

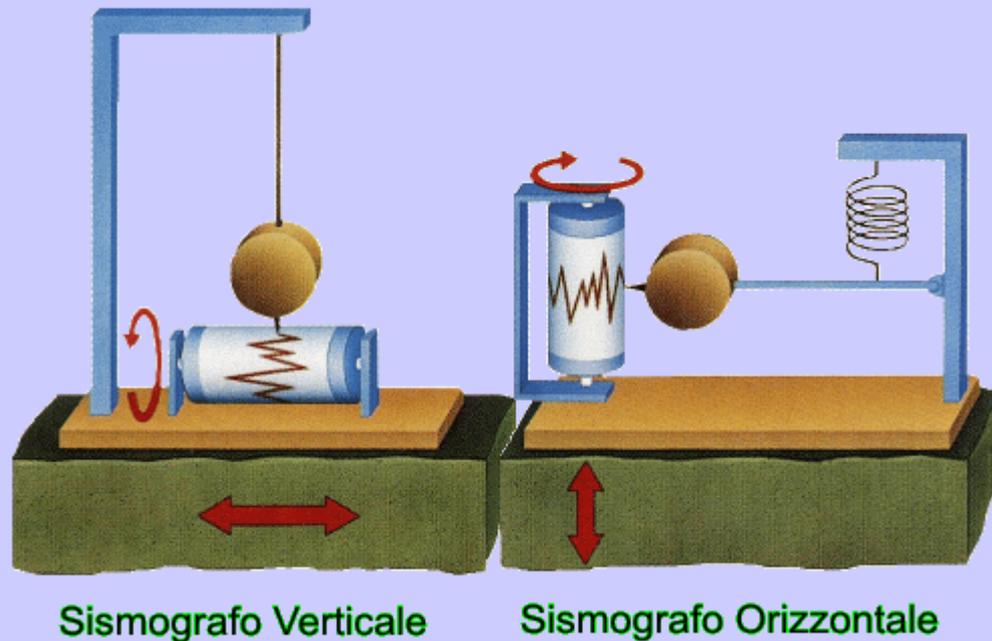
## ▪ *Strumenti di registrazione*

**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.**

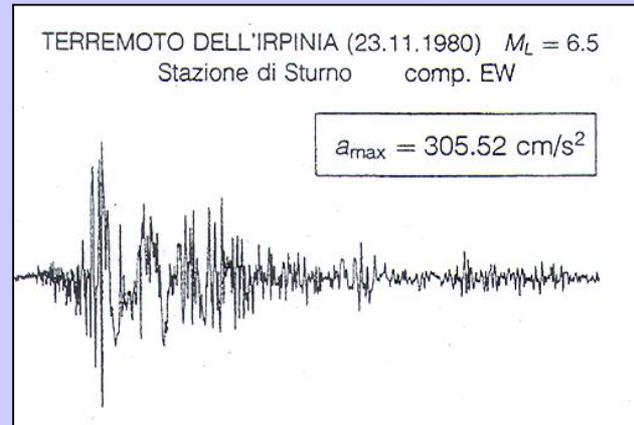


***Accelerografi:*** registrano le accelerazioni prodotte dal sisma secondo tre direzioni ortogonali

**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

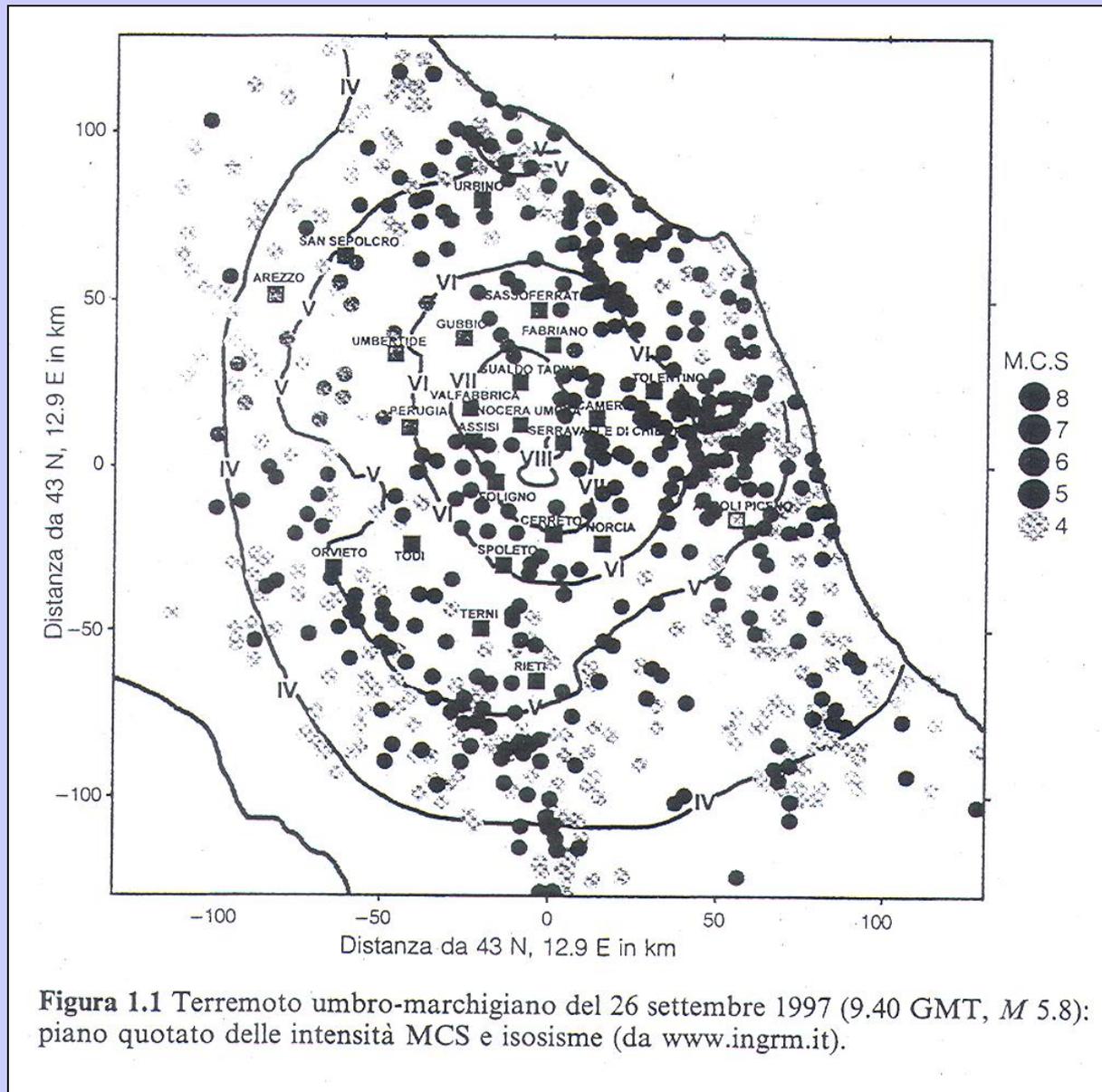
A seguito di rilevazioni speditive, che in alcuni casi possono riguardare anche molte migliaia di edifici, viene costruita una mappa degli effetti del terremoto, sotto forma di piano quotato, in cui su ciascuna località viene riportato il grado d'intensità, o tracciando curve isosisme attorno all'epicentro.

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.



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 $\text{mm}/\text{sec}^2$	
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 $\text{mm}/\text{sec}^2$	
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. 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 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 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 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 1 g	Rotaie fortemente deviate. Tubazioni sotterranee completamente fuori servizio. 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

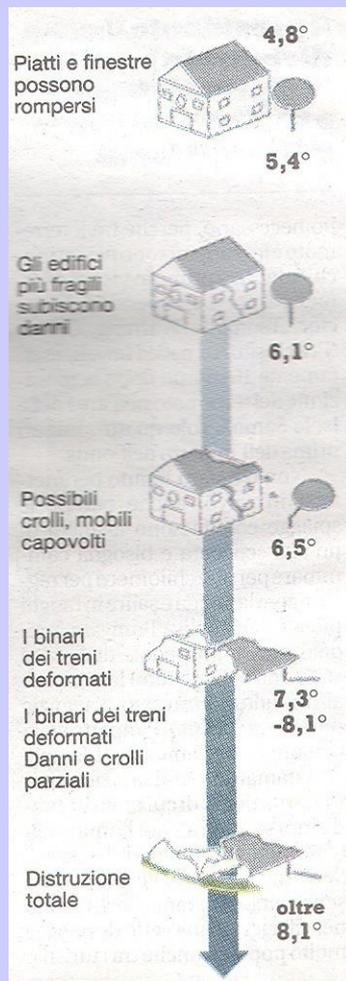
EMS-98 Intensità	Risentito	Impatto	Magnitudo (Valori indicativi)	Danno agli edifici (Muratura)
I	Non risentito	Non risentito	2	
II-III	Debole	Il terremoto è avvertito all'interno da pochi. I dormienti registrano un ondeggiamento o un lieve tremito.	3	
IV	Leggero	Il terremoto è risentito all'interno da 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

2 - 2,9

3 - 3,9

4 - 4,9

5 - 5,9

6 - 6,9

7 - 7,9

8 - 8,9

9 +

### Effetti

Può essere registrato solo mediante adeguati apparecchi.

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

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

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

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

Tutti lo percepiscono; eventualmente panico; crollo delle case; spesso feriti; pericolo di vita; onde alte  
Panico; pericolo di vita negli edifici; solo alcune costruzioni rimangono illese; morti e feriti

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

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.**

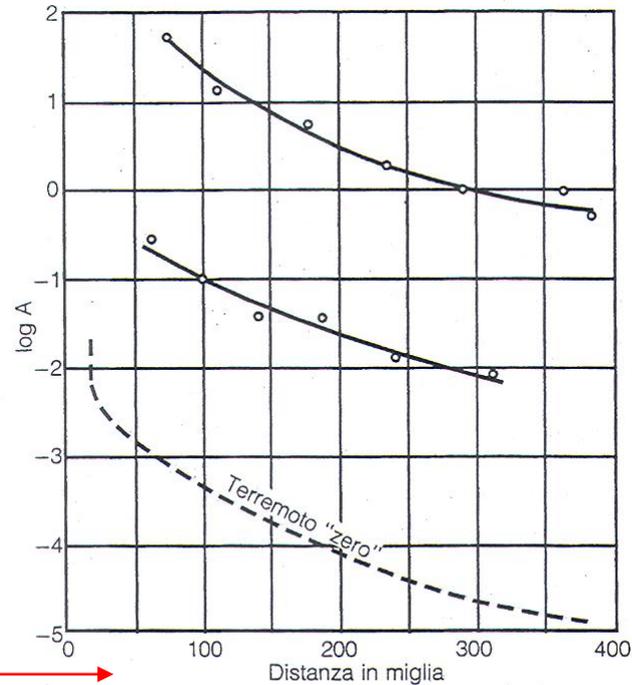
$$M_0 = \log_{10}(s_0)$$

$s_0$  = 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.

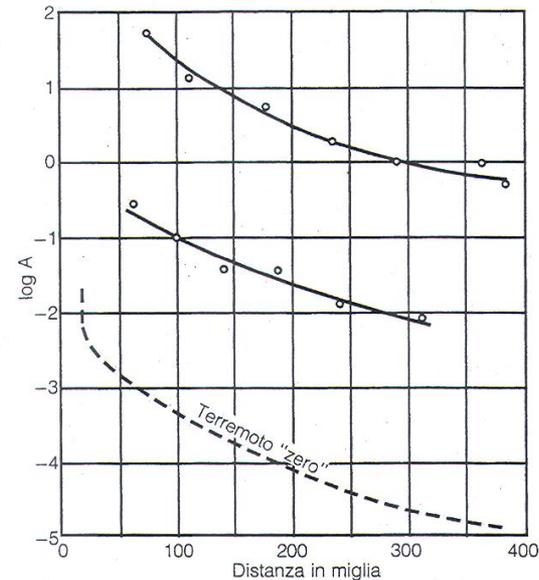


Figura 1.2 Illustrazione del metodo di Richter per la determinazione della magnitudo.

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

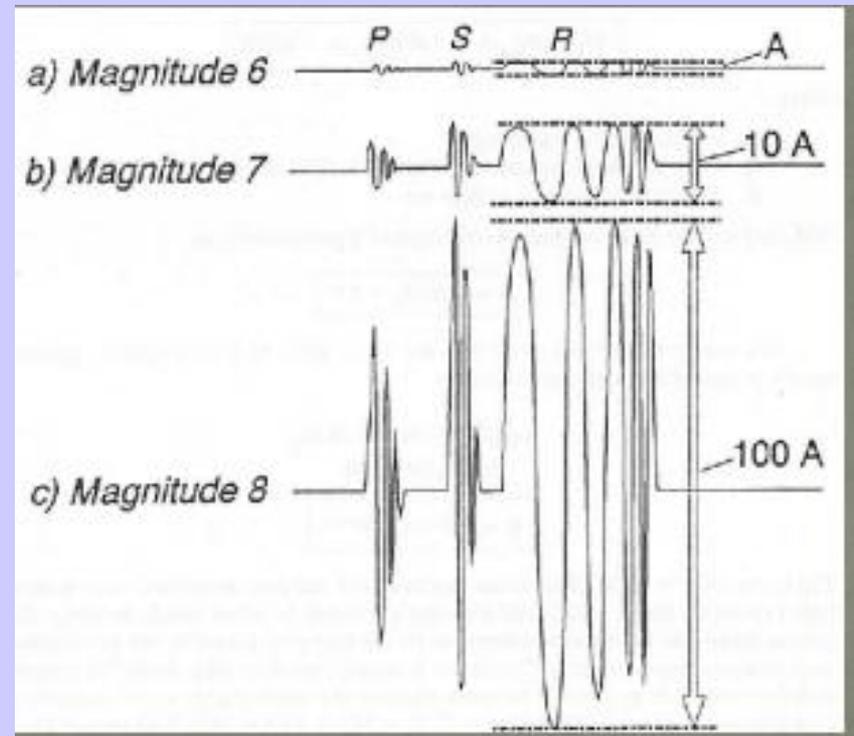
$M_L = \log A + 3,0 \log D - 3,38$  per gli eventi compresi tra 200 km e 600 km

## *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 Gutenberg-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 =  $S_1$**

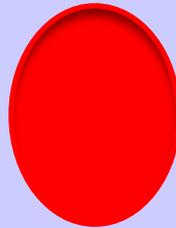
**Energia =  $E_1$**



**Magnitudo  $M_L = 4$**

**Spostamento =  $10 * S_1$**

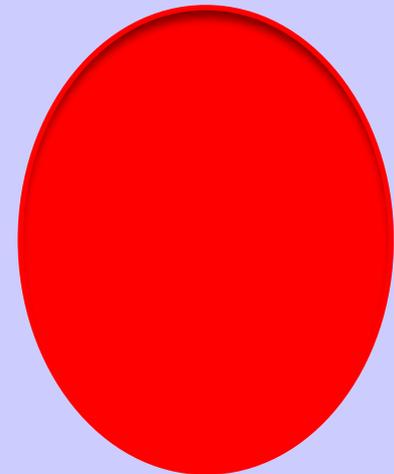
**Energia =  $31,6 * E_1$**



**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.**

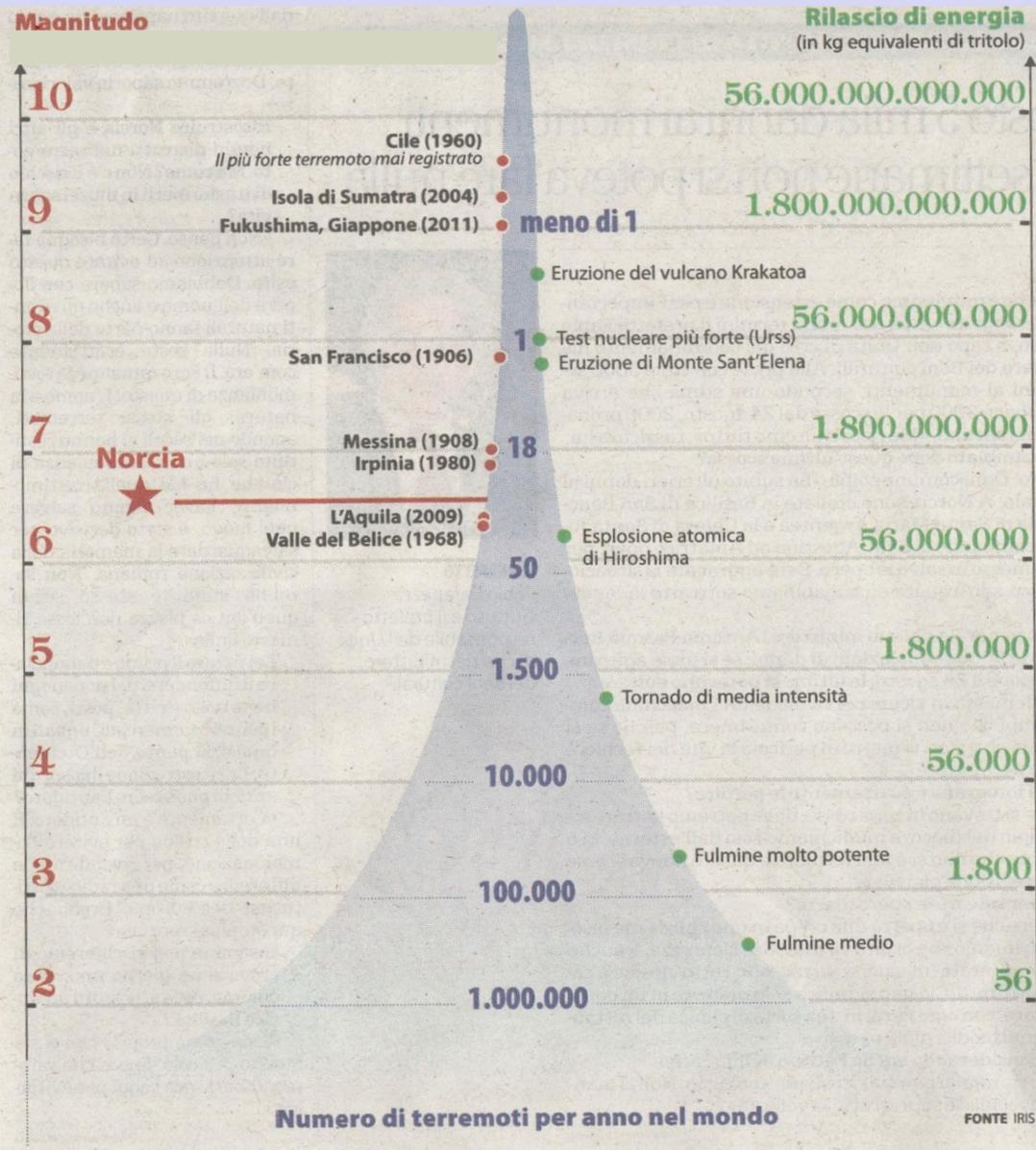
**La magnitudo di un sisma è direttamente correlabile con l'intensità Mercalli epicentrale solo se la profondità focale è compresa tra 5 km e 20 km.**

***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

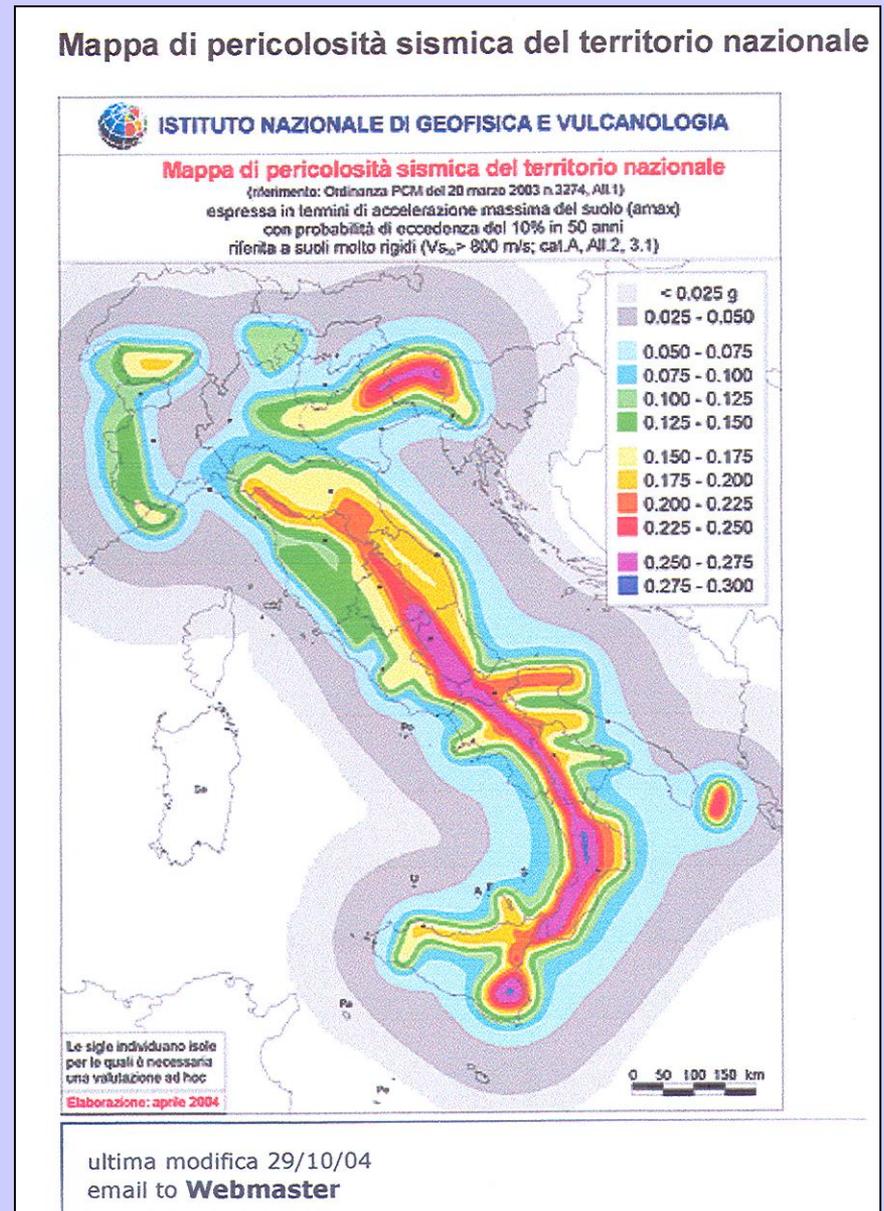
# La scala di potenza dei terremoti



**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:

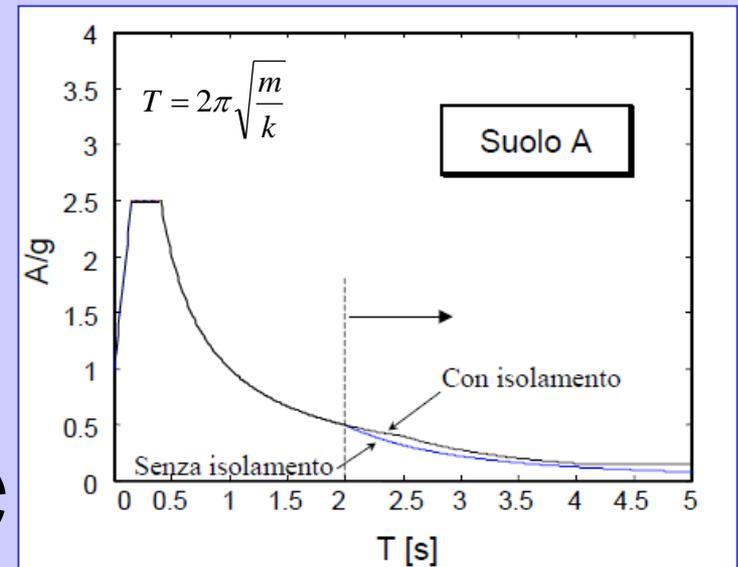
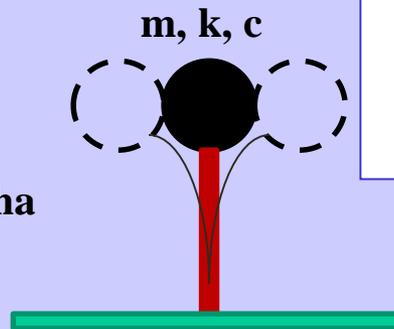
zona 1:  $0.25g < \text{PGA} - \text{EPA} \leq 0.35g$

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

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

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

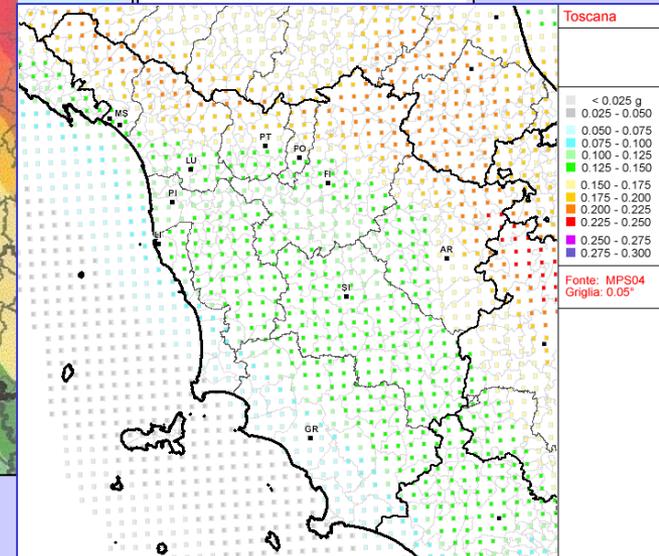
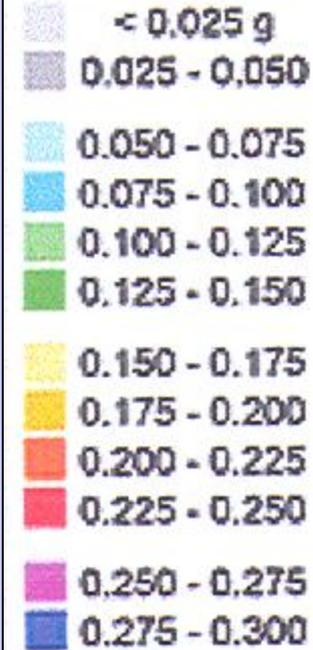
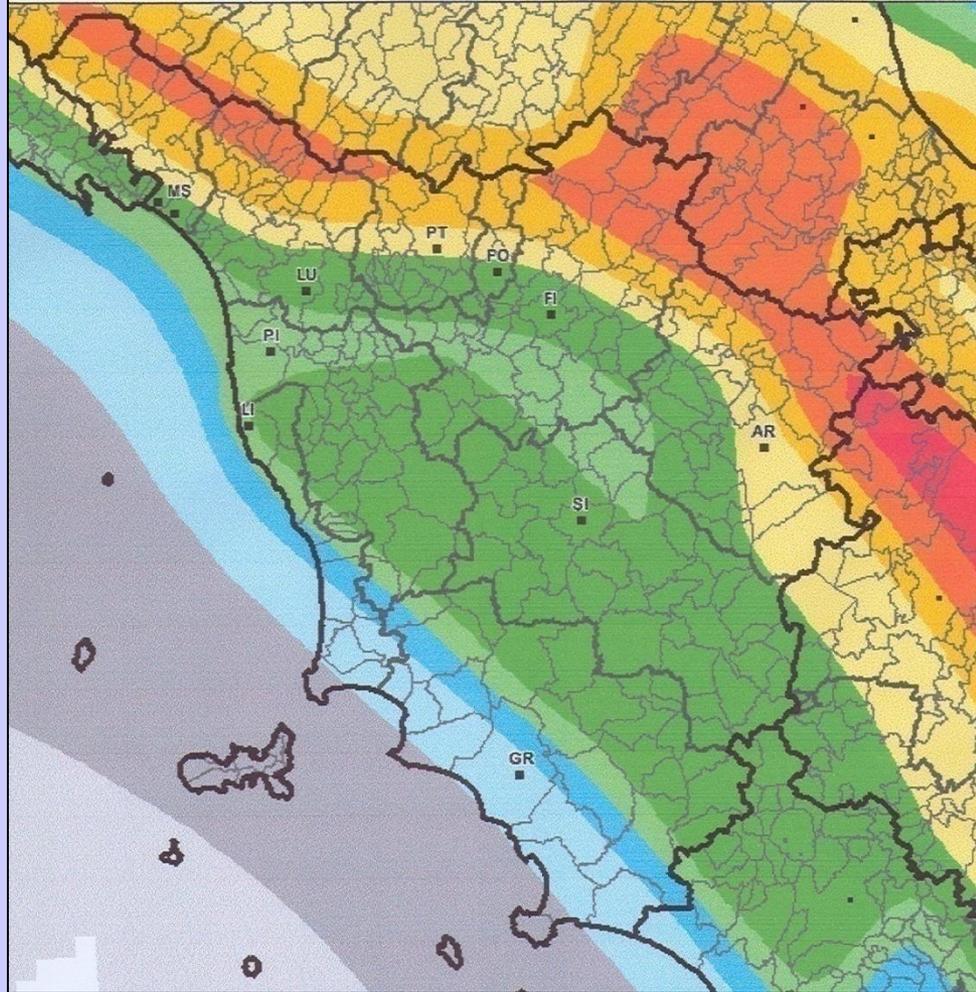
In uno spettro di risposta elastico, il PGA (o EPA) coincide con il valore dell'accelerazione spettrale  $S_e(T)$  quando il periodo proprio di oscillazione dell'oscillatore elementare di riferimento è pari a  $T=0$ ; in questo caso, infatti, l'oscillatore, infinitamente rigido, ha la stessa accelerazione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



## Mappa di pericolosità sismica del territorio nazionale

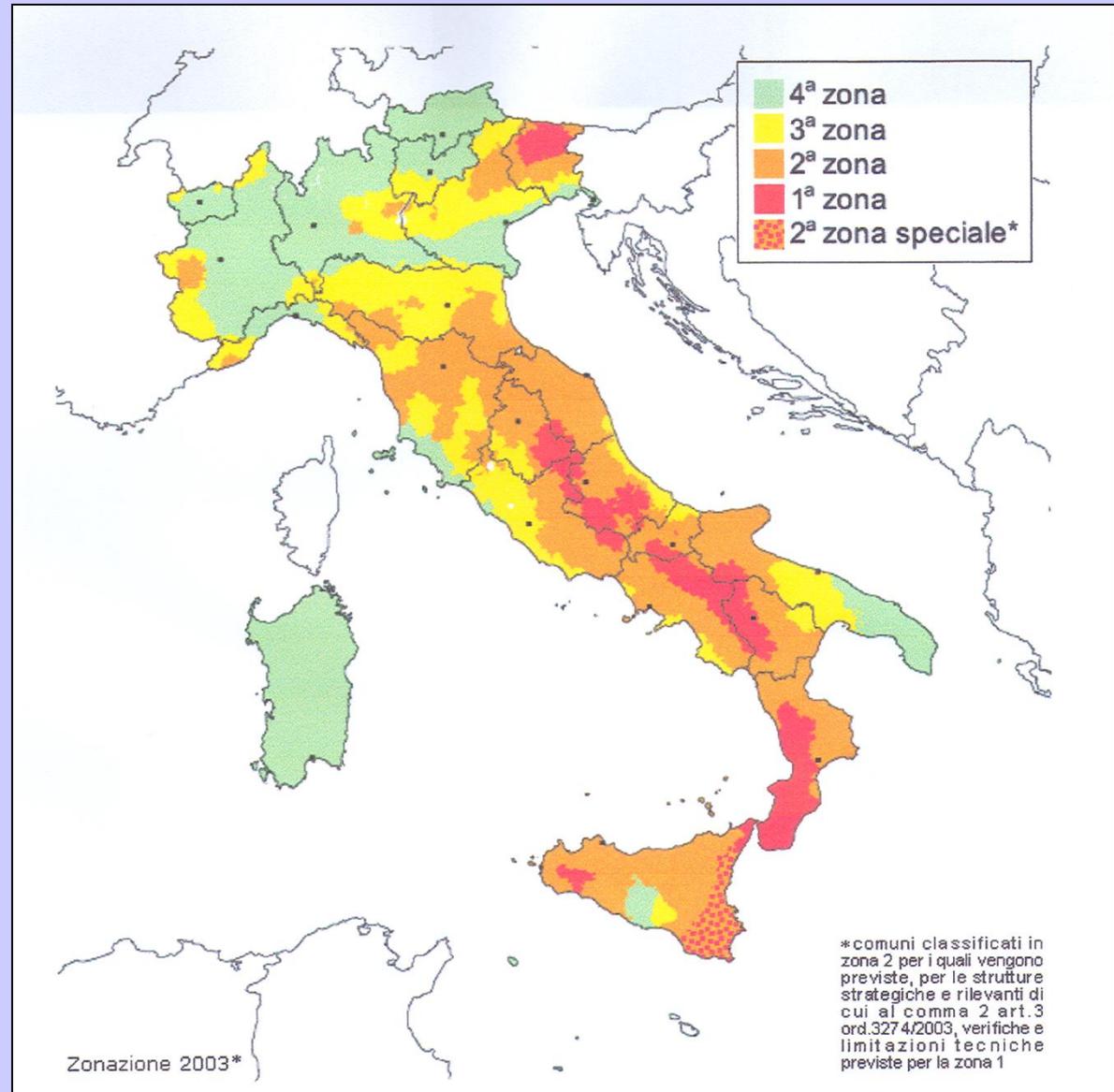
(riferimento: Ordinanza PCM del 20 marzo 2003 n.3274, All.1)

espressa in termini di accelerazione massima del suolo ( $a_{max}$ )  
con probabilità di eccedenza del 10% in 50 anni  
riferita a suoli molto rigidi ( $V_{s_{30}} > 800$  m/s; cat.A, All.2, 3.1)



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

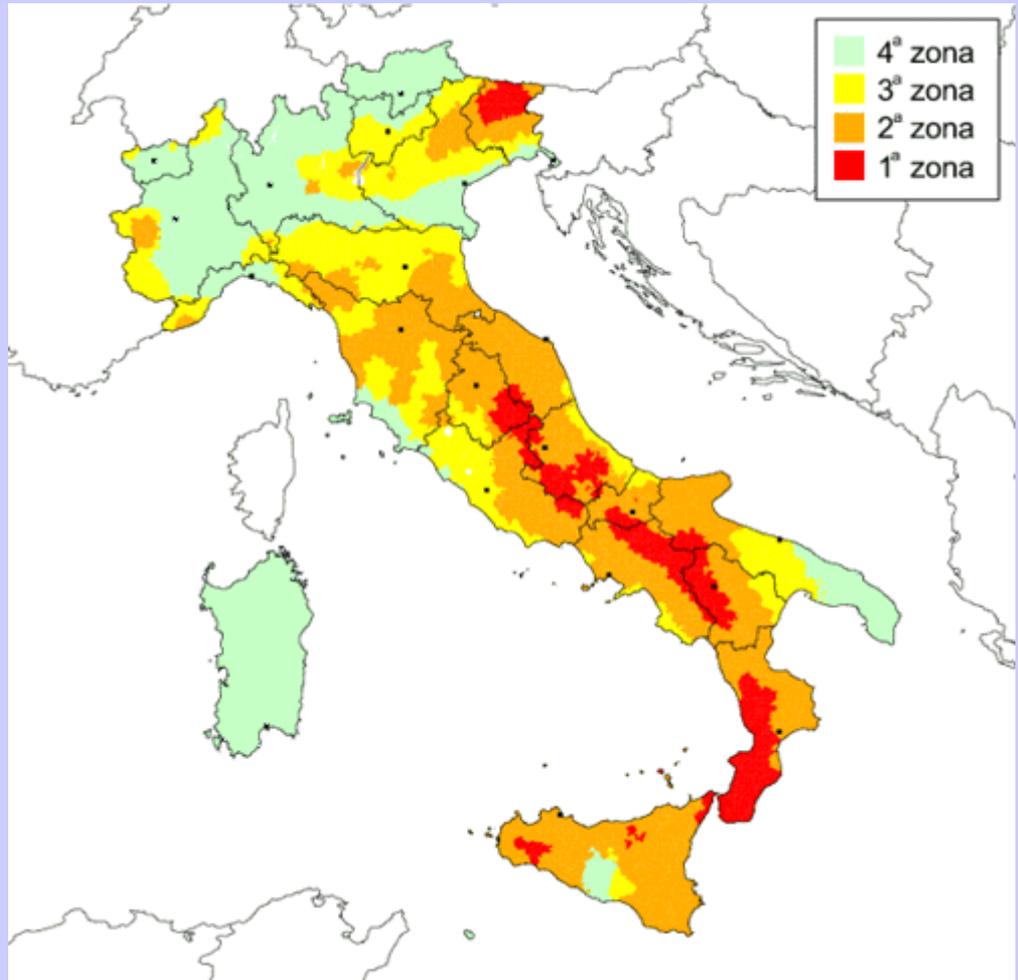
La classificazione sismica è la suddivisione di un territorio in aree distinte, caratterizzate da un certo rischio sismico (*macrozonazione*). Secondo un'Ordinanza del 2003, in Italia gli Enti locali hanno l'obbligo di classificare dal punto di vista sismico ogni singolo Comune, in modo da prevenire 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.**

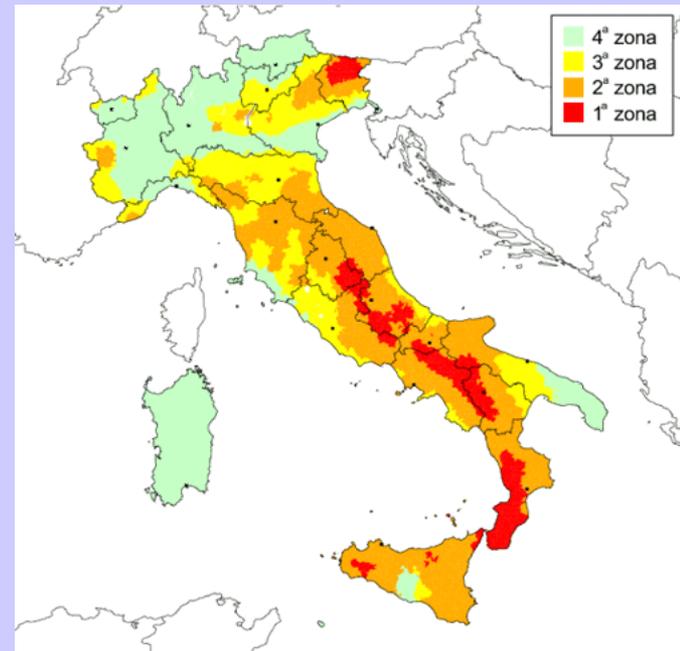
**I Comuni italiani sono stati classificati in 4 categorie principali:**

***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.**

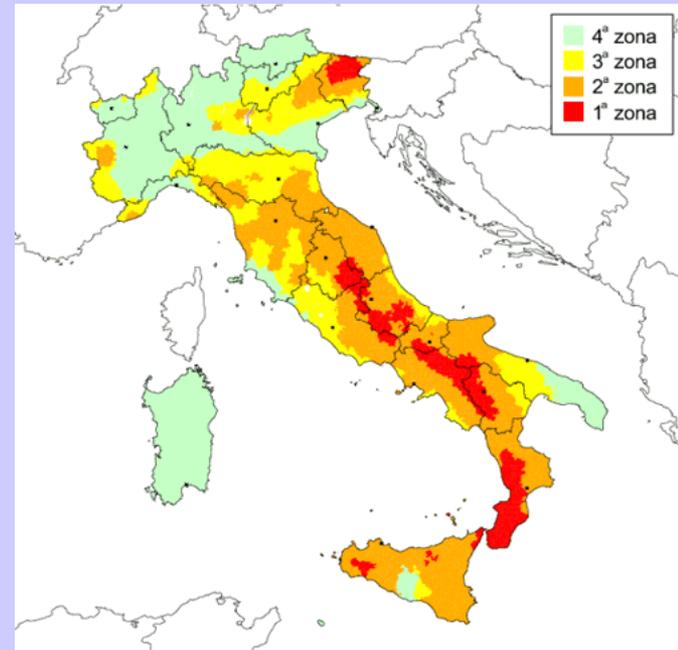


### **Zona 3: sismicità bassa**

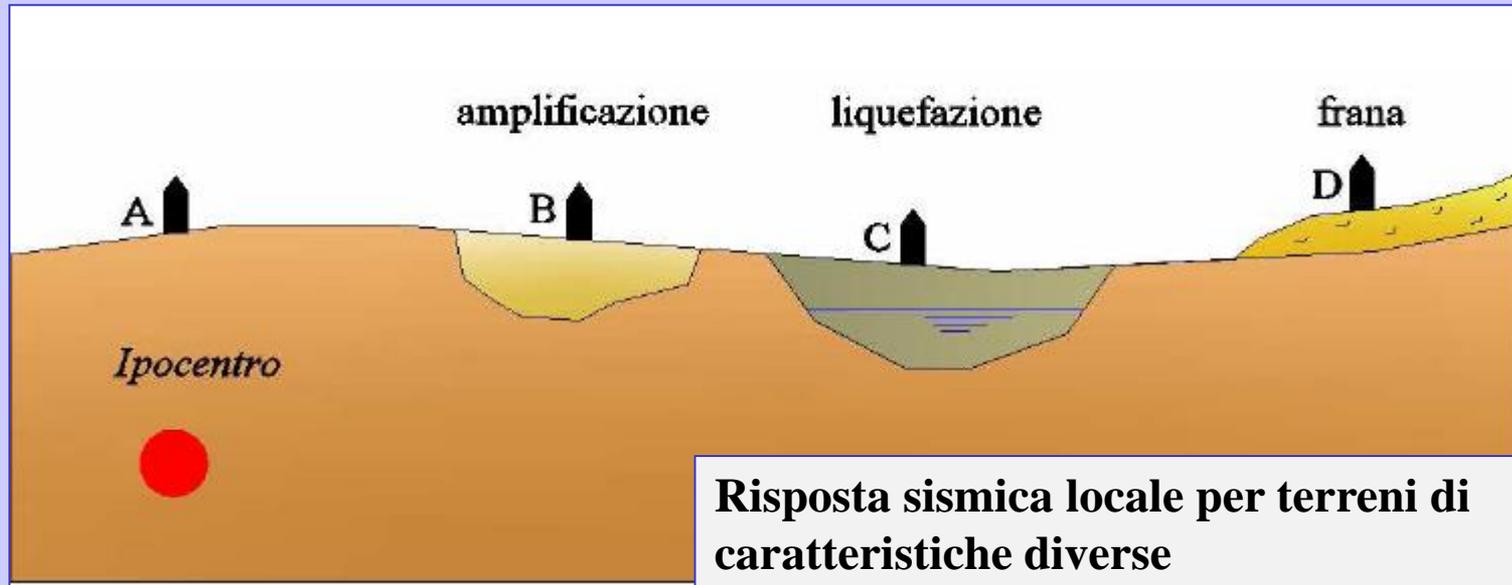
**I comuni presenti in questa zona possono essere soggetti a moderati terremoti. Sono presenti 1.634 comuni e si trovano in una minima parte del Piemonte, Lombardia, Veneto, Trentino, Toscana. Lazio, Umbria, Abruzzo e Puglia e in gran parte dell'Emilia Romagna.**

### **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*

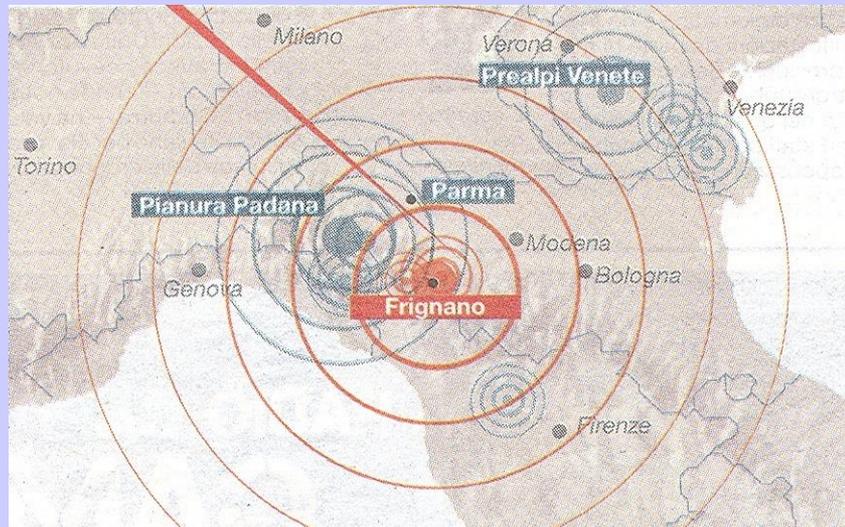
**9 gennaio:** Pianura Veneta (ore 18:01 – M=3,2; ore 19:50 – M=3,0)

**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.

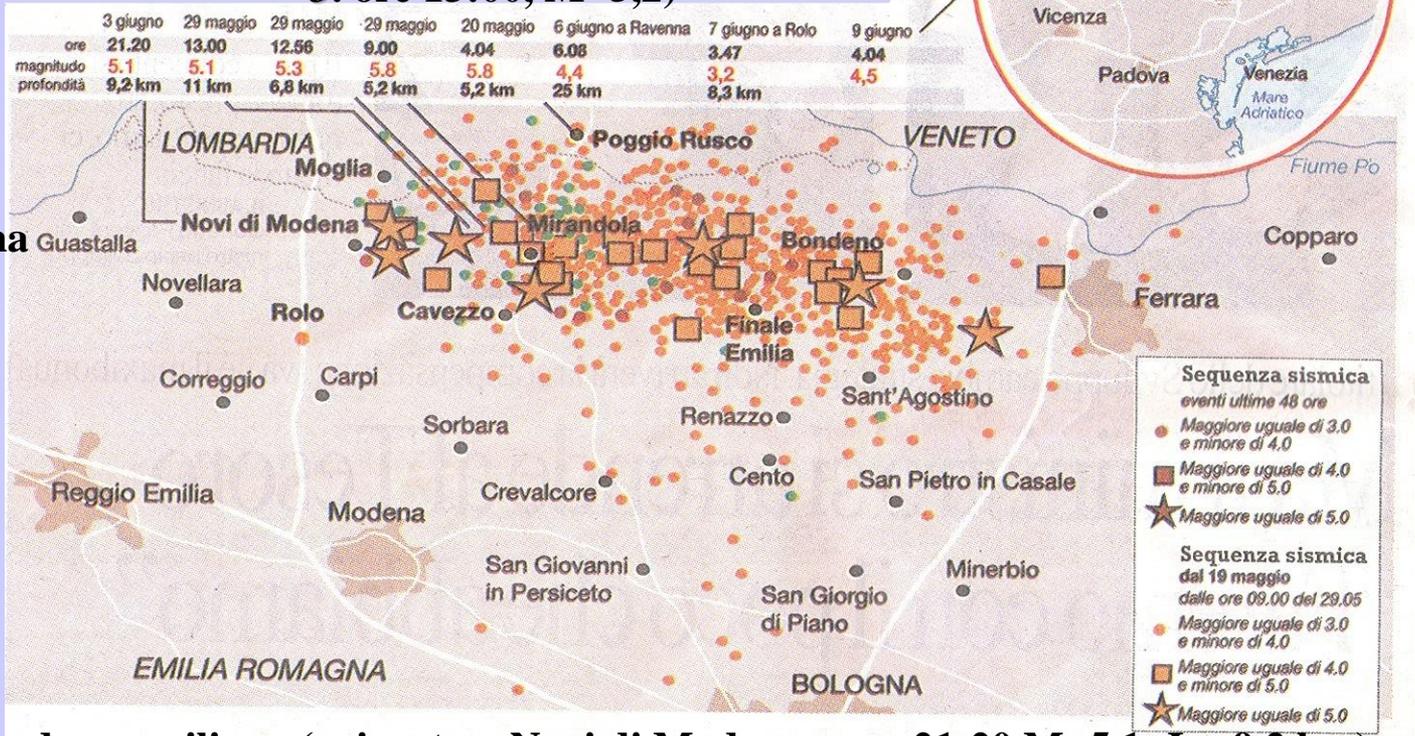
**Effetti:** in relazione all’energia liberata gli effetti sono stati abbastanza contenuti in termini di danno. Poco distante dal distretto sismico di Frignano ci sono faglie della placca Appenninica che si rompono ad appena 5-10 km di profondità. La disastrosità dei conseguenti terremoti è testimoniata 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)**

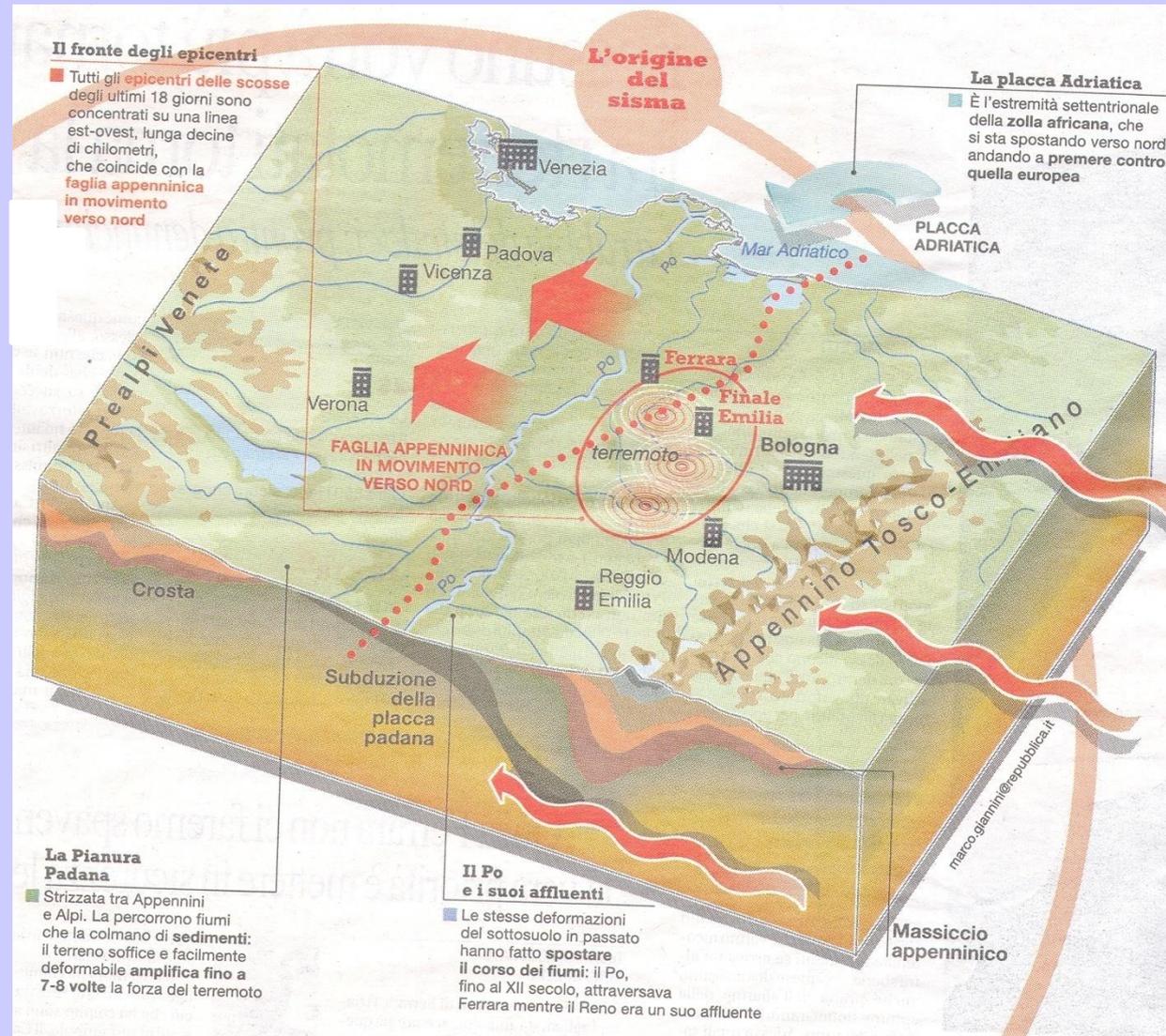


***31 maggio: zona della bassa reggiana e dell'oltrepò mantovano (epicentro: Rolo; ore: 16:58 – M=4)***

***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.

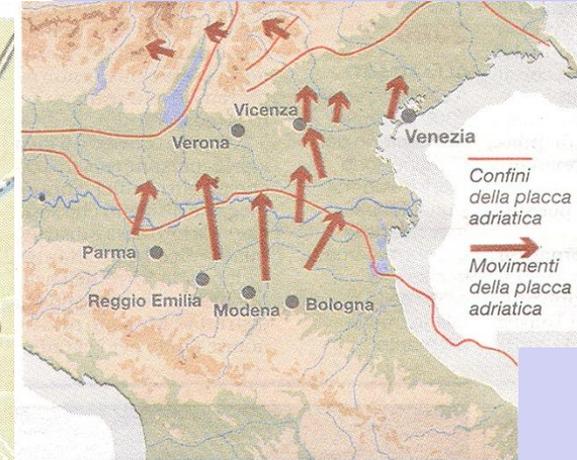


# ■ Terremoto in Emilia (2012)

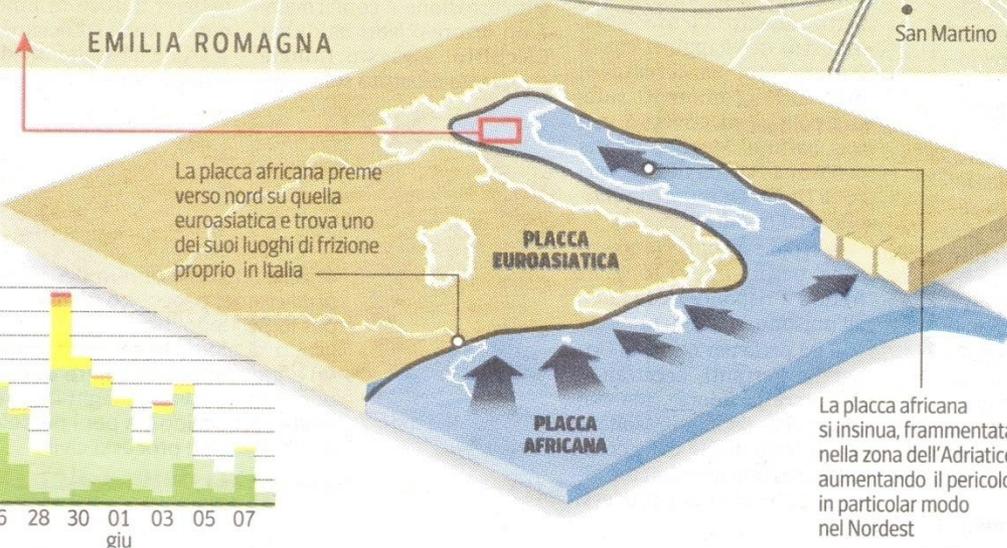
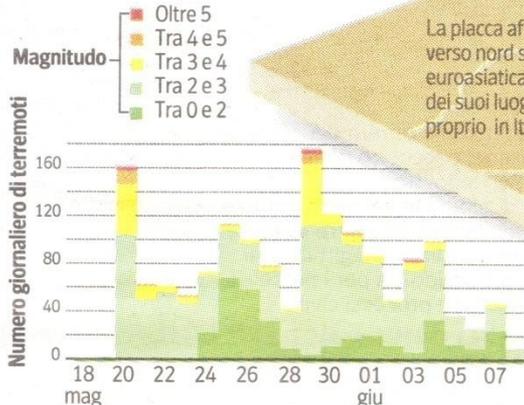
## L'ipotesi

<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»



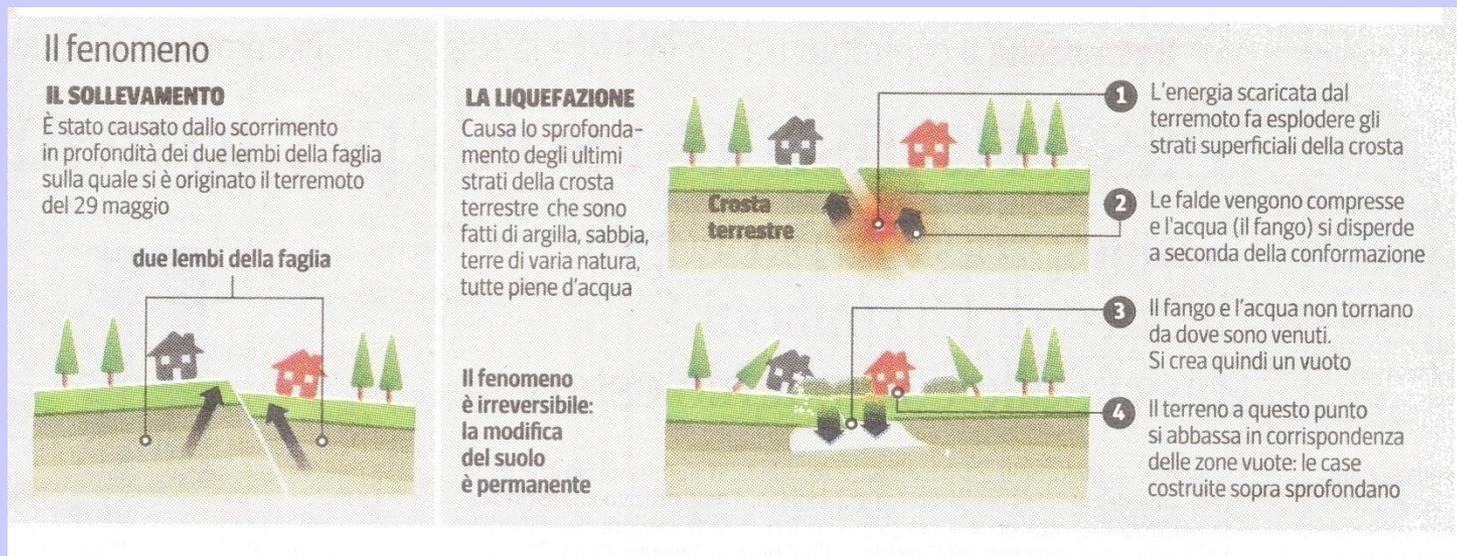
## Le scosse in Emilia



## 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 collapsi 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.

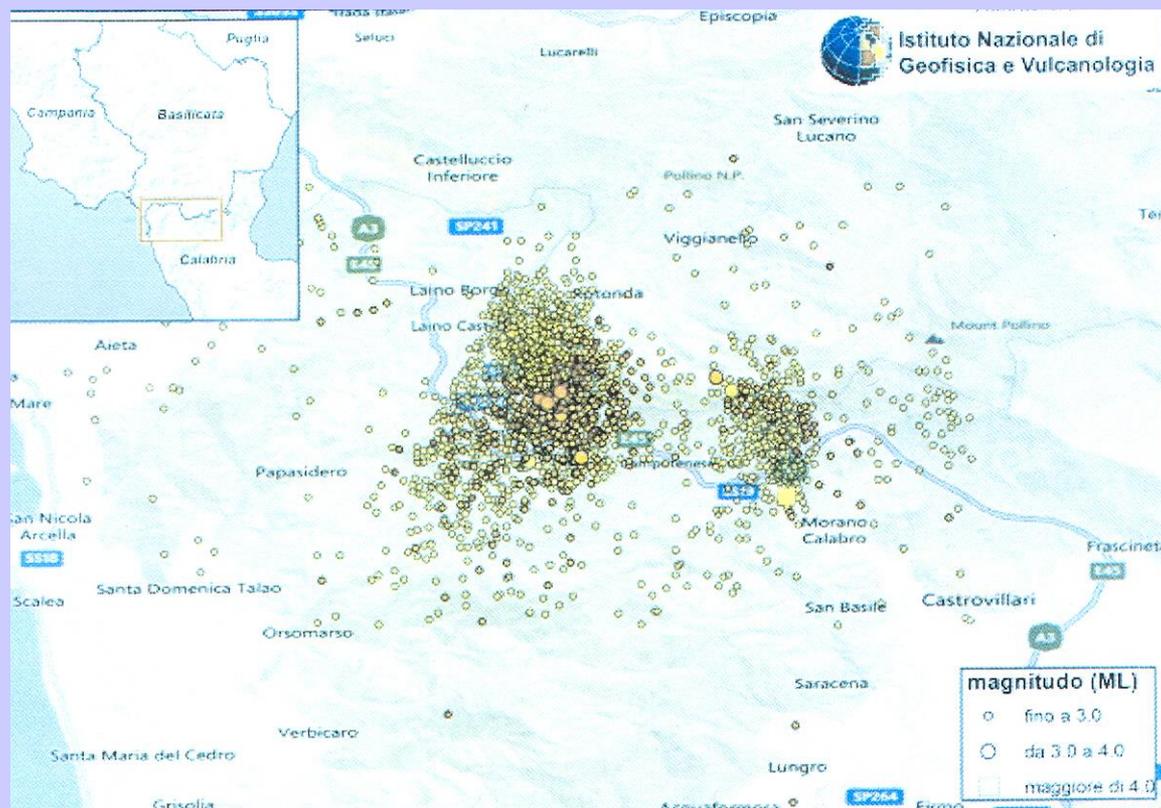
Questa fu prima avvertita come un'oscillazione in direzione est-ovest, poi nord-sud.

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.

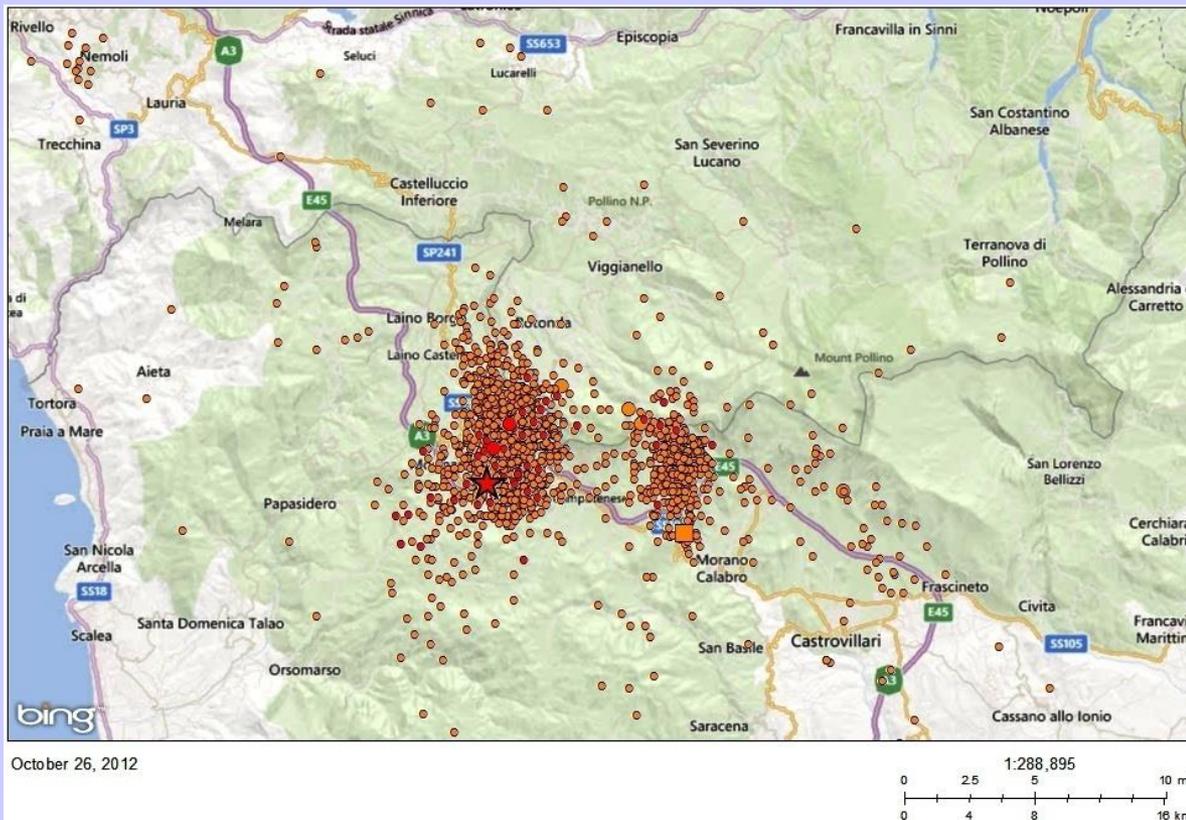
L'evento è stato localizzato dalla Rete Sismica Nazionale dell'INGV nell'area del Pollino, con profondità di circa 6 km.

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 Fosciiana 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).**

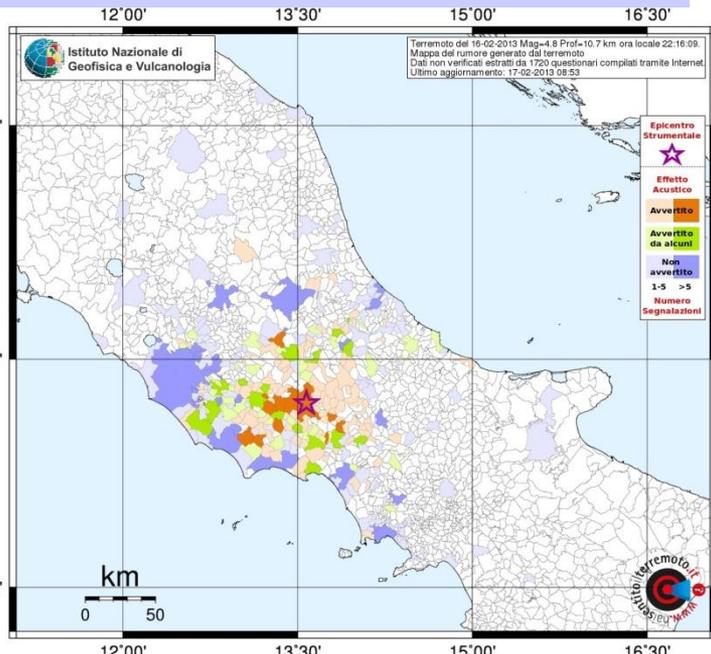
■ *Terremoto dell'appennino laziale (febbraio-marzo 2013)*

- 16 febbraio 2013

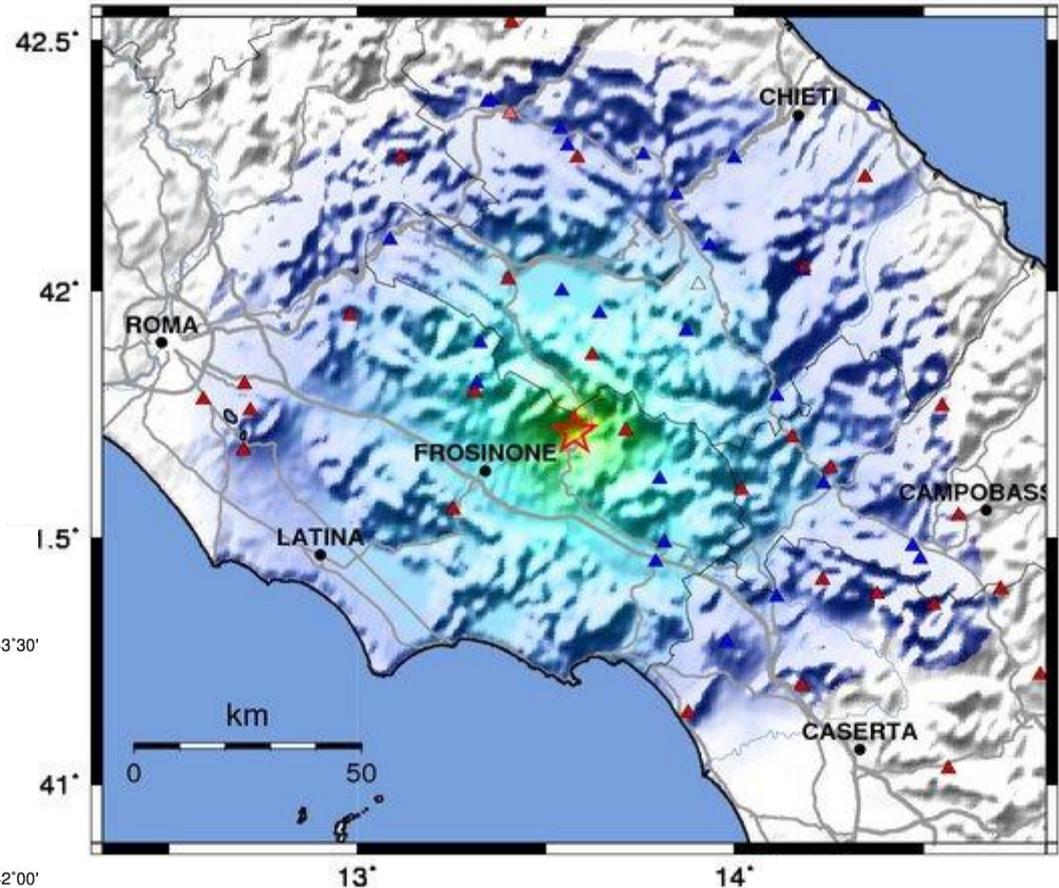
Epicentro a Frosinone;

M=4,8;

Profondità focale = 10,7 km.



INGV ShakeMap : Monti\_Ernici-Simbruini  
 FEB 16 2013 09:16:09 PM GMT M 4.8 N41.71 E13.58 Depth: 10.7km ID:7226841560



Map Version 6 Processed Sun Feb 17, 2013 12:51:38 AM GMT

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);**

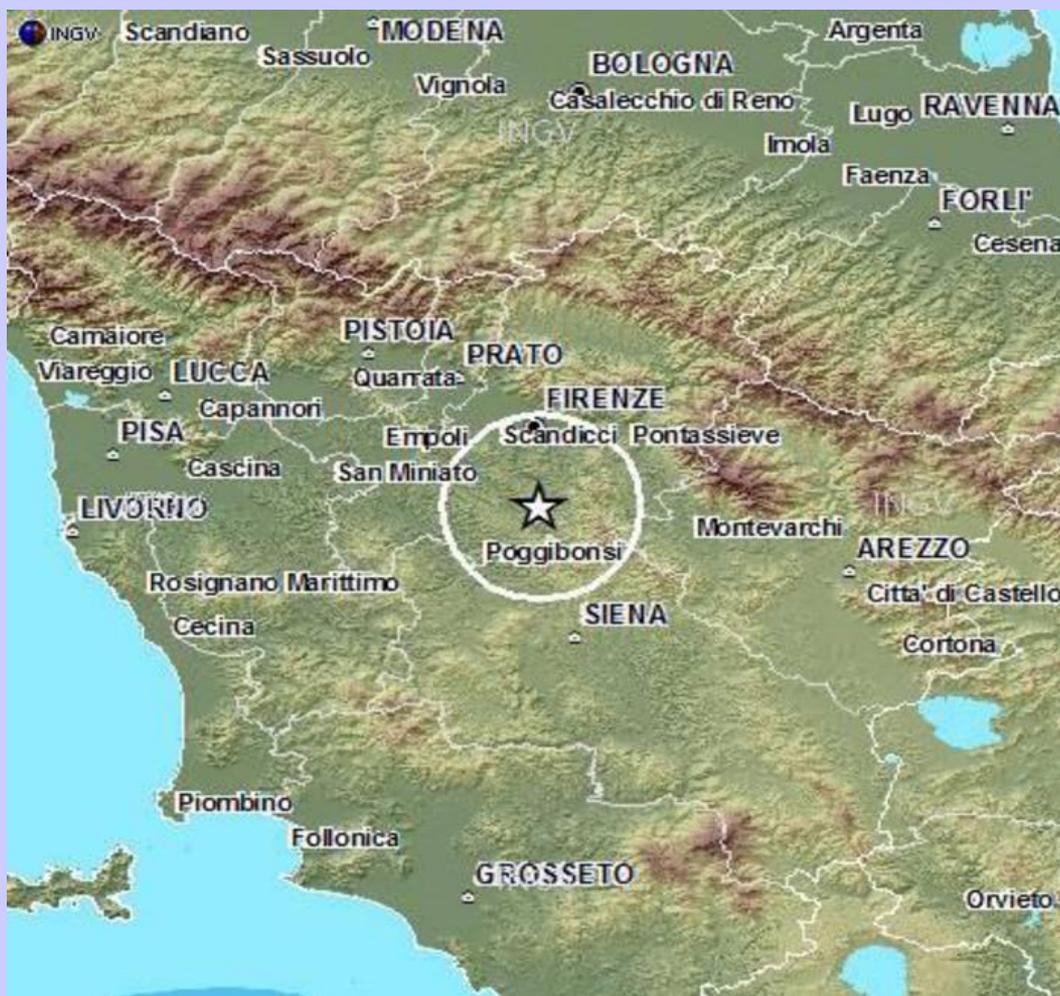
**Profondità focale  $\approx$  7,4 km.**

- *4 marzo 2015*

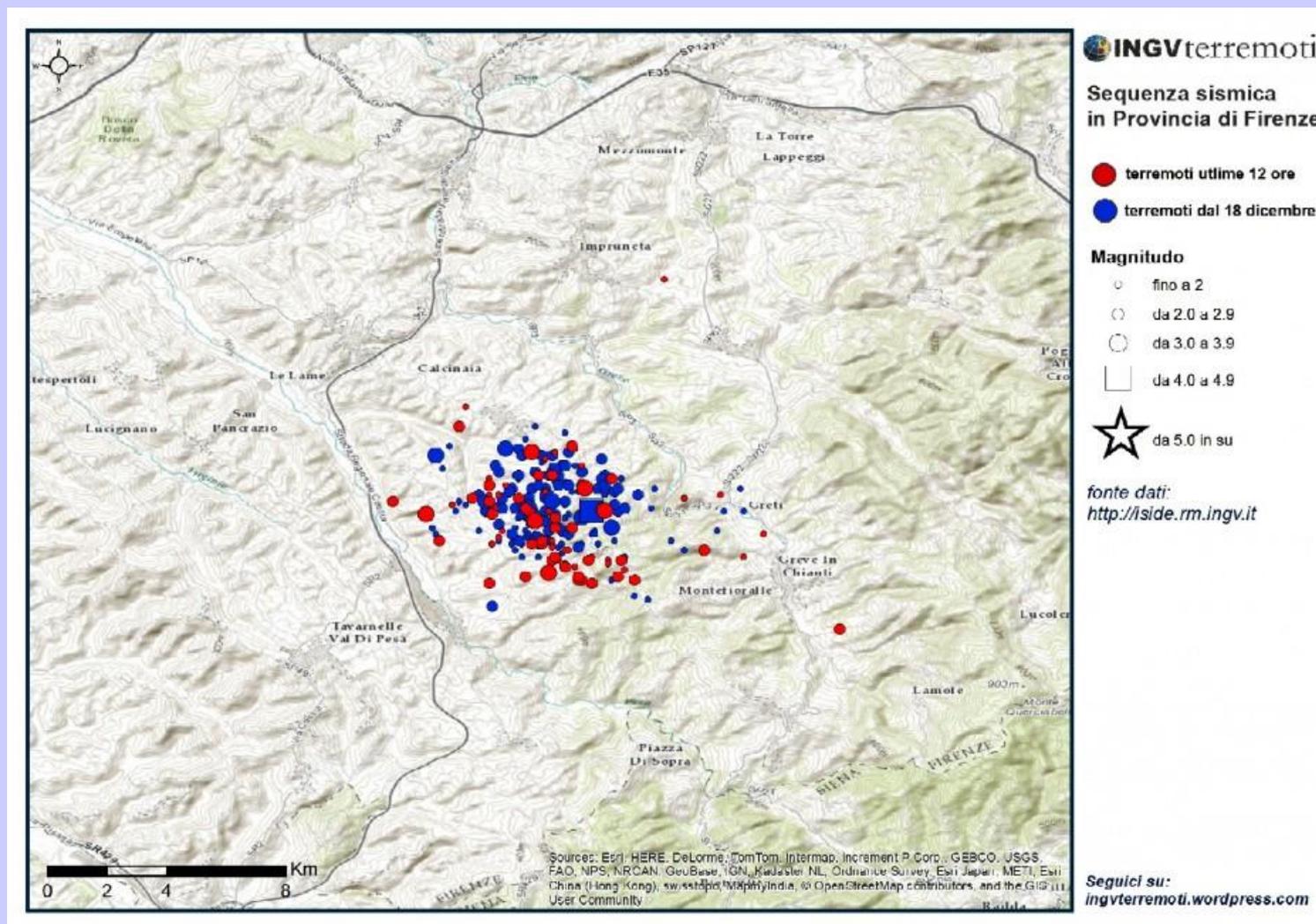
**Epicentro tra i comuni di Tavarnelle Val di Pesa, Barberino Val d'Elsa e San Casciano Val di Pesa;**

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

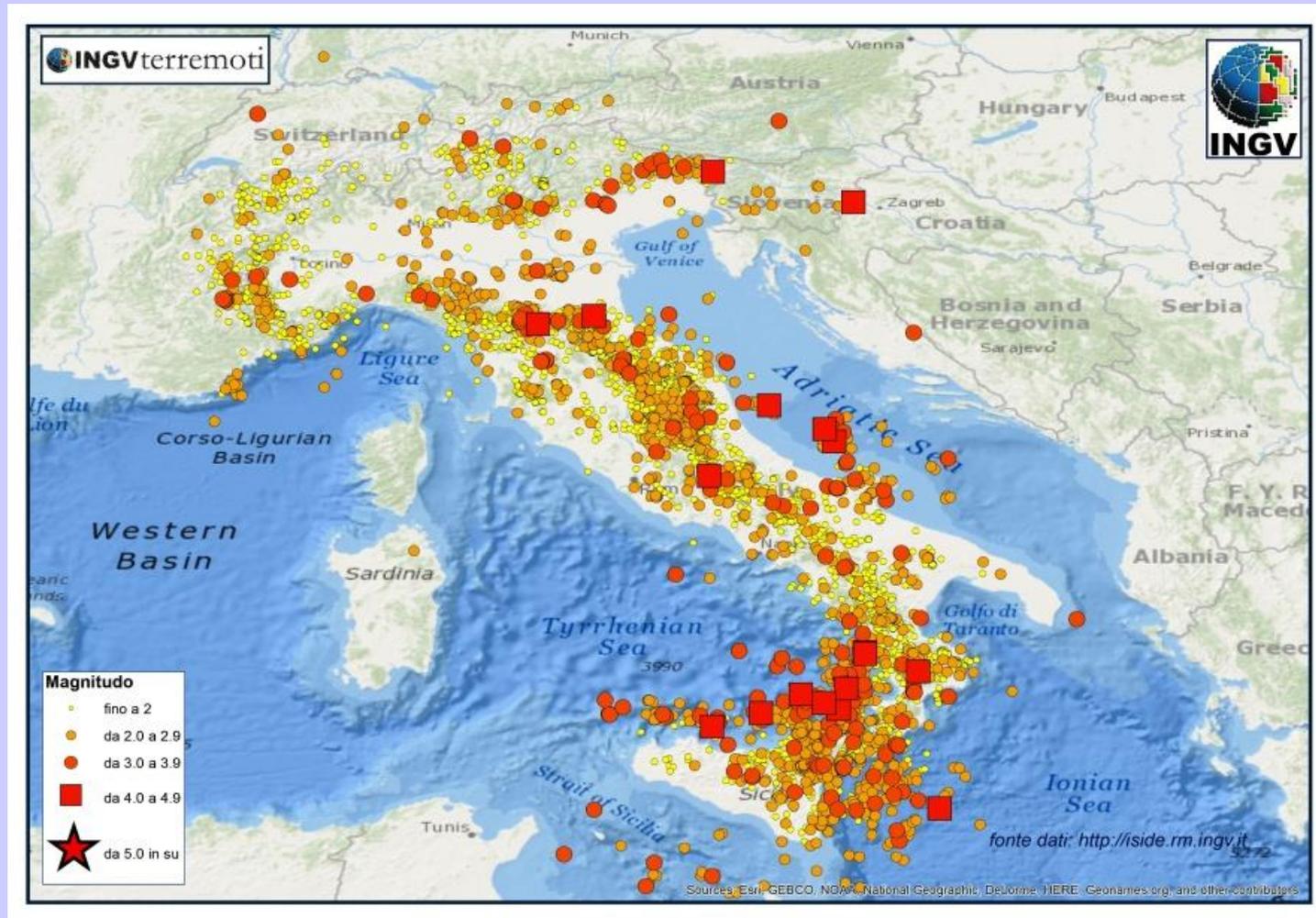
**Profondità focale = 10 km.**



## ■ *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.**

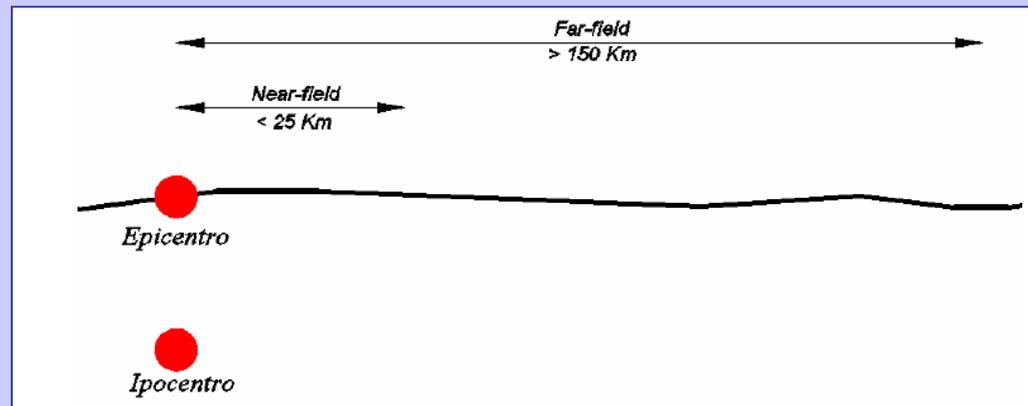
Se ci si limita a contare i **terremoti con magnitudo uguale o superiore a 2,5** (quelli per i quali l'INGV effettua una comunicazione al Dipartimento della Protezione Civile) sono **593** gli eventi nel 2015, mentre nel 2014 si erano superati i 700 terremoti.

## ■ 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.



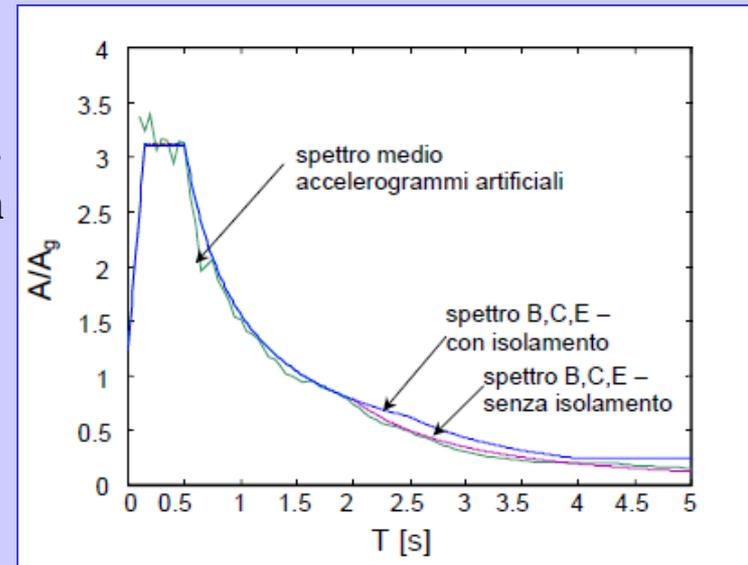
**Vulnerabilità di una costruzione:** caratteristica stimata sulla base del danno che la struttura subisce per effetto di un evento sismico di data intensità.

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.

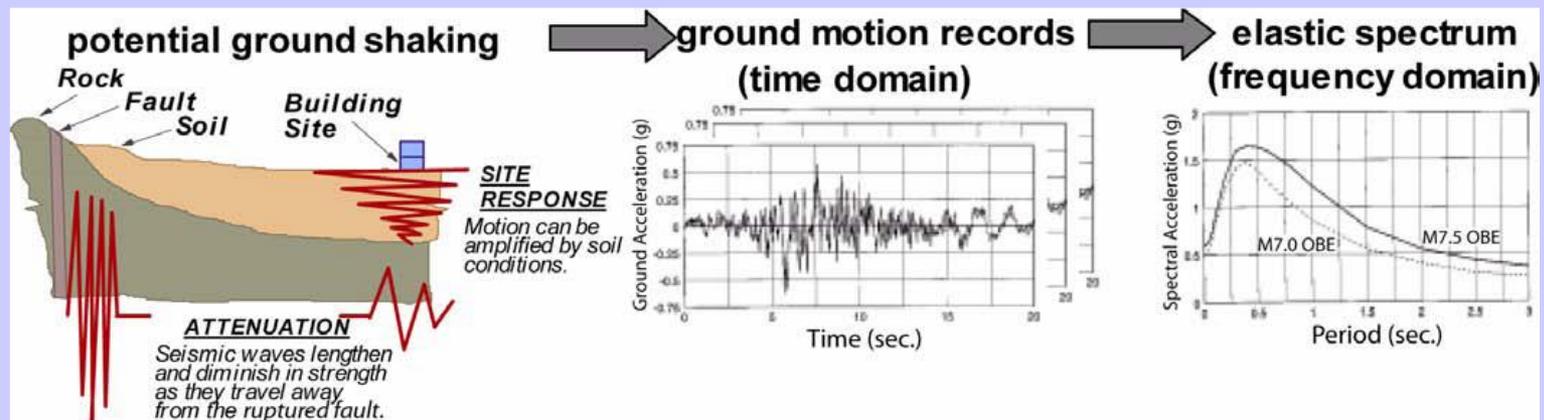
Elementi fondamentali sono la *dimensione della faglia*, dal cui scorrimento si origina il movimento tellurico, e la *natura del mezzo*, entro cui si propagano le onde.

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.

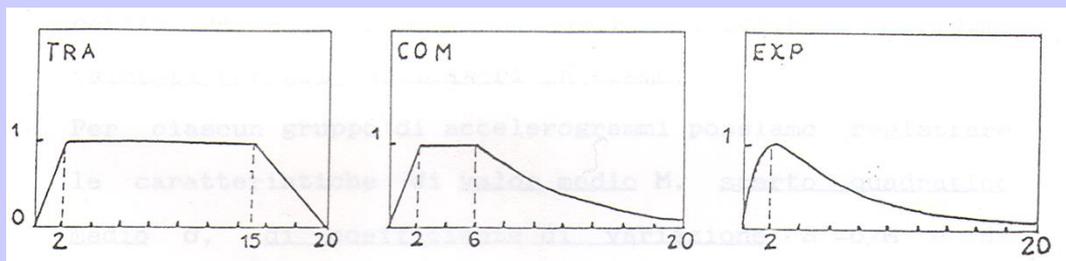
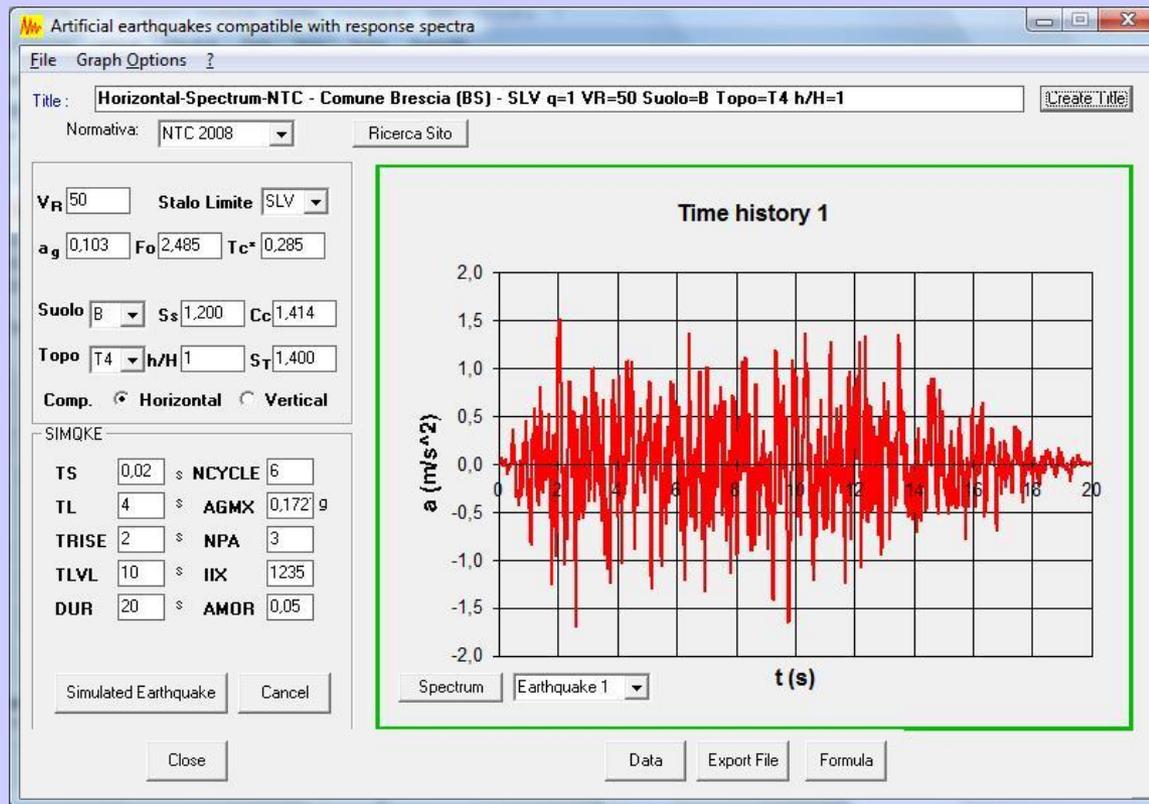
Di solito questi *accelerogrammi* sono "normalizzati" al valore massimo, in valore assoluto, dell'accelerazione di picco del terreno (PGA).

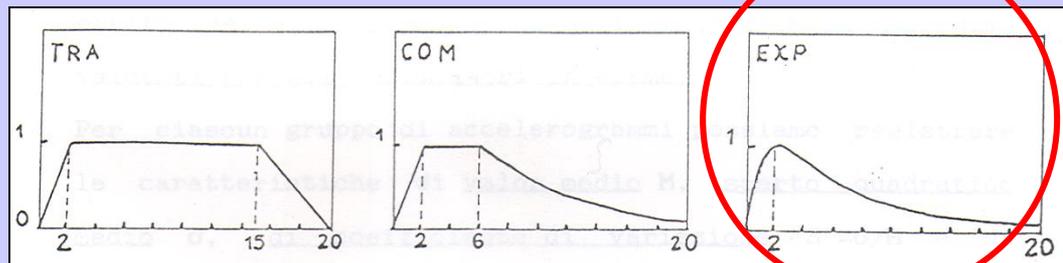
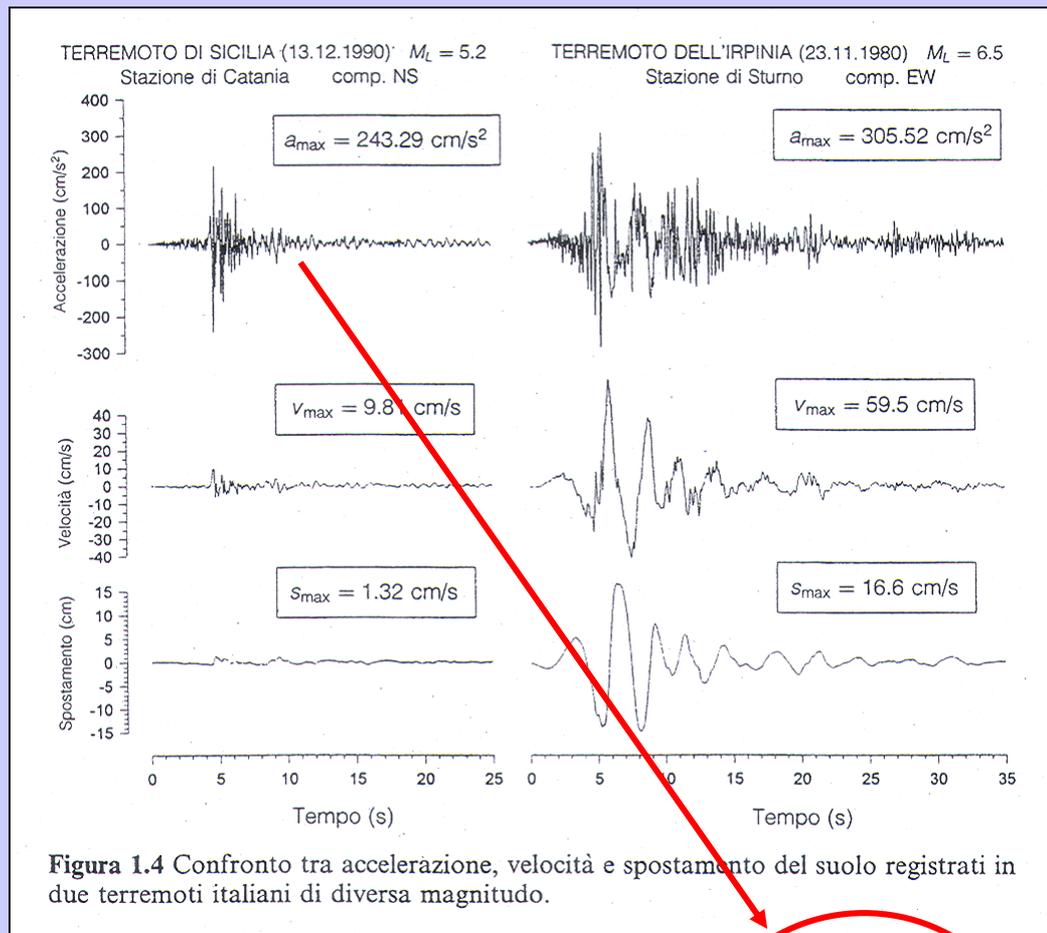
Diverse istituzioni accademiche e di ricerca hanno messo a disposizione in rete le proprie banche dati, da cui è possibile ottenere le registrazioni relative ad eventi sismici più o meno recenti, in termini di *magnitudo*, *distanza dal sito*, *mappatura geologica*, PGA (Peak Ground acceleration), PGV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



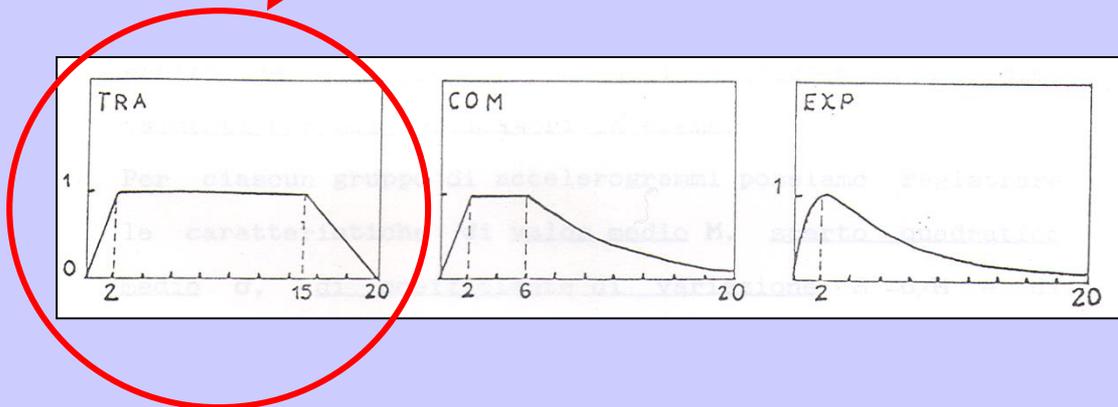
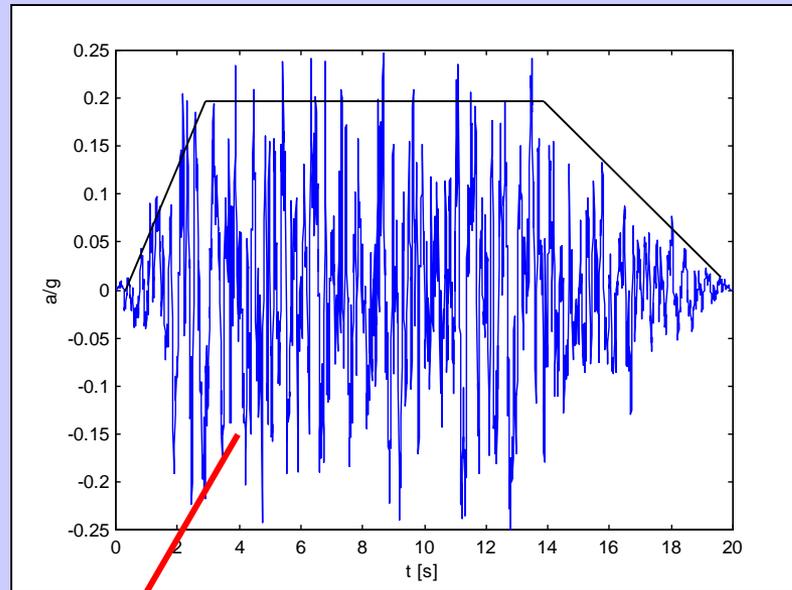
# Codici di calcolo per la generazione di accelerogrammi spettro-compatibili

SIMQKE



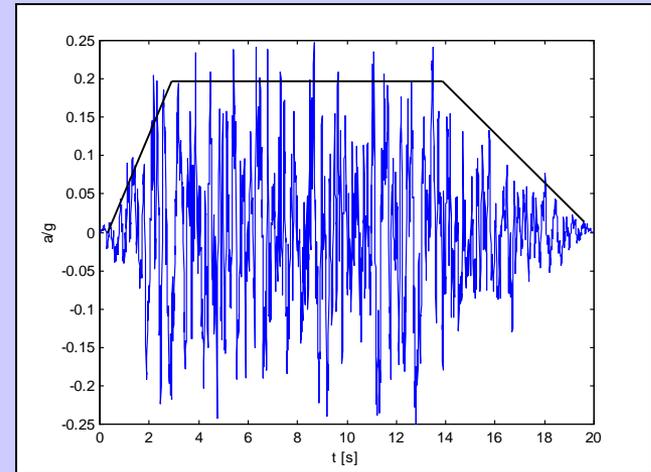


## ➤ Esempio di accelerogramma con involucro trapezoidale



**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.**”

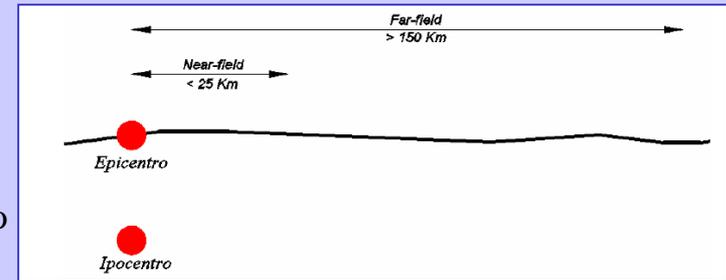
La durata degli accelerogrammi artificiali deve essere stabilita sulla base della magnitudo e degli altri parametri fisici che determinano la scelta del valore di  $a_g$  e di  $S_s$ . In assenza di studi specifici la durata della parte pseudo-stazionaria **associato alla storia deve avere durata di 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.



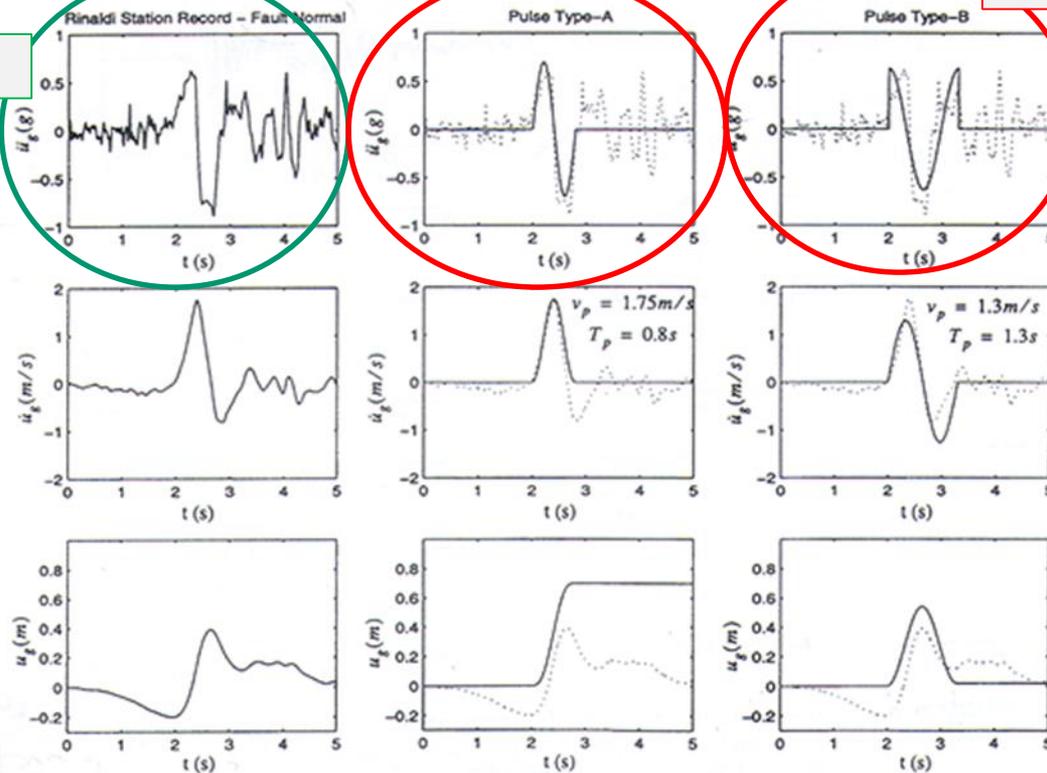
Gli accelerogrammi artificiali devono avere uno spettro di risposta elastico coerente con lo spettro di risposta adottato nella progettazione. La coerenza con lo spettro elastico è da verificare in base alla media delle ordinate spettrali ottenute con i diversi accelerogrammi, per un coefficiente di 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

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

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

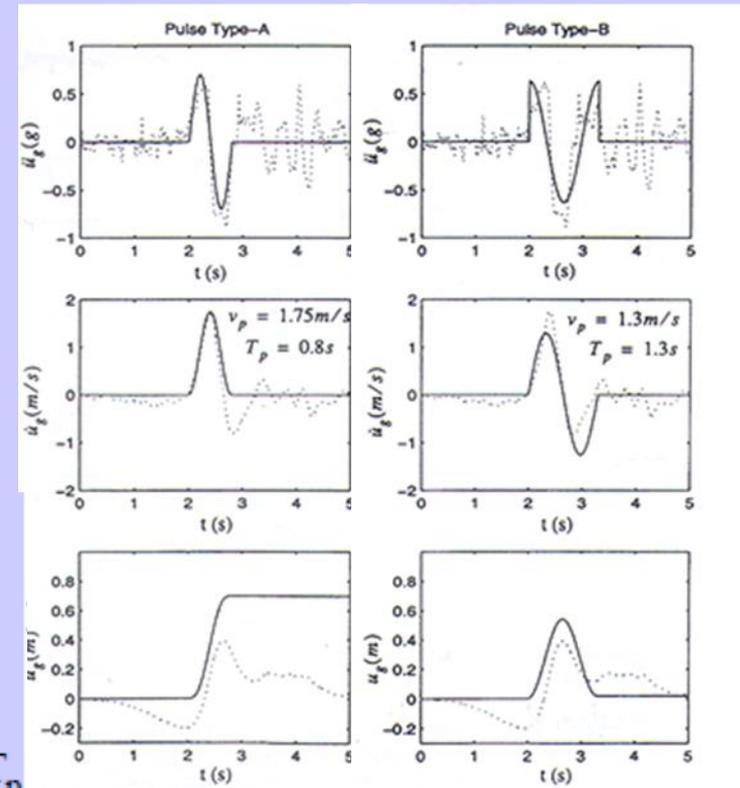
$$u_g(t) = \frac{v_p}{2} t - \frac{v_p}{2\omega_p} \sin(\omega_p t) \quad 0 \leq t \leq T_p$$

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

### Pulse Type-B

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

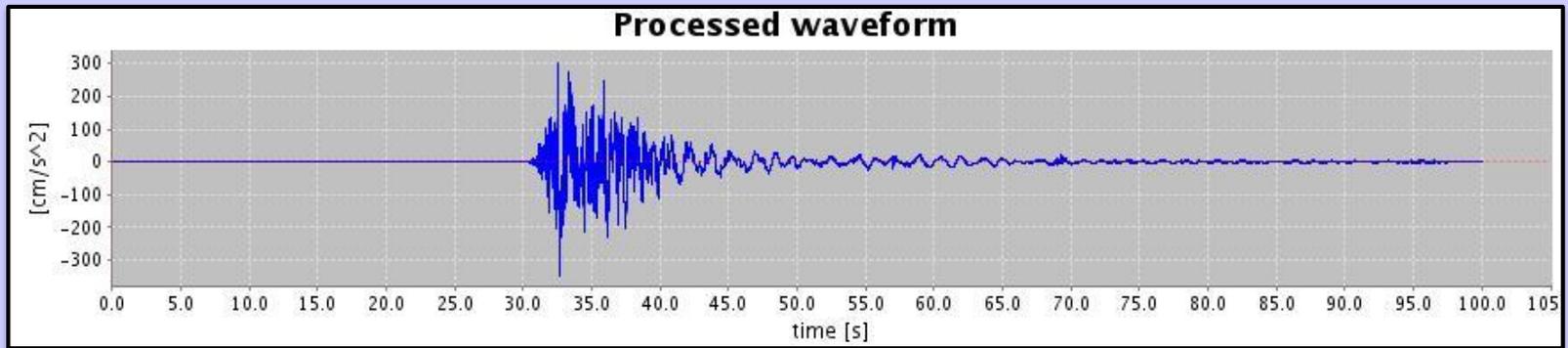
$$u_g(t) = \frac{v_p}{\omega_p} - \frac{v_p}{\omega_p} \cos(\omega_p t) \quad 0 \leq t \leq T_p$$



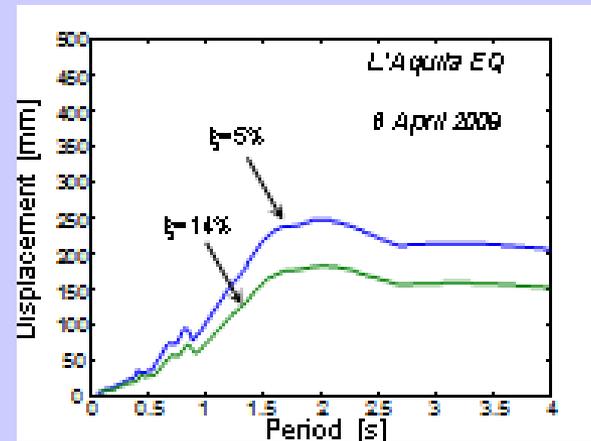
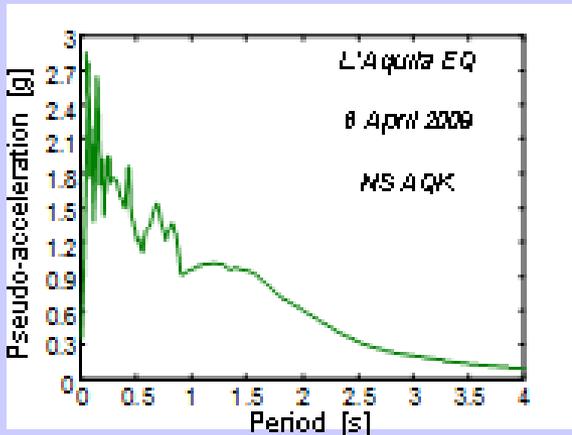
Makris, N. and Chang S-P. (2000). Effect of viscous, viscoplastic, and friction damping on the response of seismic isolated structures, *Earthquake Engineering and Structural Dynamics*, 29, 85-107.

## Segnali sismici del tipo near-fault

### Terremoto dell'Abruzzo ( aprile 2009)

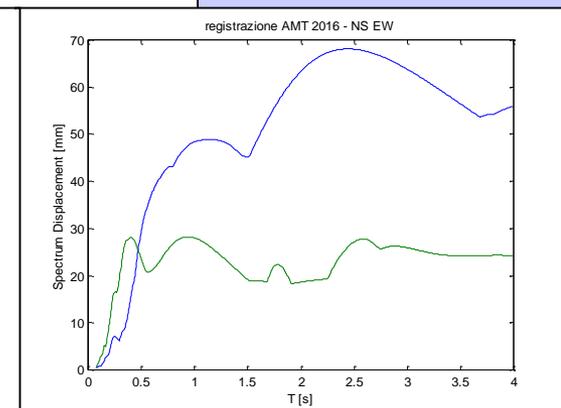
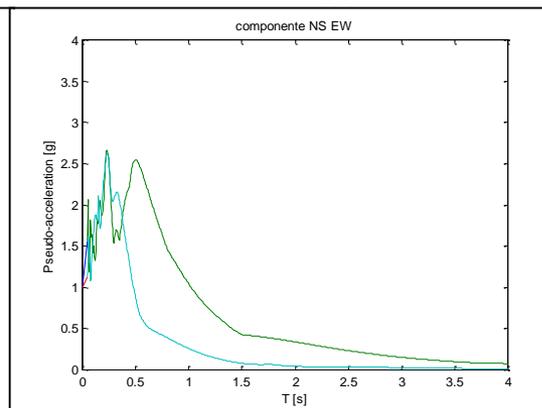
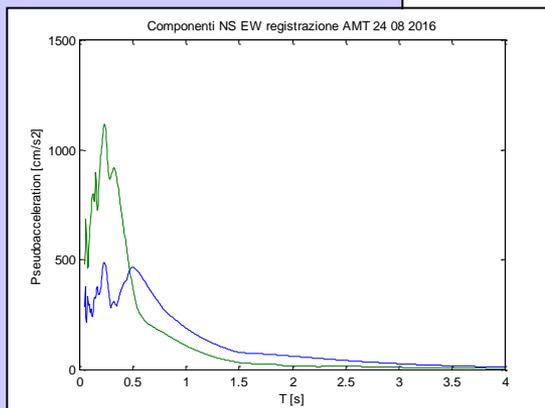
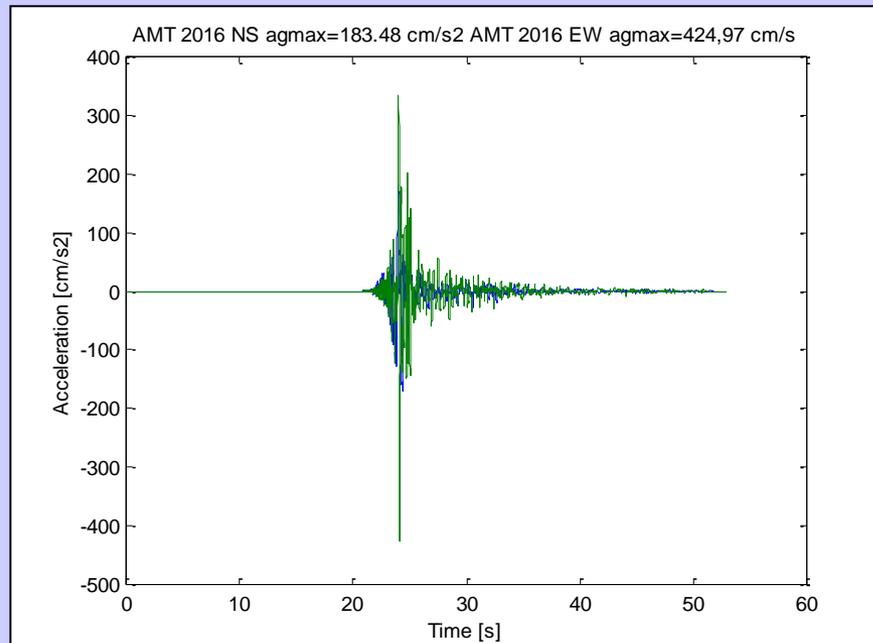


Componente N-S della scossa tellurica del 6 aprile 2009 (03:32 a.m.)  
Stazione sismologica della città dell'Aquila  
Profondità focale di 5,6 km;  $M = 6,3$ ;  $PGA = 0,353 g$ .

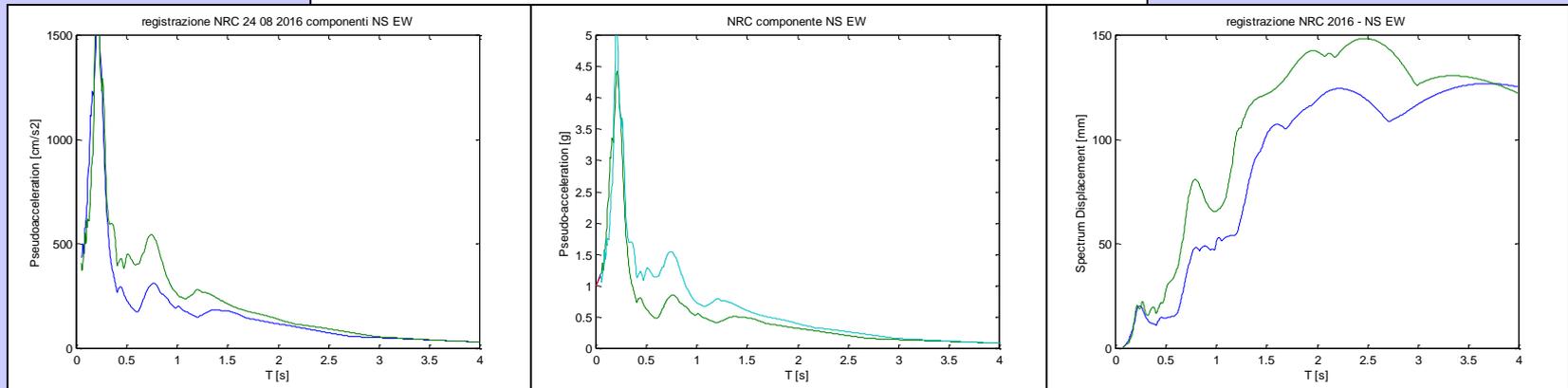
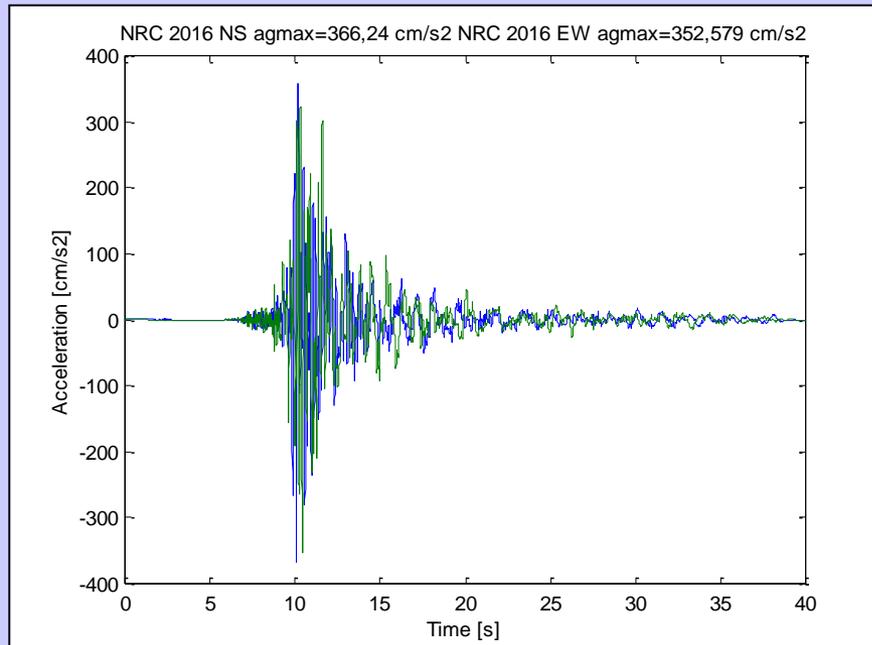


## Terremoto del Centro-Italia ( 24 agosto 2016)

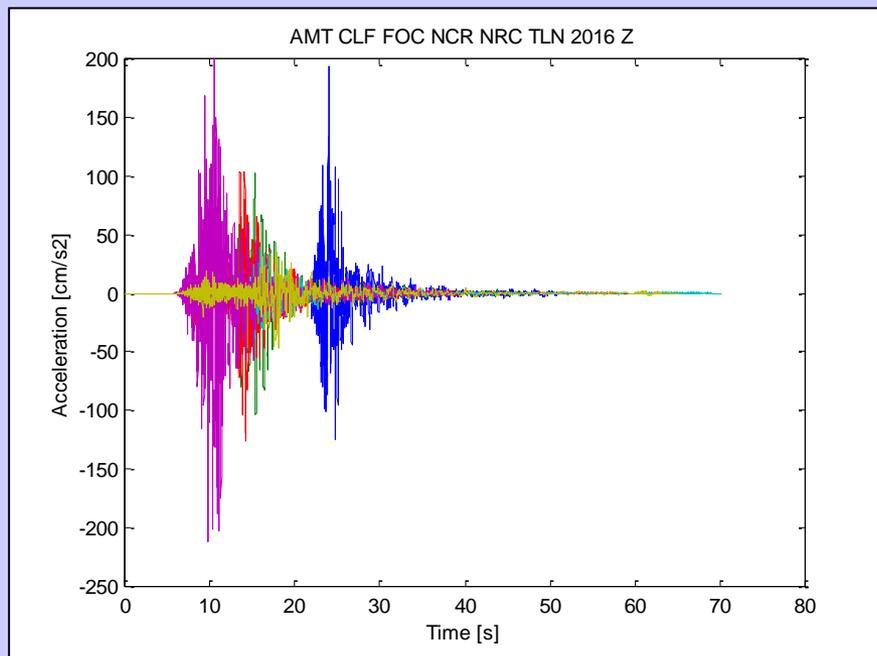
### Componenti NS e EW - Registrazione di Amatrice ( 24 agosto 2016)



## 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)

