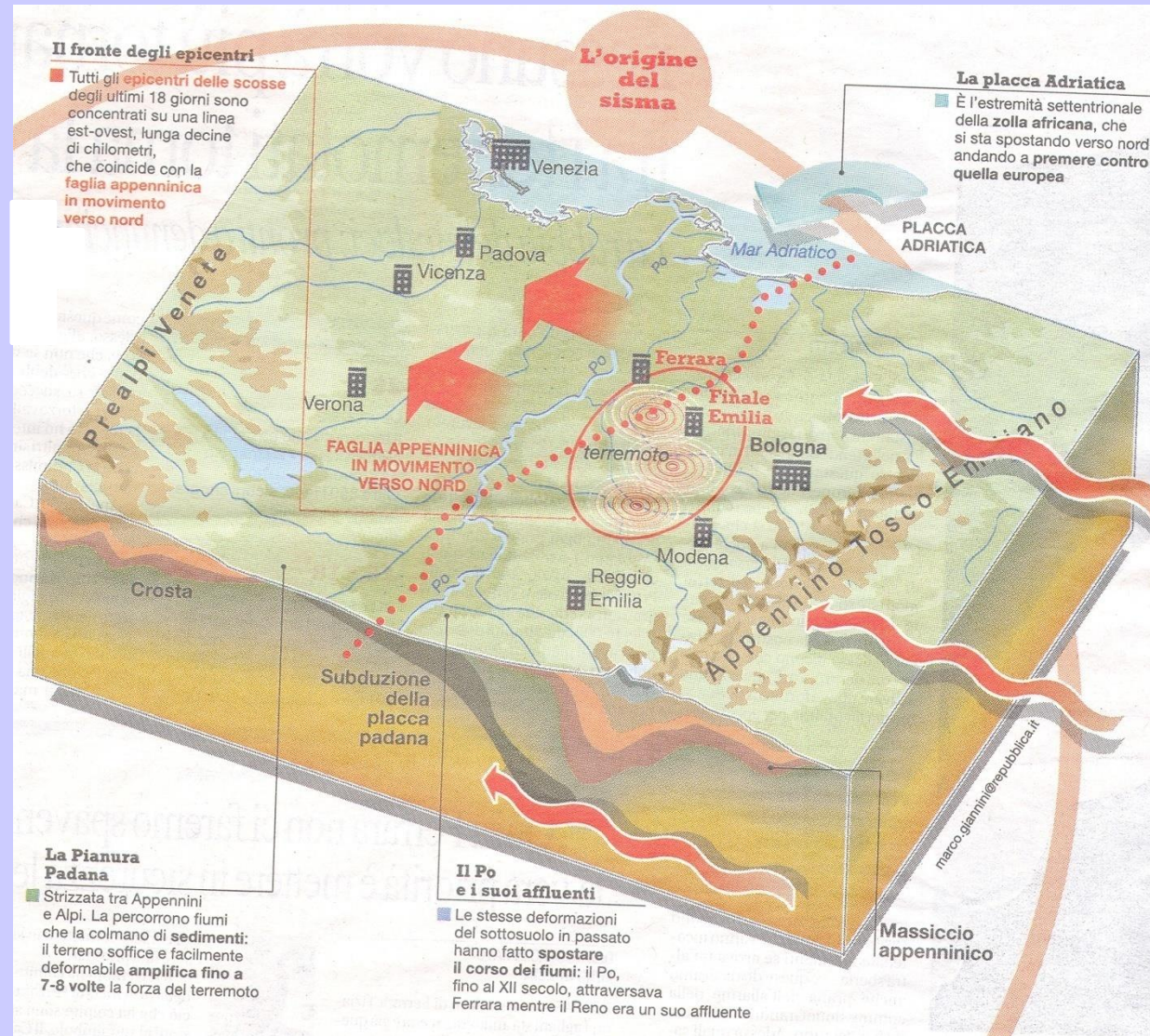


***31 maggio: zona della bassa reggiana e dell'oltrepò mantovano (epicentro: Rolo; ore: 16:58 – M=4)***

***3 giugno: Pianura padana emiliana (epicentro: Novi di Modena; ore: 21:20 M=5,1; Ip=9,2 km)***

## ■ *Terremoto in Emilia (2012)*

**Causa:** L'area interessata dall'innesco del sisma è una delle tante aree sismogenetiche prossime alle zone dell'Appennino, classificata a livello 3 della scala di riferimento del rischio sismico. Il complesso sistema di faglie che si diramano nella bassa pianura emiliana è quello della dorsale di Ferrara, che si raccorda a ovest con quella di Mirandola. L'Istituto Nazionale di Geofisica e vulcanologia non ha escluso che la seconda scossa del 29 maggio, avvenuta a distanza di 9 giorni dal primo evento e di intensità di appena 0,1 gradi Richter inferiore, possa essere scaturita dall'apertura di una nuova faglia. Secondo questa ipotesi non si tratterebbe di una forte scossa di assestamento del primo terremoto, bensì di un secondo terremoto.

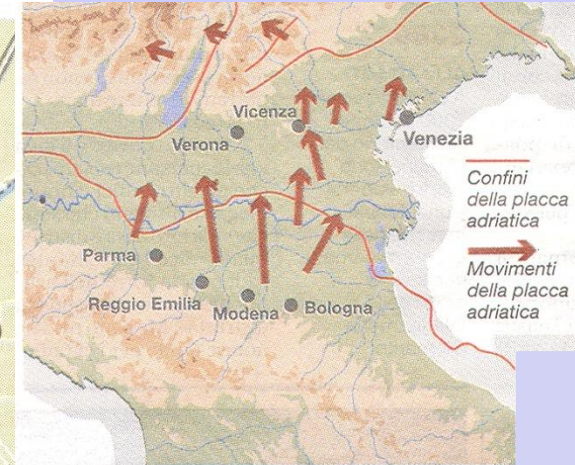


# ■ Terremoto in Emilia (2012)

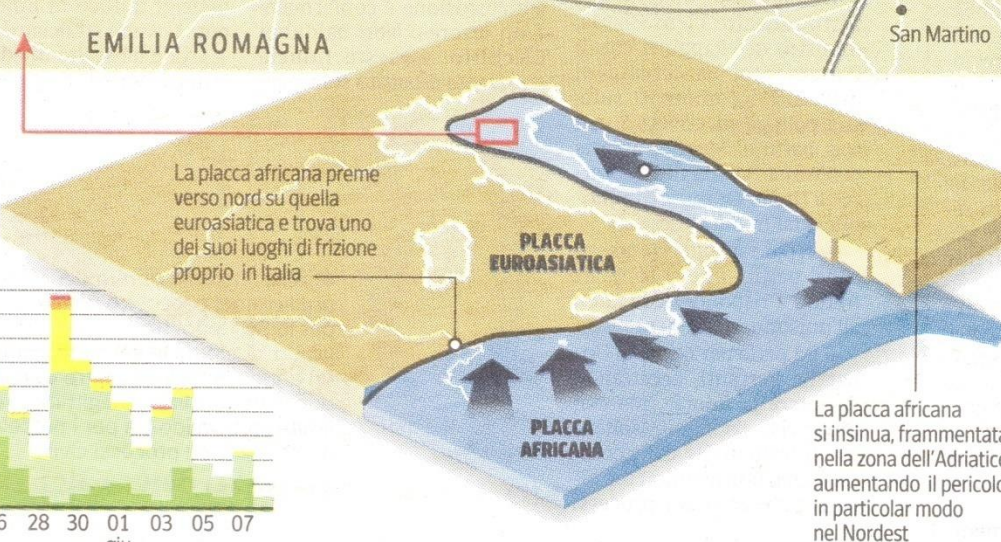
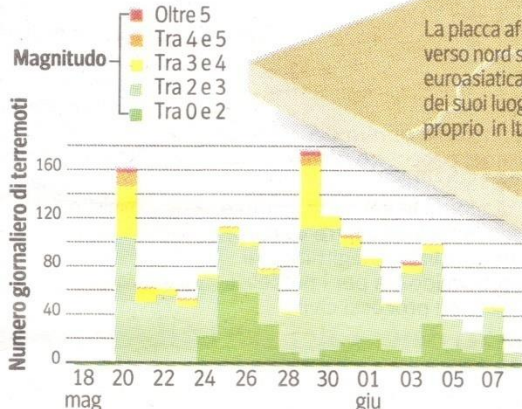
## L'ipotesi

|                   |            |            |            |            |            |
|-------------------|------------|------------|------------|------------|------------|
| <b>Data</b>       | 3 giu      | 29 mag     | 29 mag     | 29 mag     | 20 mag     |
| <b>Ore</b>        | 21.20      | 13.00      | 12.56      | 9.00       | 4.04       |
| <b>Magnitudo</b>  | <b>5.1</b> | <b>5.1</b> | <b>5.3</b> | <b>5.8</b> | <b>5.9</b> |
| <b>Profondità</b> | 9,2 km     | 11 km      | 6,8 km     | 5,2 km     | 6 km       |

Nel documento della Commissione grandi rischi si legge che «nel caso di una ripresa dell'attività sismica nell'area già interessata dalla sequenza in corso, è significativa la probabilità che si attivi **il segmento compreso tra Finale Emilia e Ferrara** con eventi paragonabili ai maggiori eventi registrati nella sequenza»



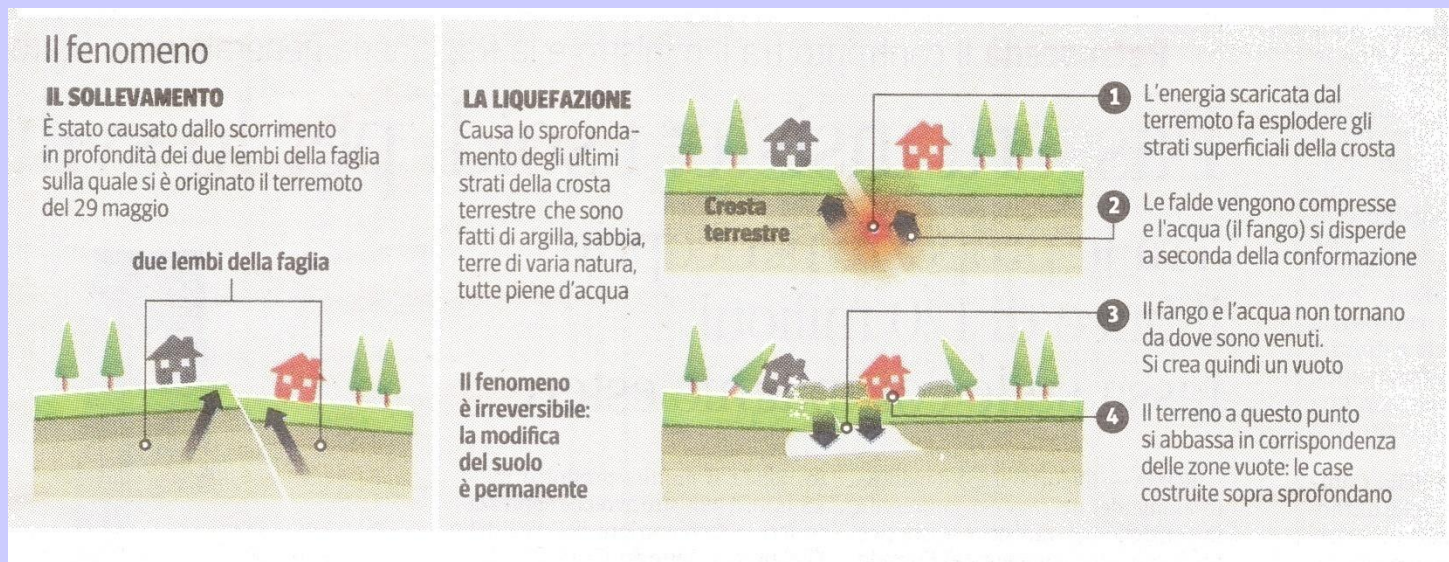
## Le scosse in Emilia



## La spinta degli Appennini

- **Diretta verso nord-nordest:** non si tratta di una spinta regolare, né per intensità né per direzione, come dimostrano dati Gps e profili sismici realizzati dalle industrie petrolifere
- Questa pressione irregolare fa accumulare **tensione nel sottosuolo:** energia che si scarica all'improvviso con un **terremoto**

## ▪ *Terremoto in Emilia (2012)*



***Effetti:*** nell'arco di un mese sono state registrate nell'area più di 500 scosse. Le accelerazioni di picco registrate dall'accelerometro di Mirandola durante le scosse più forti del 20 e del 29 maggio 2012, sono state rispettivamente di 0,31 g e di 0,29 g, valori che, in base alle vigenti carte di pericolosità sismica, renderebbero stimabile in circa 2500 anni il periodo di ritorno di ciascun evento nella medesima area.



***Terremoto di Ferrara del 1570***: alle 19:00 del 17 novembre 1570 si verificò il culmine di un periodo sismico preceduto da altre grandi scosse e che terminò solo alla fine del 1574, il cui principale epicentro fu la città di Ferrara.

La scossa del novembre 1570 fu la più intensa e raggiunse il ***IX grado della Scala Mercalli***.

Da uno dei tre diari compilati all'epoca, risulta che all'inizio del novembre 1570 furono uditi rumori intensi come di acque scroscianti e “rombanti” verso Ravenna, nell'antico corso del Po di Primaro.

La mattina del 16 novembre piccole scosse furono avvertite fra le 15:15 e le 17:15.

Il terremoto causò collassi dei camini, aprì lesioni nelle case, provocò tanto panico fra la popolazione.

Il 17 novembre, alle 01:45, un'ulteriore scossa causò il crollo di 5-600 piccole terrazze ed ulteriori danni alle strutture.

Seguirono altre scosse fino alla più importante delle 19:00 che ebbe effetti devastanti.

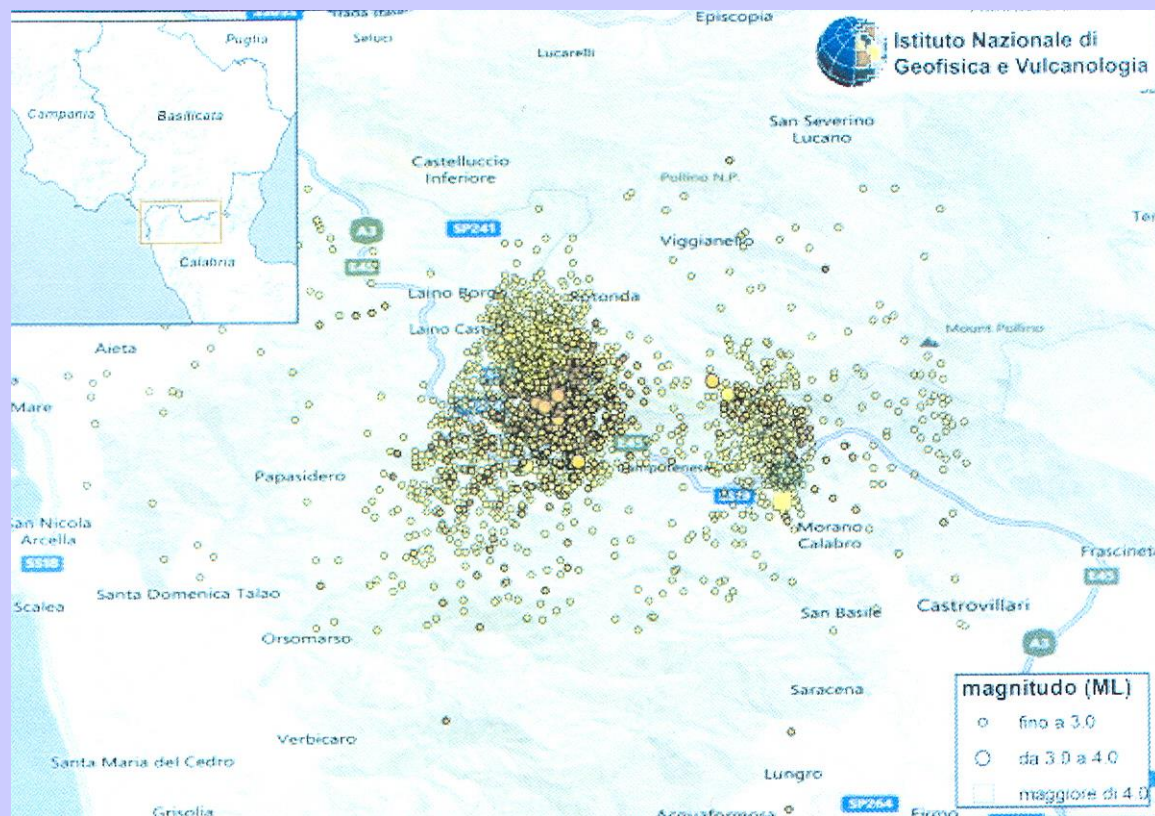
Questa fu prima avvertita come un'oscillazione in direzione est-ovest, poi nord-sud.

Dalla scheda riepilogativa dei danni subiti emerge come la parte medievale della città fosse stata seriamente danneggiata. Furono notati fenomeni di luminescenza dell'aria (“aria rubiconda”) e liquefazione dei terreni.

Le carte riguardanti l'intensità MCS del fenomeno mostrano un preciso allineamento degli eventi con la Dorsale ferrarese. L'ipocentro allora stimato era posto a ***7 km di profondità***. Le formule di permutazione da scala MCS a Magnitudo equivalente ha portato a stabilire un'intensità ***M=5,6***.

## ▪ *Attività sismica nel Pollino fra 2010 e 2012*

**Manifestazioni:** Dal 1 settembre al 2 ottobre 2012 l'area del Pollino, da oltre due anni sede di una sequenza di eventi più o meno sensibili, ha avuto un'attività caratterizzata da più di 400 scosse, delle quali 6 con Magnitudo maggiore o uguale a 3. L'evento di maggiore intensità è quello registrato il 14 settembre alle ore 05:50 ( $M=3,7$ ), seguito da quello del 1 ottobre, verificatosi alle 22:28 con Magnitudo pari a 3,6.



La sequenza è iniziata nel 2010 ed è caratterizzata da periodi di attività sismica frequente intervallati da periodi di calma. In particolare, si è verificata un'intensa attività sismica ad aprile 2010, ad ottobre 2010 e tra novembre 2011 e febbraio 2012, per poi riprendere a fine maggio 2012 con il terremoto di Magnitudo 4,3, verificatosi il 28 maggio 2012 alle 3:06 (successivamente è stata più sensibile la scossa del 19 agosto, alle 19:45).

## ▪ *Terremoto del Pollino – 26 ottobre 2012*



Il giorno 26 ottobre 2012, alle ore 01:05 locali, un terremoto di magnitudo 5.0 ha colpito l'area appenninica fra la Basilicata e la Calabria.

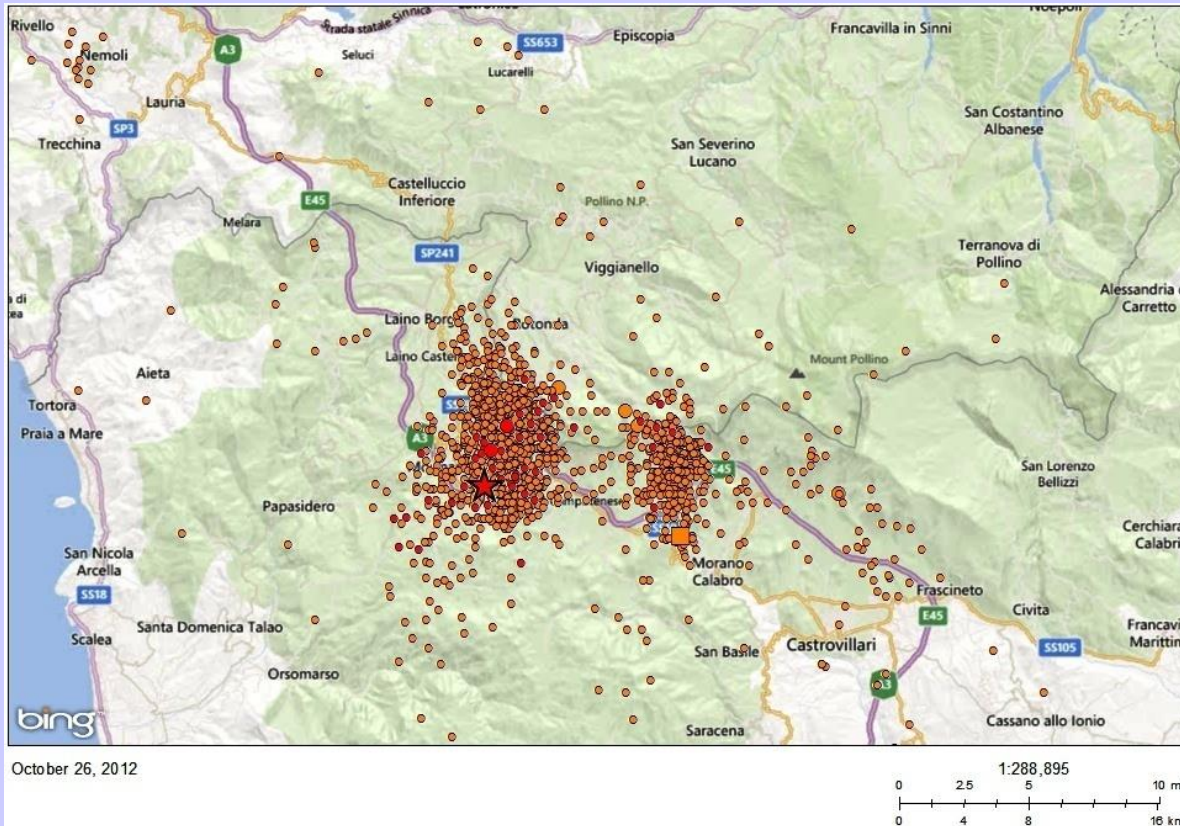
Negli ultimi due anni nella zona si sono verificati più di 2.200 eventi sismici.

L'evento è stato localizzato dalla Rete Sismica Nazionale dell'INGV nell'area del Pollino, con profondità di circa 6 km.

In meno di quattro ore sono seguite alla prima altre 21 scosse d'intensità compresa tra 2 e 3.3. Case lesionate a Mormanno, in strada gli abitanti e i pazienti ricoverati nella struttura sanitaria. Panico anche a Rotonda e Cosenza.

Secondo l'Istituto nazionale di geofisica e vulcanologia (INGV), il sisma ha avuto ipocentro a 6,3 chilometri di profondità ed epicentro in prossimità del comune potentino di Rotonda e di quelli cosentini di Laino Borgo, Laino Castello e Mormanno. **L'area è già stata colpita in passato da terremoti di energia moderata come nel 1693 (M = 5.7), 1708 (M = 5.5) e 1998 (M = 5.6), che hanno prodotto effetti di danneggiamento fino al grado VIII-IX della scala MCS (Catalogo Parametrico dei Terremoti Italiani, CPTI, 2011).**

## ■ *Terremoto del Pollino – 26 ottobre 2012*



Sequenza sismica nell'area del Pollino dal 1 gennaio 2012 al 26 ottobre 2012.

**In rosso i terremoti dal 24 al 26 ottobre: la stella indica l'evento del giorno 26.10.2012 alle ore 01:05, di magnitudo 5,0.**

**Il quadrato, l'evento del giorno 28.05.2012 alle ore 03.06 di magnitudo 4,3.**

Da oltre due anni l'area del Pollino è interessata da uno sciame sismico che ha registrato oltre 2.200 scosse. Quella del 26 ottobre è stata la più forte; oltre 2.000 sono state di magnitudo minore a 2, quasi 200 di magnitudo tra 2 e 3, sei di magnitudo tra 3 e 4, una di magnitudo 4,3.

## ▪ *Terremoto in Garfagnana del 2013 – 25 gennaio 2013*



**Epicentro fra Castiglione Garfagnana, Pieve Fosciana e Fosciandora. Un terremoto di magnitudo circa 4,8 in Garfagnana, una regione della provincia di Lucca compresa tra le Alpi Apuane e l'Appennino Tosco emiliano.**

**La scossa è stata avvertita per qualche secondo anche in Emilia Romagna (Bologna, Modena e Reggio Emilia) e Liguria, a Firenze e Milano. Poi il Veneto e la zona di Bergamo. Quasi tutto il centro nord, insomma.**

**M=4,8; profondità=15 km; un evento con caratteristiche simili e M=4,5 risale al 1985 (periodo di ritorno poco meno di 30 anni).**

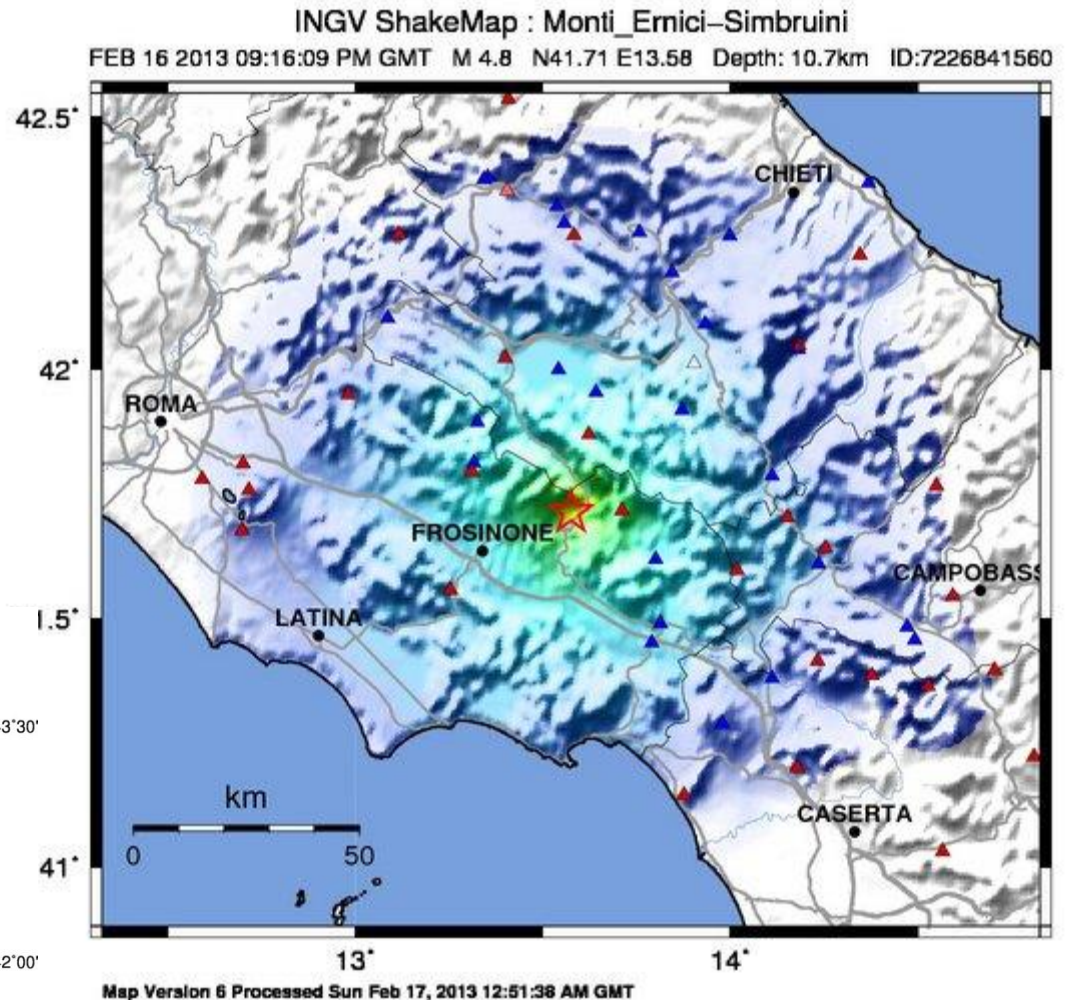
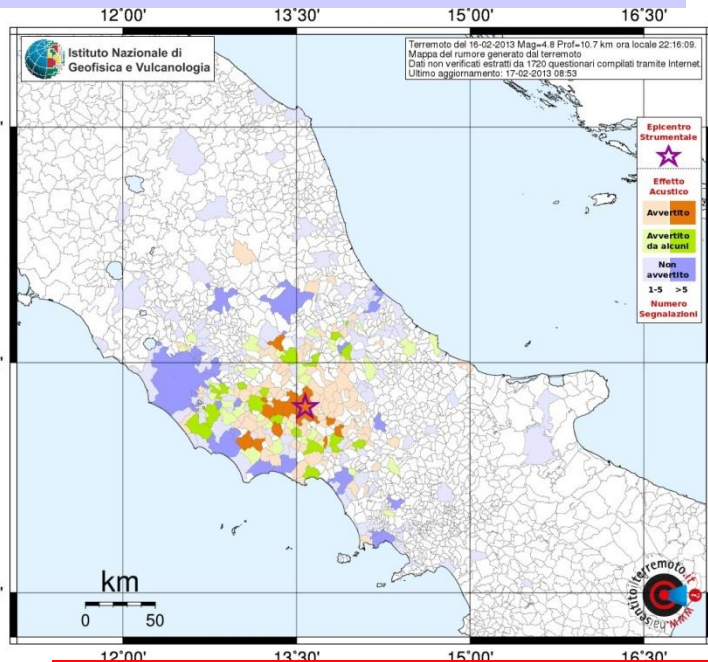
■ *Terremoto dell'appennino laziale (febbraio-marzo 2013)*

- 16 febbraio 2013

Epicentro a Frosinone;

M=4,8;

Profondità focale = 10,7 km.



| PERCEIVED SHAKING      | Not felt | Weak   | Light | Moderate   | Strong | Very strong | Severe     | Violent | Extreme    |
|------------------------|----------|--------|-------|------------|--------|-------------|------------|---------|------------|
| POTENTIAL DAMAGE       | none     | none   | none  | Very light | Light  | Moderate    | Mod./Heavy | Heavy   | Very Heavy |
| PEAK ACC.(%g)          | <0.1     | 0.5    | 2.4   | 6.7        | 13     | 24          | 44         | 83      | >156       |
| PEAK VEL.(cm/s)        | <0.07    | 0.4    | 1.9   | 5.8        | 11     | 22          | 43         | 83      | >160       |
| INSTRUMENTAL INTENSITY | I        | II-III | IV    | V          | VI     | VII         | VIII       | IX      | X+         |

Scale based upon Wald, et al.; 1999

▪ *Terremoto nel Chianti (dicembre 2014 - marzo 2015)*

- 18 dicembre 2014

**Epicentro: San Casciano Val di Pesa;**

**M=3,5 (5:07) - 4,1(11:36);**

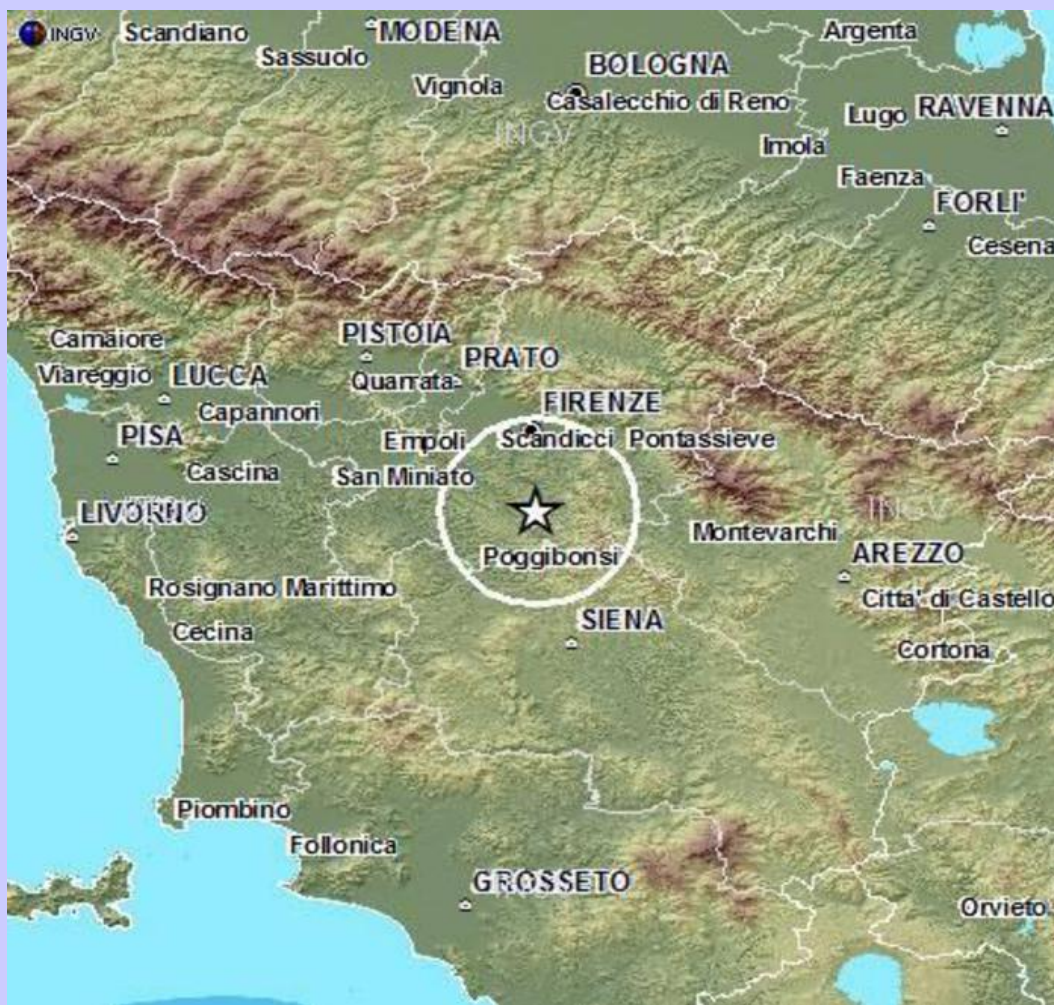
**Profondità focale  $\approx$  7,4 km.**

- 4 marzo 2015

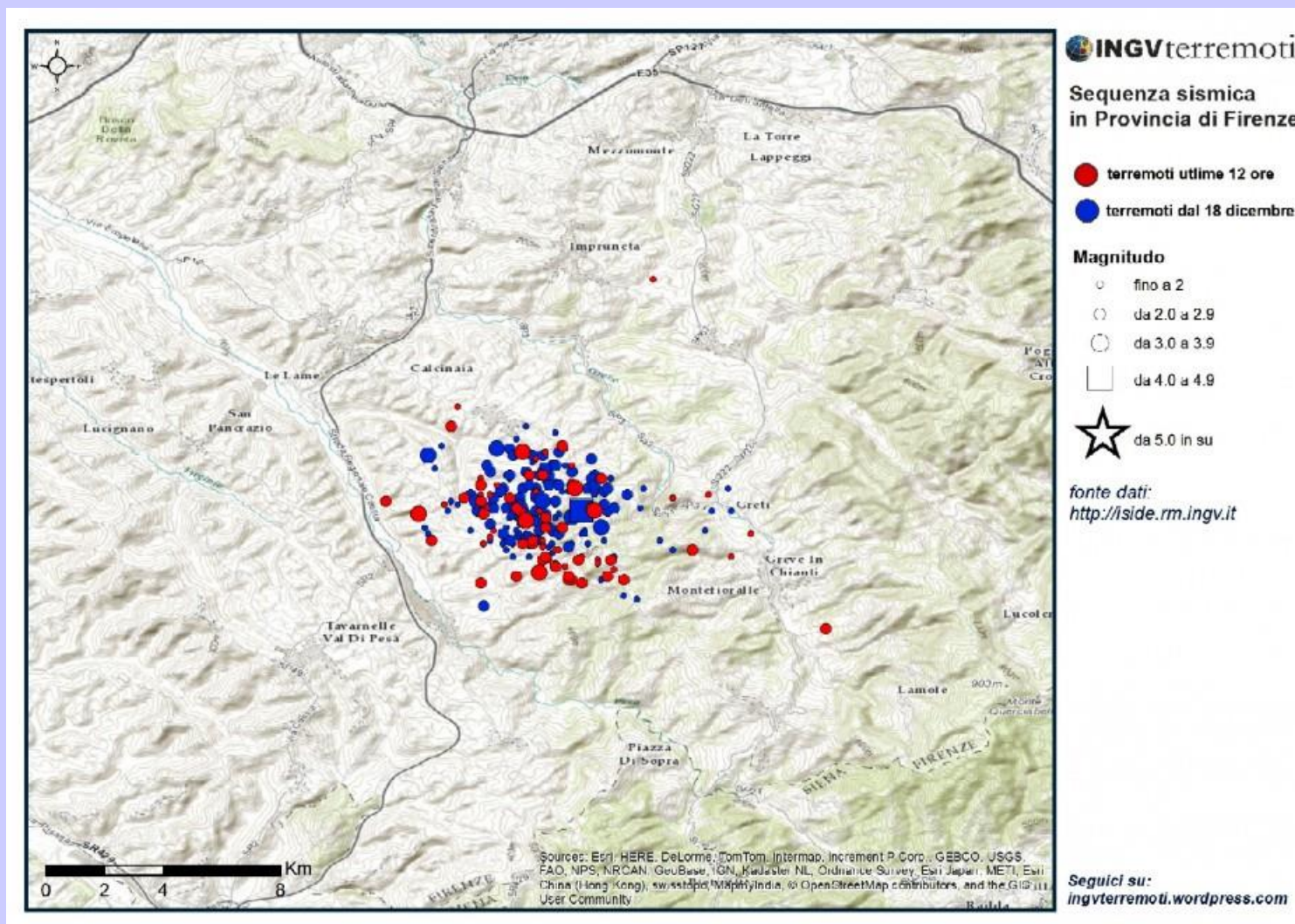
**Epicentro tra i comuni di Tavarnelle Val di Pesa, Barberino Val d'Elsa e San Casciano Val di Pesa;**

**M=3,3 (00:51) - 3,7(01:00);**

**Profondità focale = 10 km.**

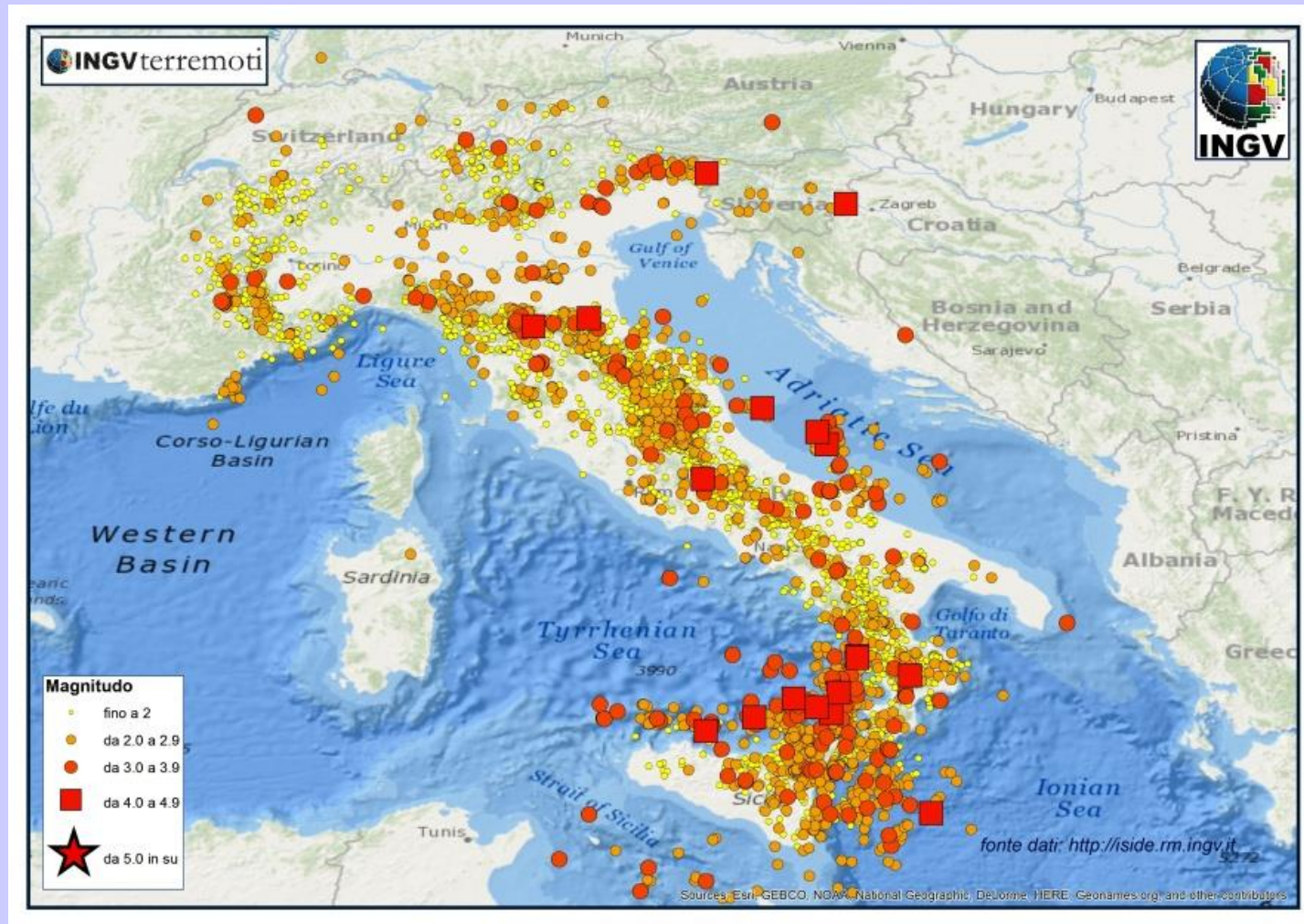


## ■ *Terremoto nel Chianti (dicembre 2014 - marzo 2015)*





## Attività sismica in Italia nel 2015



- *Attività sismica in Italia nel 2015*

Sono stati **14973** i **terremoti localizzati dalla Rete Sismica Nazionale** (RSN) dell'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia nel 2015. Nello stesso anno in Italia e nelle aree geograficamente limitrofe al territorio nazionale, sono avvenuti **in media poco più di 40 terremoti al giorno, quasi un terremoto ogni mezz'ora.**

Come ogni anno, la gran parte dei terremoti registrati ha avuto una magnitudo inferiore a 2,0: oltre **13.000 eventi.**

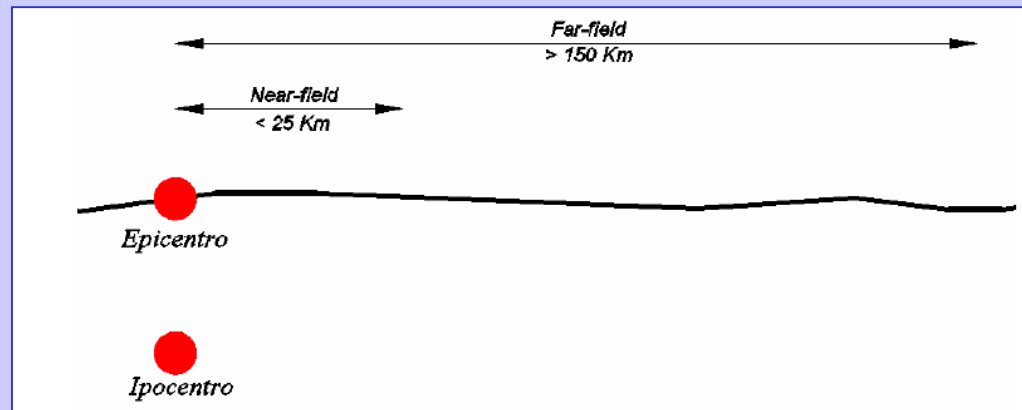
Se ci si limita a contare i **terremoti con magnitudo uguale o superiore a 2,5** (quelli per i quali l'INGV effettua una comunicazione al Dipartimento della Protezione Civile) sono **593** gli eventi nel 2015, mentre nel 2014 si erano superati i 700 terremoti.

## ■ Accelerogrammi

Ai fini dell'analisi strutturale e della valutazione della vulnerabilità sismica si fa riferimento ad *accelerogrammi* di diversa origine.

***Accelerogrammi naturali.*** Conservano le caratteristiche specifiche del sisma in termini d'*intensità* I nel sito di registrazione, *magnitudo* M dell'evento, e *distanza* d del sito dall'epicentro.

Per siti diversi da quello di registrazione, l'utilizzo di questi accelerogrammi deve avvenire con cautela in quanto, a parità d'intensità, possono dare luogo a caratteristiche ben diverse da quelle attese per l'analisi.



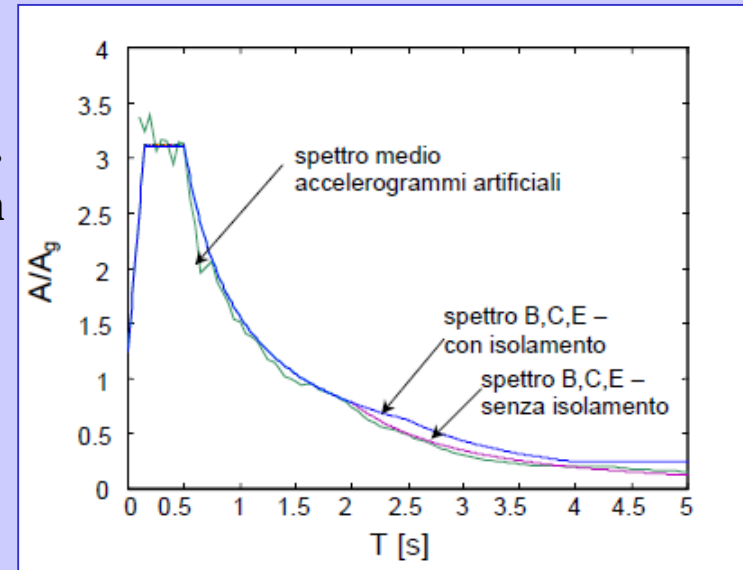
**Vulnerabilità di una costruzione:** caratteristica stimata sulla base del danno che la struttura subisce per effetto di un evento sismico di data intensità.

L'indice di vulnerabilità riflette la capacità che la costruzione ha di rispondere ad azioni di tipo sismico.

## ■ Accelerogrammi

### ***Accelerogrammi sintetici spettro-compatibili.***

Possono essere generati a partire da alcune caratteristiche attese per le loro componenti. Con riferimento alla risposta dinamica di un oscillatore lineare, si possono generare segnali accelerometrici che determinino dati valori di spostamento sullo stesso sistema. Tali *accelerogrammi* si definiscono "*spettro-compatibili*" in quanto vengono costruiti a partire da uno spettro di risposta atteso.



***Accelerogrammi derivanti da modelli sismologici***, ottenuti artificialmente a partire dalla modellazione dei fenomeni di generazione dei segnali sismici e di propagazione dei terremoti.

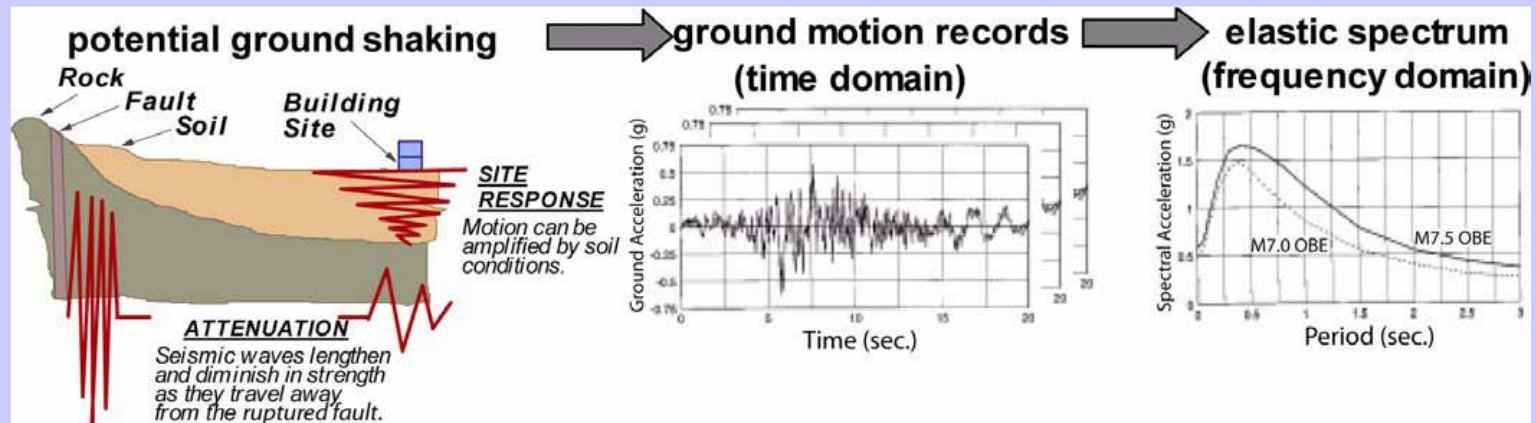
Elementi fondamentali sono la *dimensione della faglia*, dal cui scorrimento si origina il movimento tellurico, e la *natura del mezzo*, entro cui si propagano le onde.

Gli *accelerogrammi* vengono usati prevalentemente nel caso di *analisi non lineari* per ottenere una storia temporale riprodotte la risposta, anche in ambito non lineare, della struttura analizzata sotto l'azione sismica.

Molti programmi di calcolo agli elementi finiti contengono, nelle proprie banche dati, degli *accelerogrammi* di eventi sismici significativi.

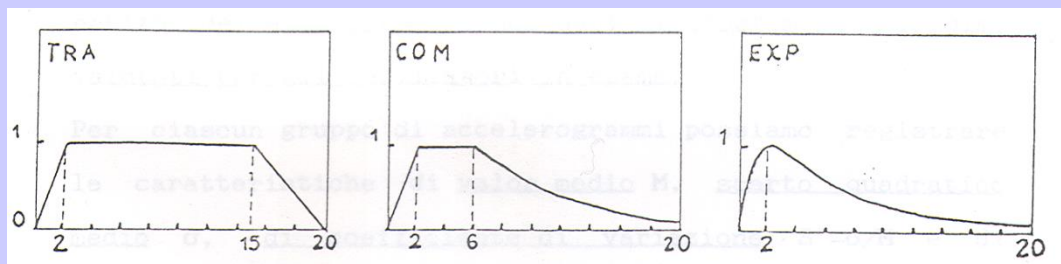
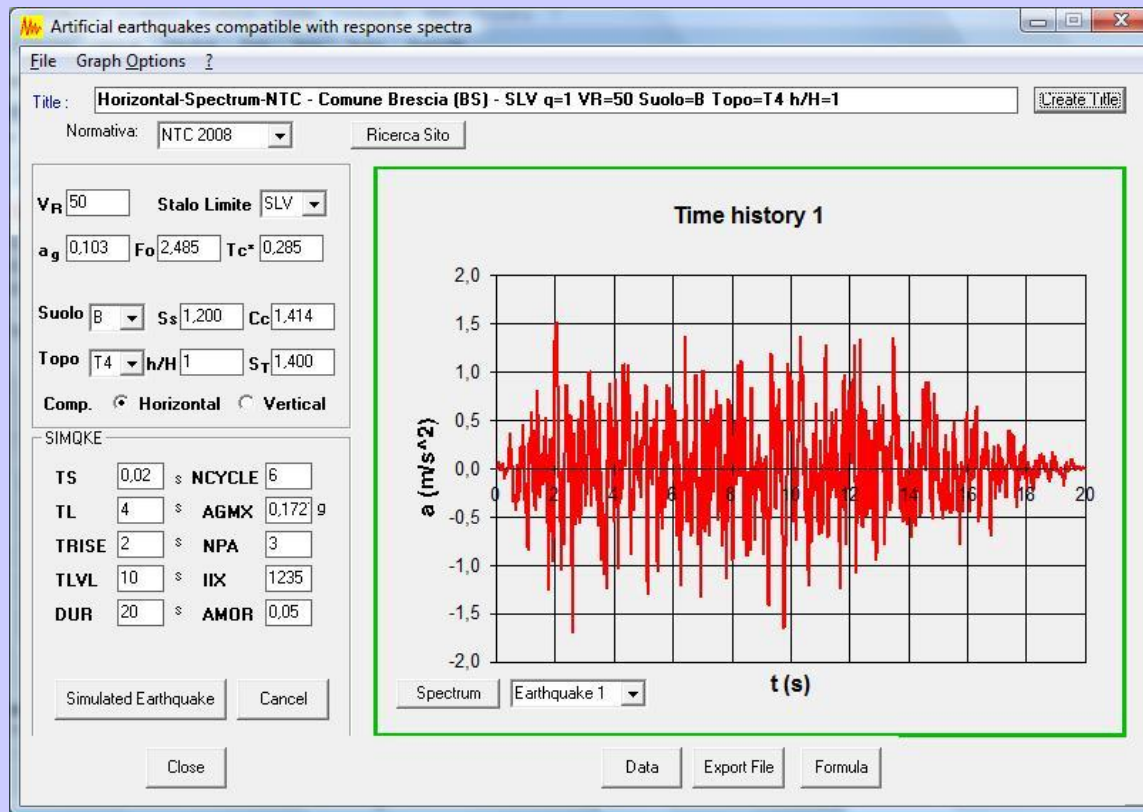
Di solito questi *accelerogrammi* sono "normalizzati" al valore massimo, in valore assoluto, dell'accelerazione di picco del terreno (PGA).

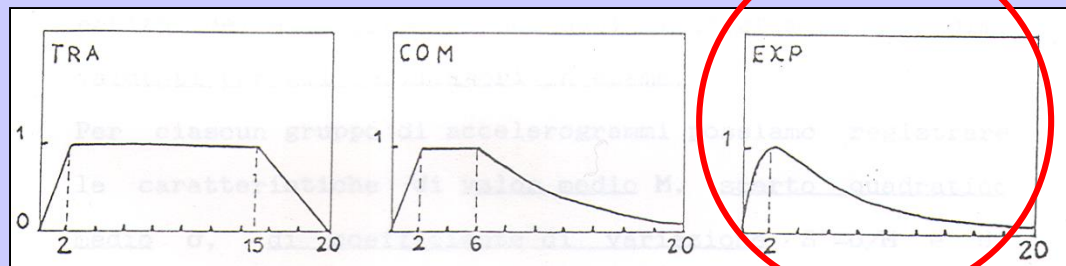
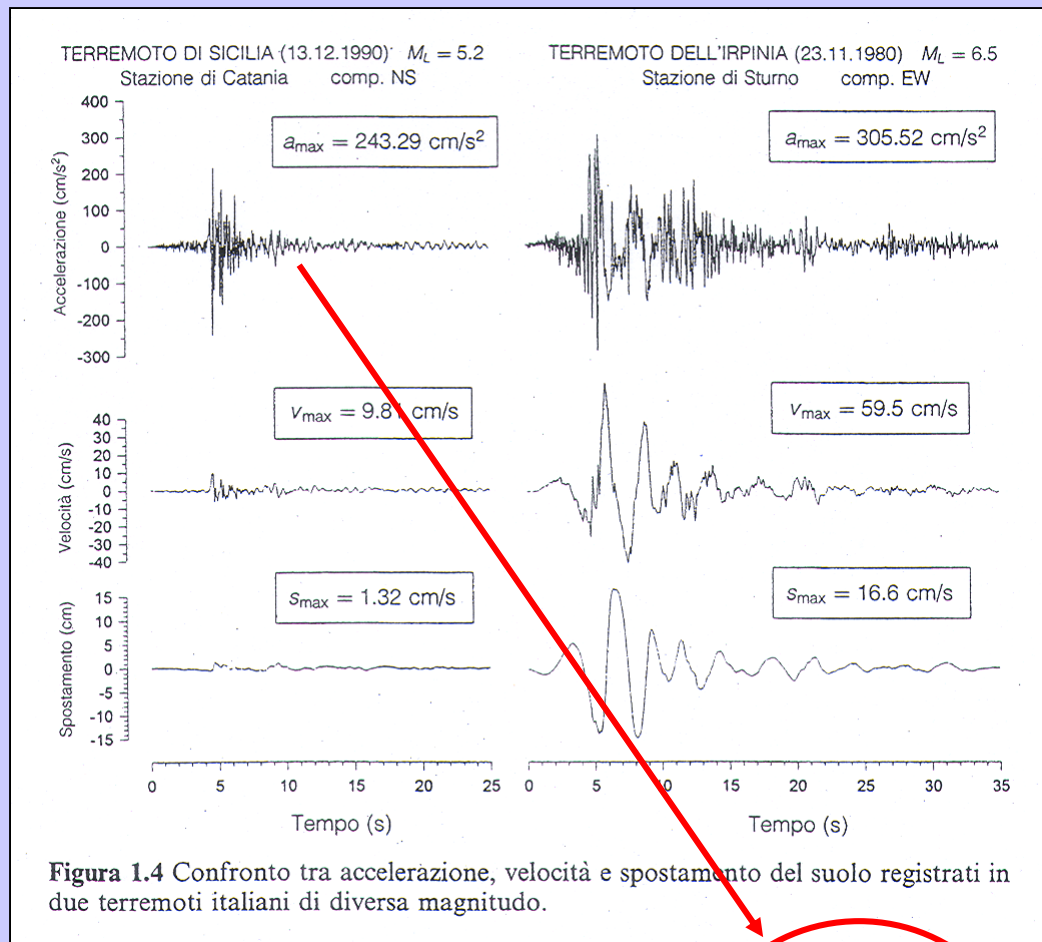
Diverse istituzioni accademiche e di ricerca hanno messo a disposizione in rete le proprie banche dati, da cui è possibile ottenere le registrazioni relative ad eventi sismici più o meno recenti, in termini di *magnitudo*, *distanza dal sito*, *mappatura geologica*, PGA (Peak Ground acceleration), PGV (Peak Ground Velocity), PGD (Peak Ground Displacement).



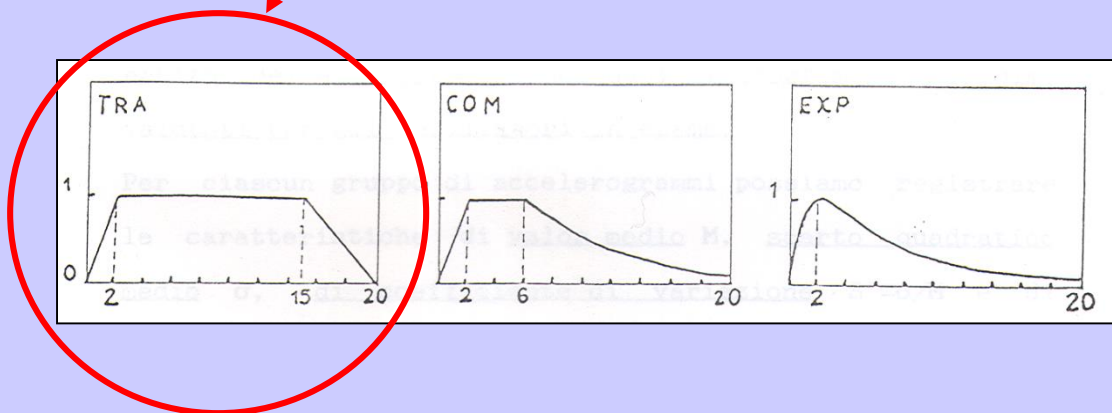
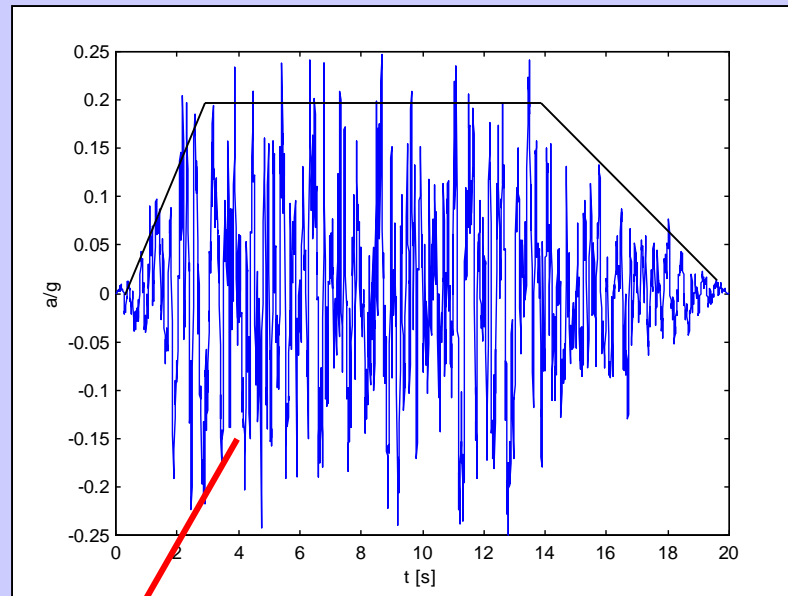
# Codici di calcolo per la generazione di accelerogrammi spettro-compatibili

SIMQKE





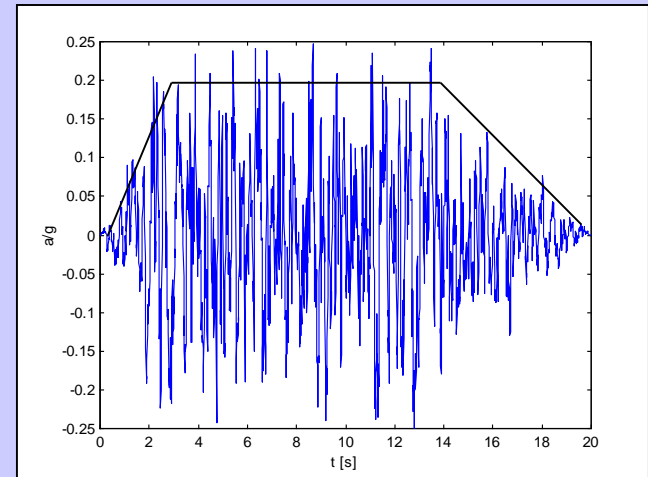
## ➤ Esempio di accelerogramma con involucro trapezoidale





**NTC 14/01/2008 – NTC 2018 (§3.2.3.6):** “Gli stati limite, ultimi e di esercizio, possono essere verificati mediante l’uso di accelerogrammi, o artificiali o simulati o naturali. Ciascun accelerogramma descrive una componente, orizzontale o verticale, dell’azione sismica; l’insieme delle tre componenti (due orizzontali, tra loro ortogonali ed una verticale) costituisce un gruppo di accelerogrammi **di storie temporali del moto del terreno.**”

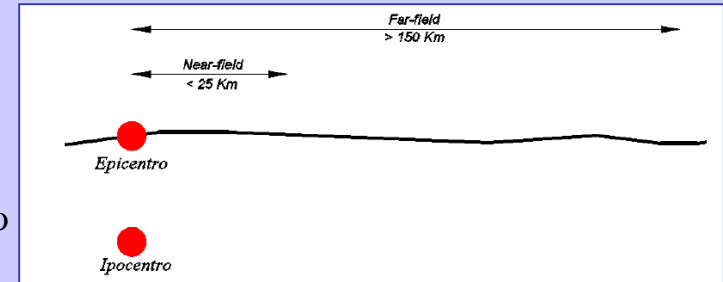
La durata degli accelerogrammi artificiali deve essere stabilita sulla base della magnitudo e degli altri parametri fisici che determinano la scelta del valore di  $a_g$  e di  $S_s$ . In assenza di studi specifici la durata della parte pseudo-stazionaria **associato alla storia deve avere durata di 10 s** e deve essere preceduta e seguita da tratti di ampiezza crescente da zero e decrescente a zero, di modo che la durata complessiva dell’accelerogramma sia non inferiore a 25 s.



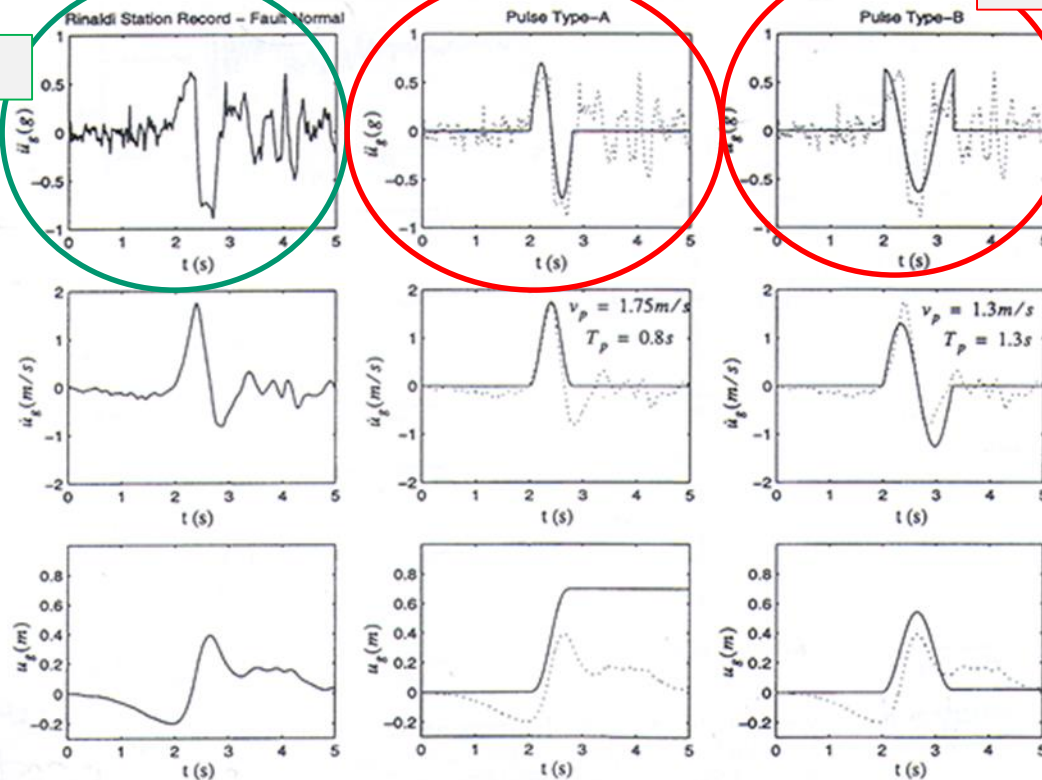
Gli accelerogrammi artificiali devono avere uno spettro di risposta elastico coerente con lo spettro di risposta adottato nella progettazione. La coerenza con lo spettro elastico è da verificare in base alla media delle ordinate spettrali ottenute con i diversi accelerogrammi, per un coefficiente di smorzamento viscoso  $\xi$  del 5%. L’ordinata spettrale media non deve presentare uno scarto in difetto superiore al 10%, rispetto alla corrispondente componente dello spettro elastico, in alcun punto del maggiore tra gli intervalli  $0,15s \div 2,0s$  e  $0,15s \div 2T$ , in cui  $T$  è il periodo fondamentale di vibrazione della struttura in campo elastico, per le verifiche agli stati limite ultimi, e  $0,15s \div 1,5T$ , per le verifiche agli stati limite di esercizio...”

## Segnali sismici del tipo near-fault

Le onde sismiche hanno caratteristiche diverse in base alla quantità di terreno che devono attraversare e, a parità di altri fattori, le onde che giungono in superficie ad una modesta distanza epicentrale (near-field fino a 25 km) producono effetti di entità superiore rispetto a quelle che giungono ad elevata distanza epicentrale (far-field, oltre 150 km), spesso presentando singolari caratteristiche in frequenza.



Registrazione reale



Registrazioni artificiali

Makris, N. and Chang S-P. (2000). Effect of viscous, viscoplastic, and friction damping on the response of seismic isolated structures, *Earthquake Engineering and Structural Dynamics*, 29, 85-107.

Figure 3. Fault normal components of the acceleration, velocity and displacement time histories recorded at the Rinaldi station during the 17 January 1994 Northridge, California earthquake (left), a cycloidal type-A pulse (center) and a cycloidal type-B (right).

## Segnali sismici del tipo near-fault

### Pulse Type-A

$$\ddot{u}_g(t) = \omega_p \frac{v_p}{2} \sin(\omega_p t) \quad 0 \leq t \leq T_p$$

$$\dot{u}_g(t) = \frac{v_p}{2} - \frac{v_p}{2} \cos(\omega_p t) \quad 0 \leq t \leq T_p$$

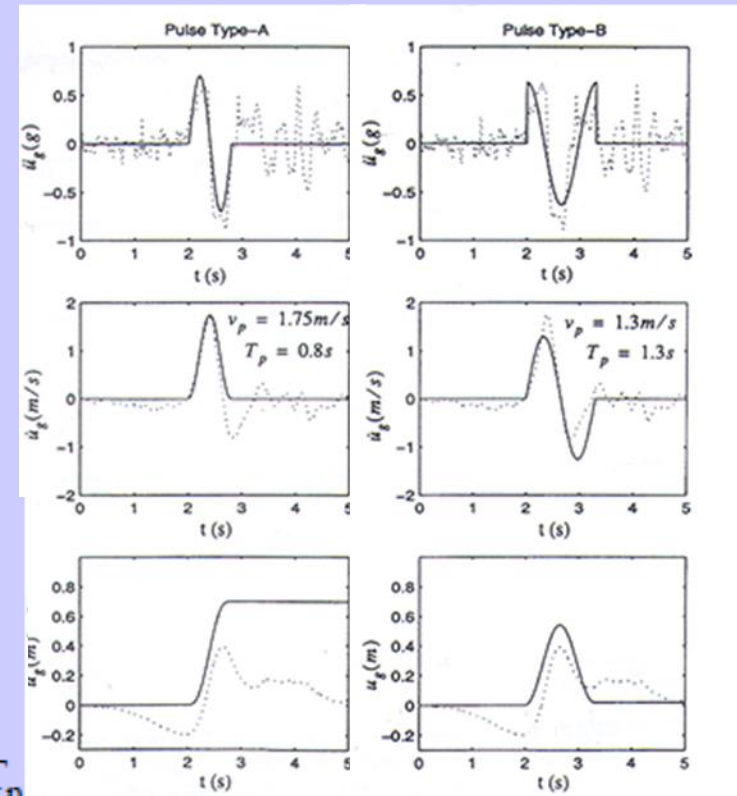
$$u_g(t) = \frac{v_p}{2} t - \frac{v_p}{2\omega_p} \sin(\omega_p t) \quad 0 \leq t \leq T_p$$

$$\ddot{u}_g = \omega_p v_p \cos(\omega_p t) \quad 0 \leq t \leq T_p$$

### Pulse Type-B

$$\dot{u}_g = v_p \sin(\omega_p t) \quad 0 \leq t \leq T_p$$

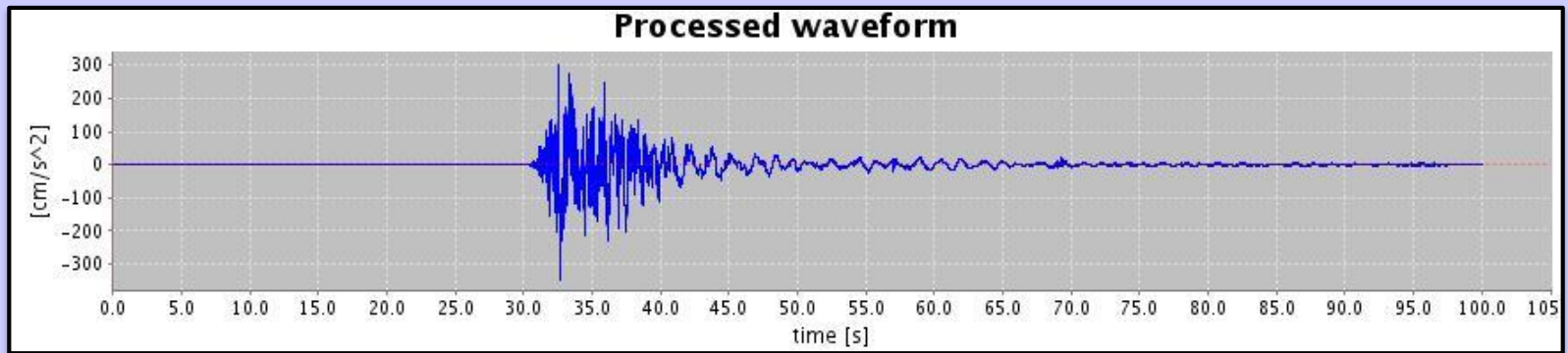
$$u_g(t) = \frac{v_p}{\omega_p} - \frac{v_p}{\omega_p} \cos(\omega_p t) \quad 0 \leq t \leq T_p$$



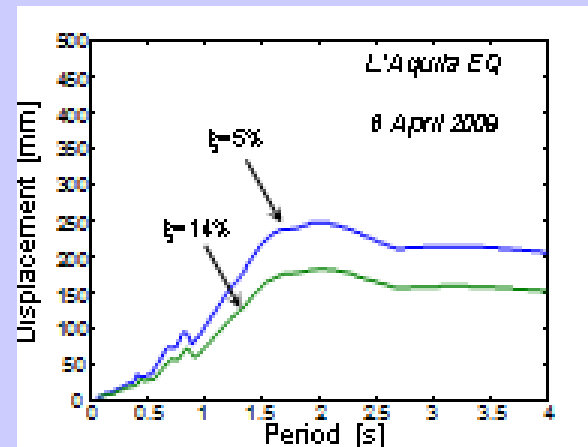
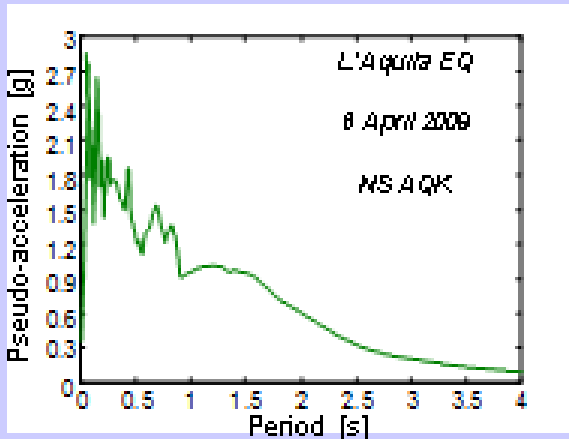
Makris, N. and Chang S-P. (2000). Effect of viscous, viscoplastic, and friction damping on the response of seismic isolated structures, *Earthquake Engineering and Structural Dynamics*, 29, 85-107.

## Segnali sismici del tipo near-fault

### Terremoto dell'Abruzzo ( aprile 2009)

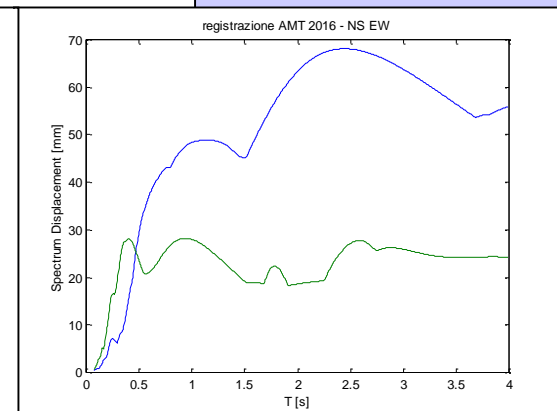
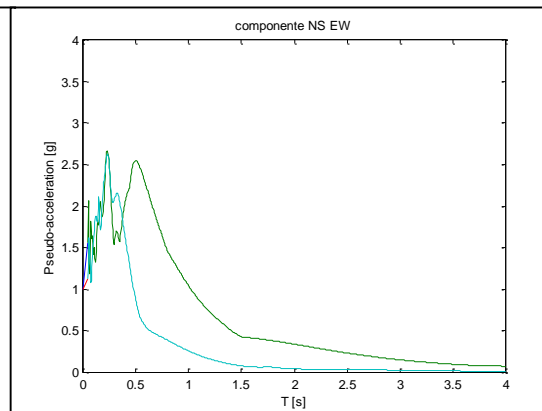
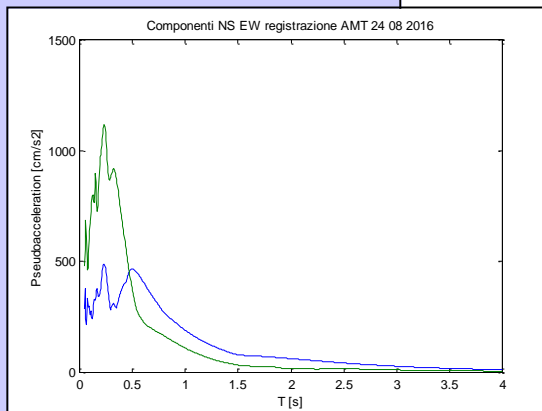
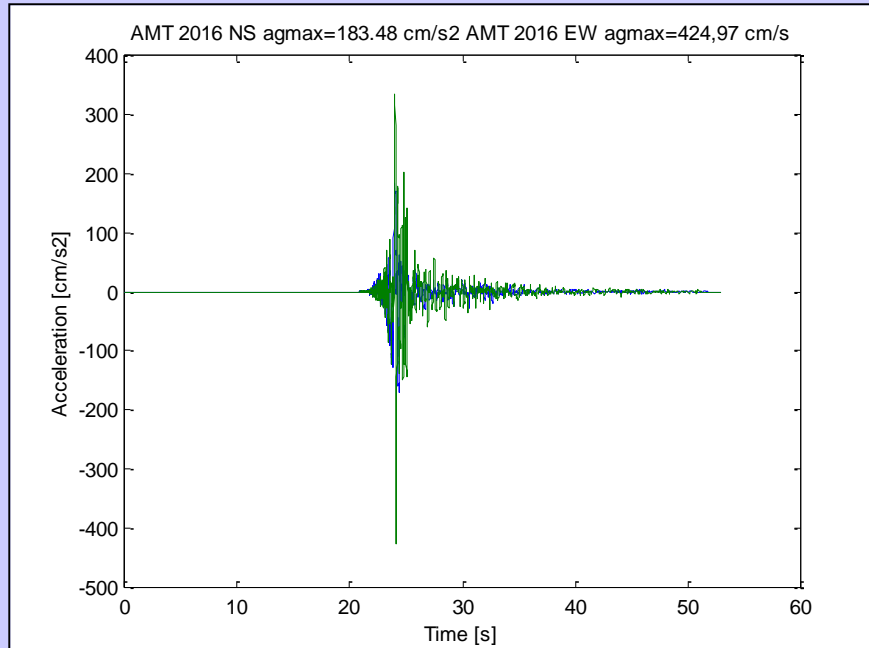


Componente N-S della scossa tellurica del 6 aprile 2009 (03:32 a.m.)  
Stazione sismologica della città dell'Aquila  
Profondità focale di 5,6 km;  $M = 6,3$ ;  $PGA = 0,353 g$ .

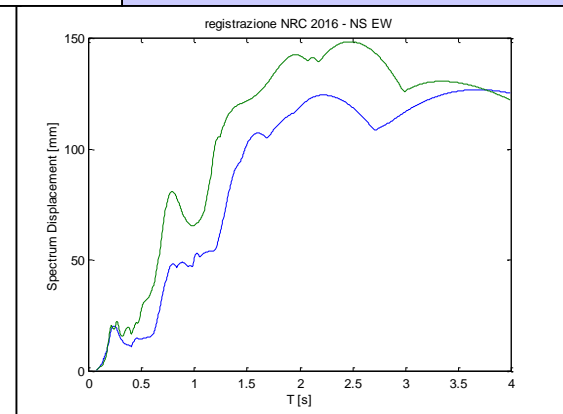
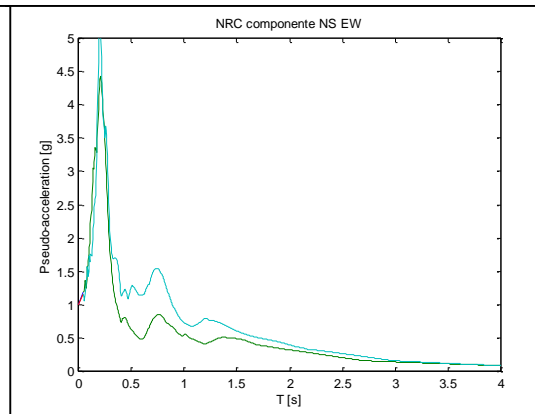
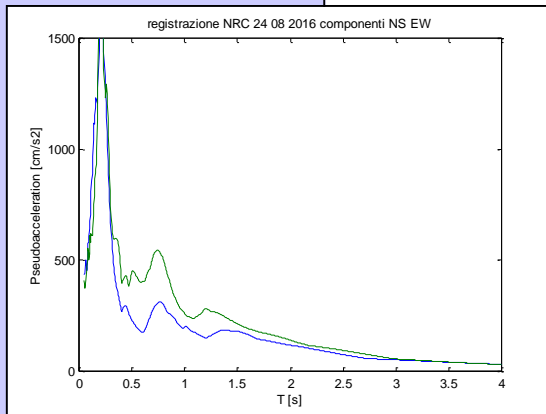
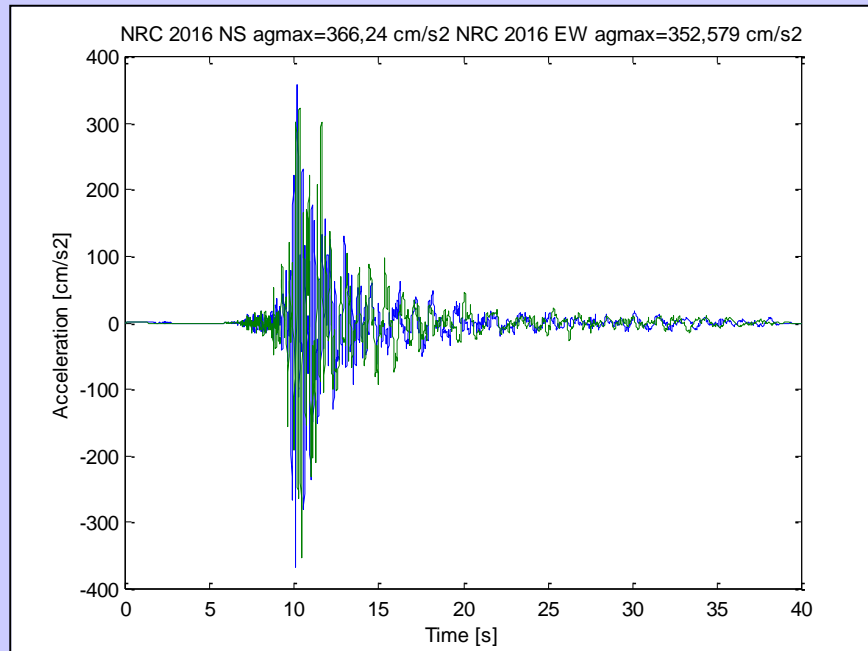


## Terremoto del Centro-Italia ( 24 agosto 2016)

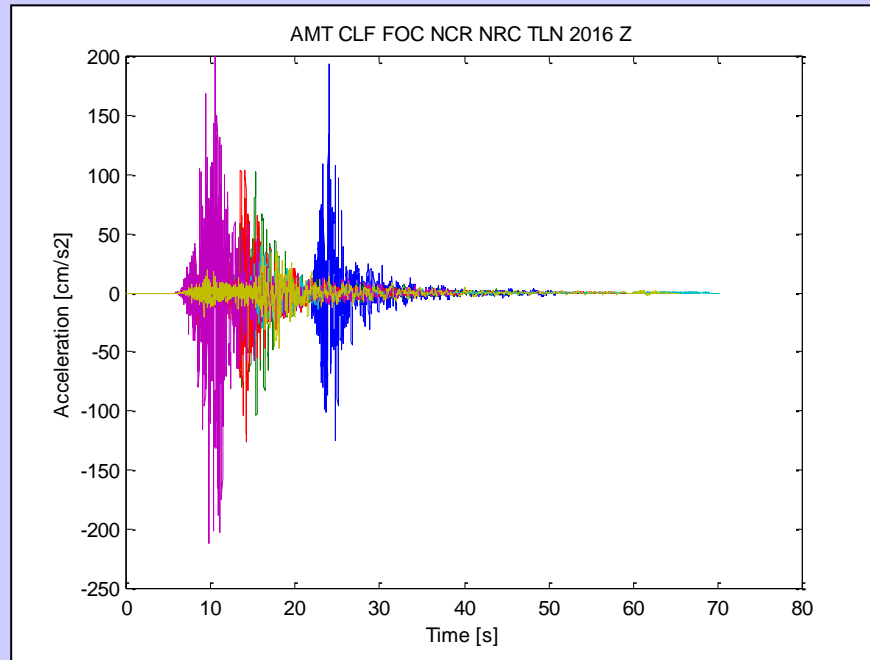
### Componenti NS e EW - Registrazione di Amatrice ( 24 agosto 2016)



## Componenti NS e EW - Registrazione di Rieti ( 24 agosto 2016)



## Componente Z - RegISTRAZIONI di Amatrice, Colfiorito, Nocera Umbra, Rieti, Tolentino ( 24/08/2016)



## Componente Z - RegISTRAZIONI di Amatrice e Rieti ( 24/08/2016)

