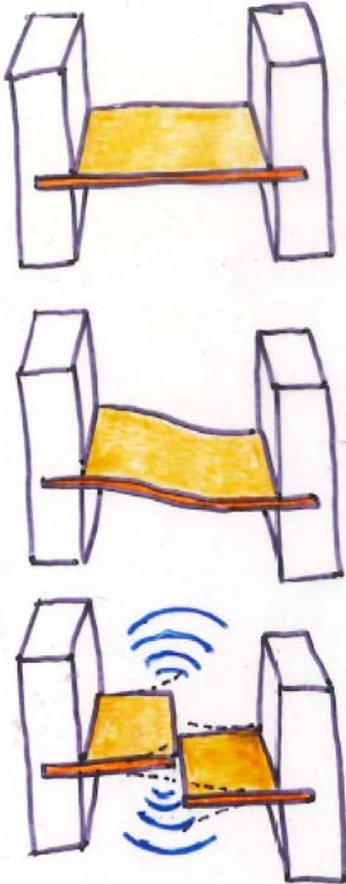


I terremoti

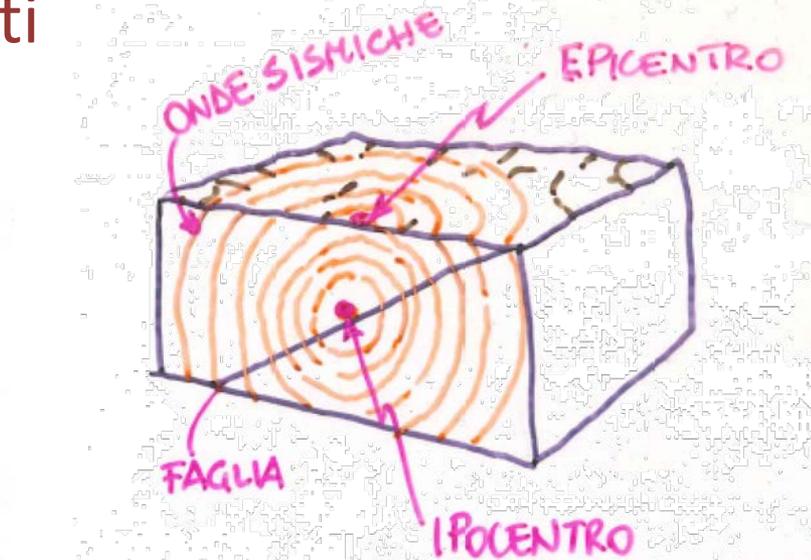


IL TERREMOTO E' UNA IMPROVVISA LIBERAZIONE DI ENERGIA ACCUMULATA NEL TEMPO CHE PRODUCE VIBRAZIONE DEL SUOLO

OGNI ANNO SULLA TERRA
1.000.000

DI TERREMOTI DI CUI
1.000

SOLAMENTE VENGONO
AVVERTITI

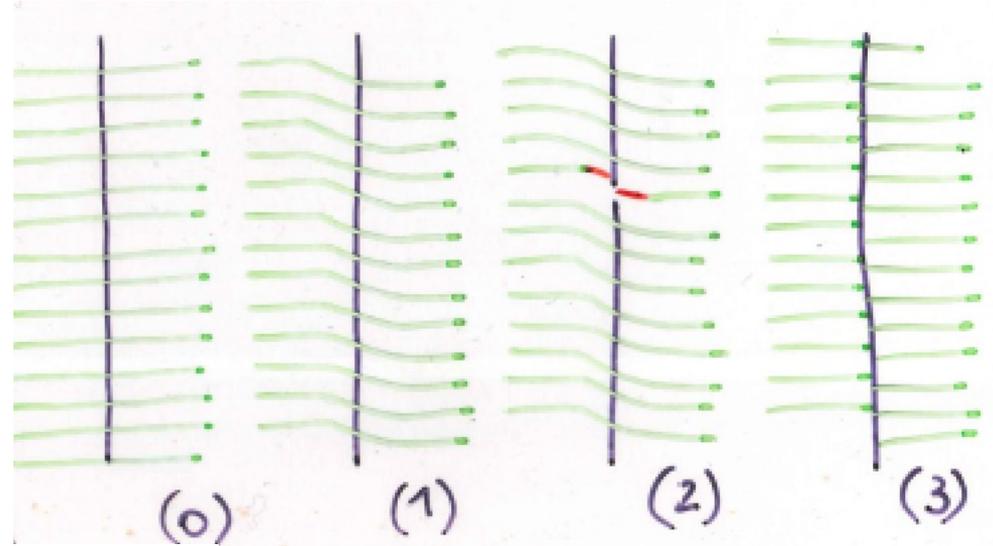


L'IPOCENTRO (O FUOCO DEL TERREMOTO) E' IL PUNTO IN CUI SI HA LO SPSTAMENTO INIZIALE DELLA FAGLIA E LA LIBERAZIONE DELL'ENERGIA. LE ONDE SISMICHE SI DIPARTONO DALL'IPOCENTRO E RAGGIUNGONO LA SUPERFICIE PRIMA SULLA VERTICALE (EPICENTRO) POI VIA VIA PIU' LONTANO

Lungo la faglia si accumula energia elastica che viene rilasciata sotto forma di onde sismiche e calore per attrito sul piano di faglia

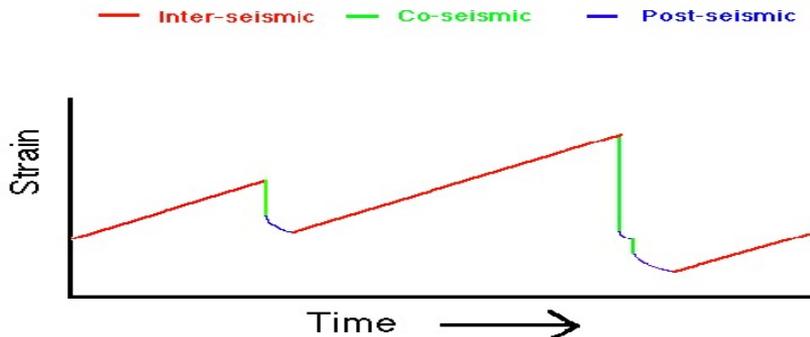
RIMBALZO ELASTICO

Gli sforzi che si accumulano nel tempo producono deformazioni elastiche nelle rocce (1) finché non si raggiunge il carico di rottura delle rocce (o si supera l'attrito di una faglia già esistente) e le due parti della faglia si muovono (2) con liberazione di energia e raggiungimento di una nuova posizione di equilibrio (3)

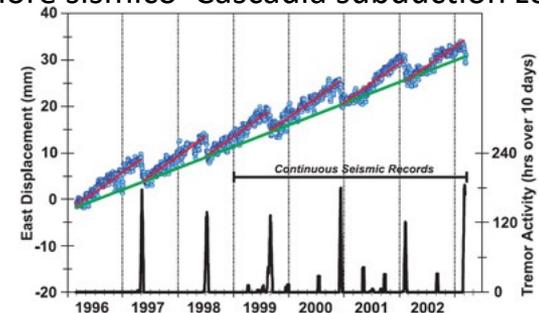


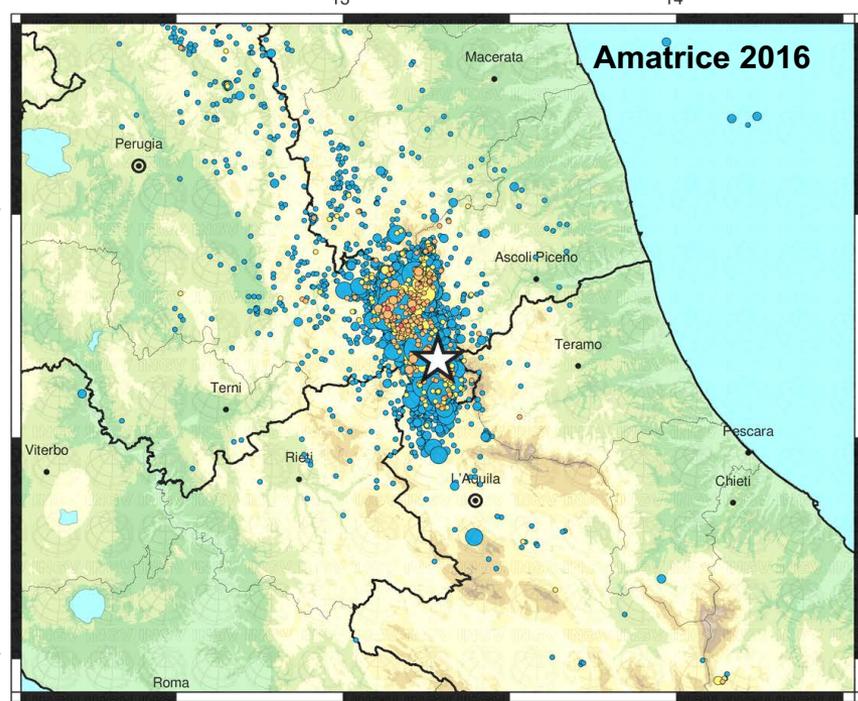
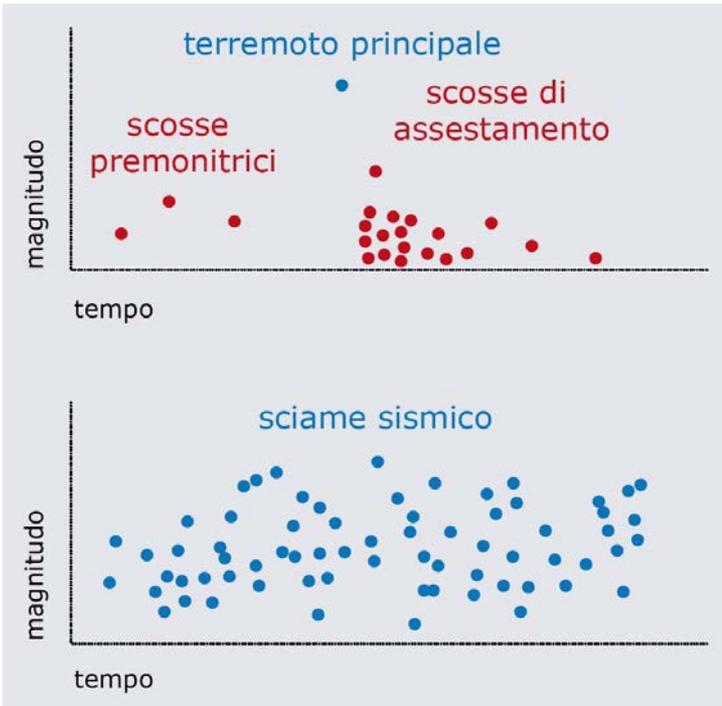
Ciclo sismico

Stadio intersismico	Stadio presismico	Stadio cosismico	Stadio postsismico
Lento accumulo di energia elastica nel tempo	Accelera la deformazione elastica delle rocce	Liberazione energia scatenata anche da eventi esterni	Repliche per aggiustamento dell'alterazione
(secoli-decenni)	(giorni-ore)	(secondi-minuti)	(settimane-mesi)



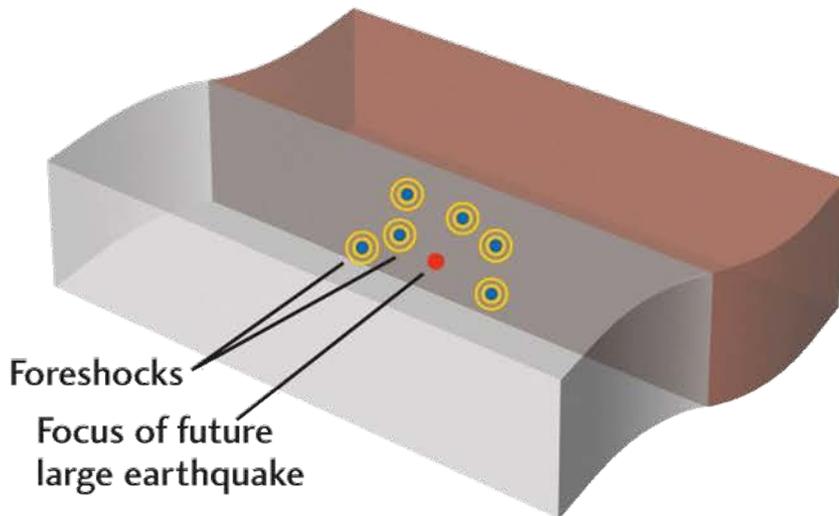
Tremore sismico Cascadia subduction zone



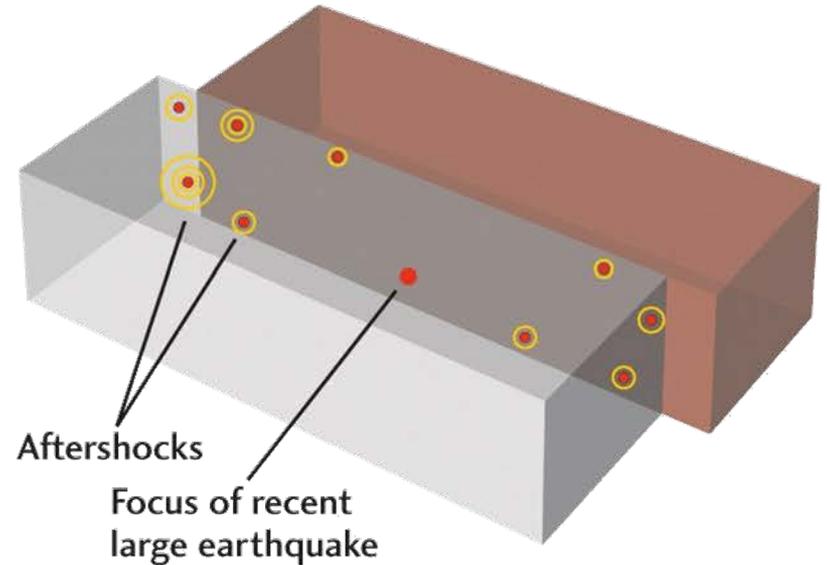


- ultima ora
- ultime 24 ore
- ultime 72 ore
- giorni precedenti

Before earthquake



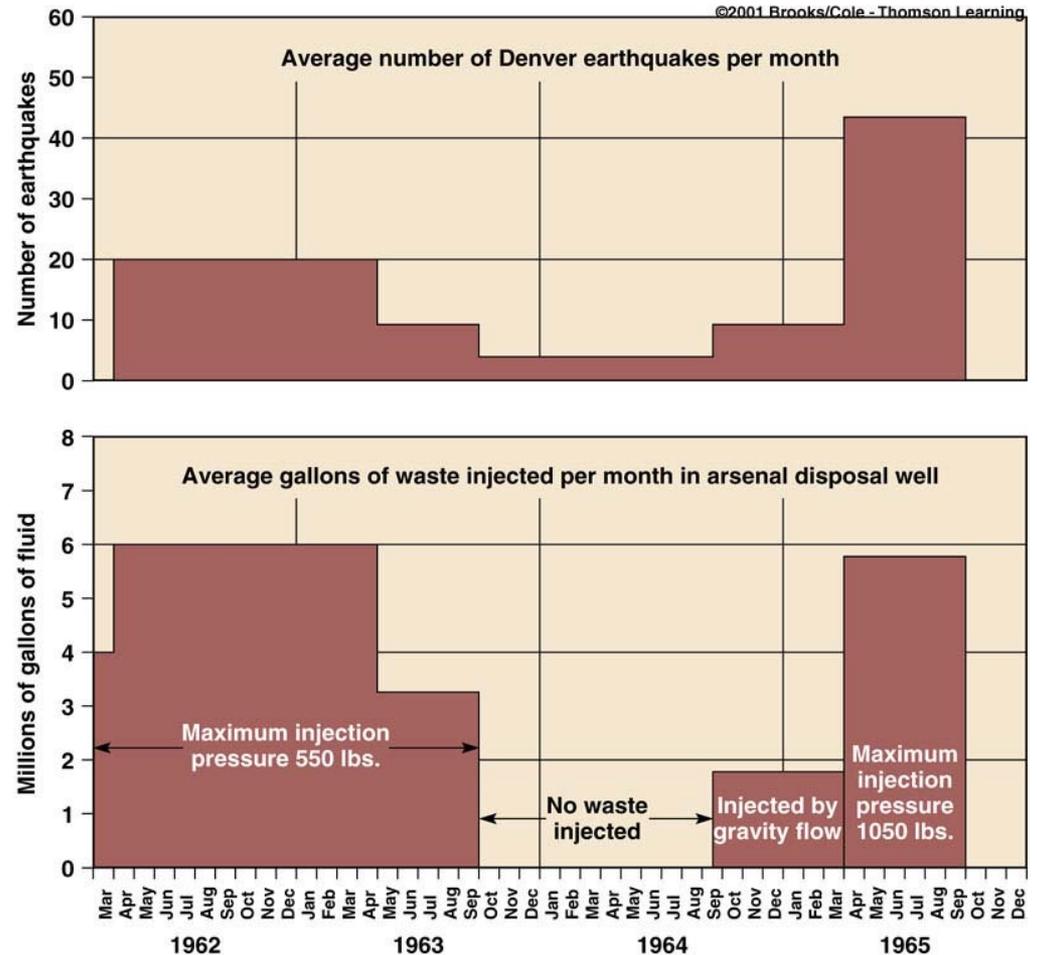
After earthquake

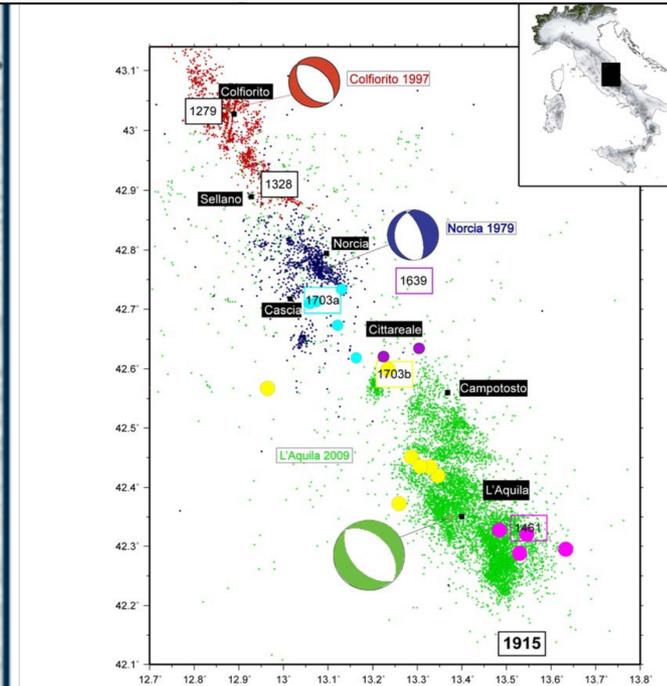
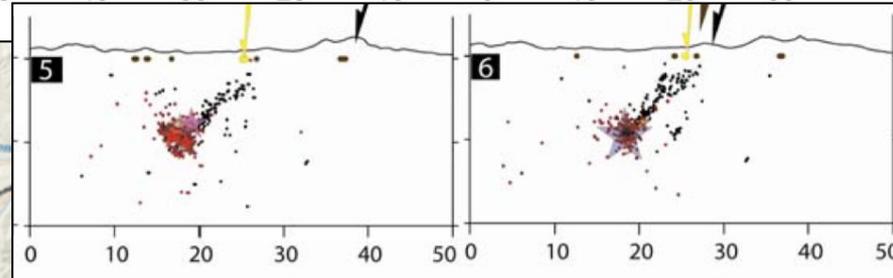
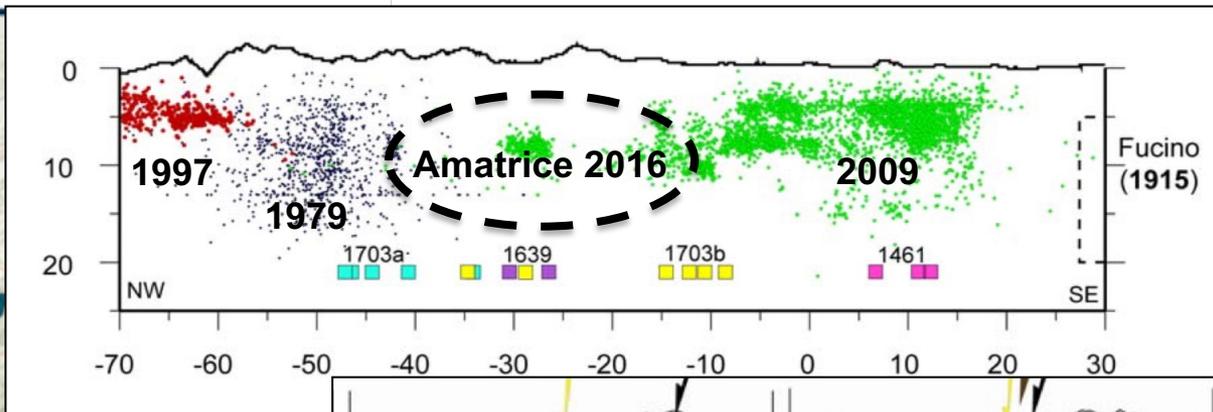
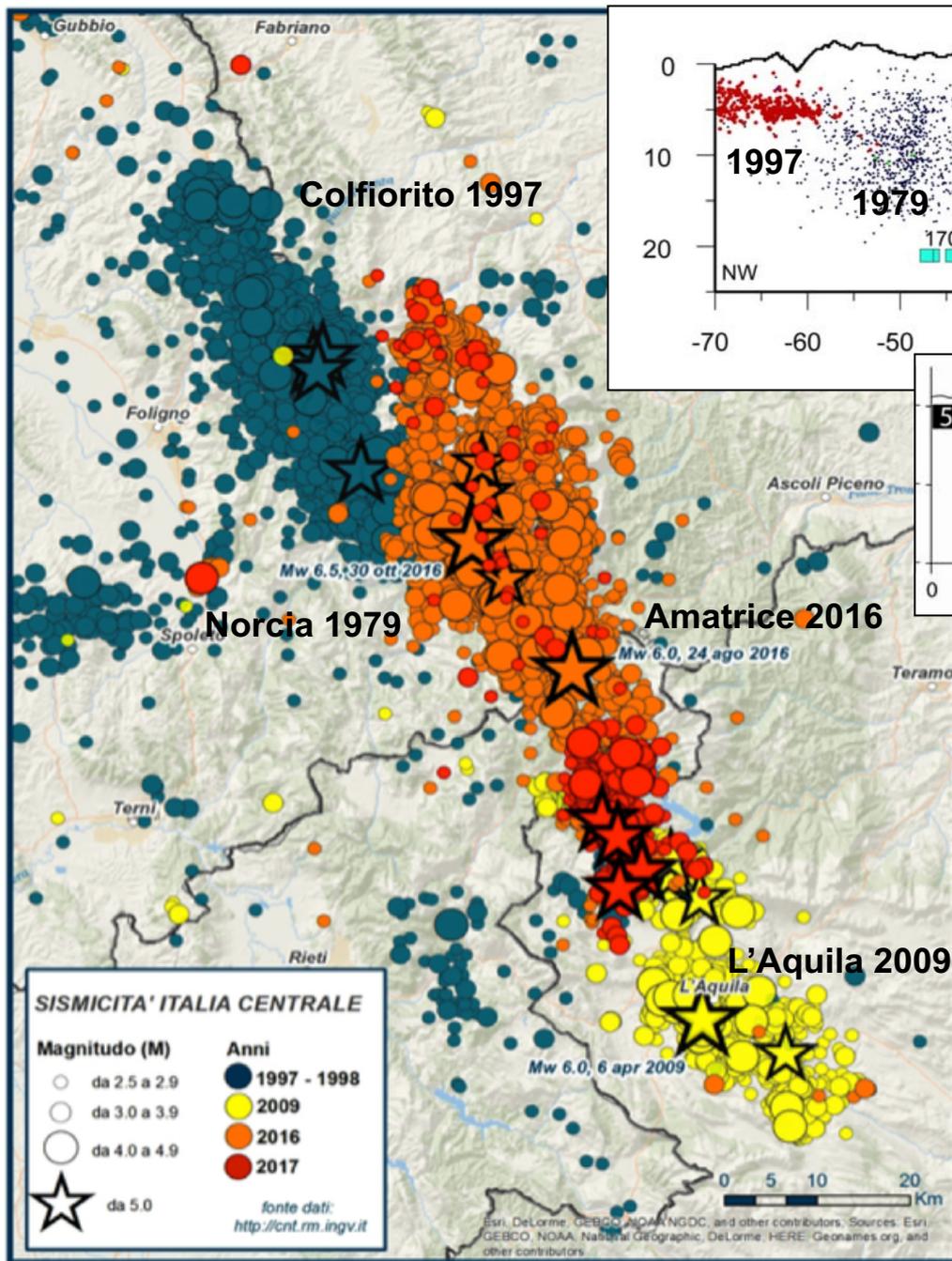


Controllare i terremoti?

Relazione tra immissione di fluidi nei pozzi a grande profondità e terremoti prodotti

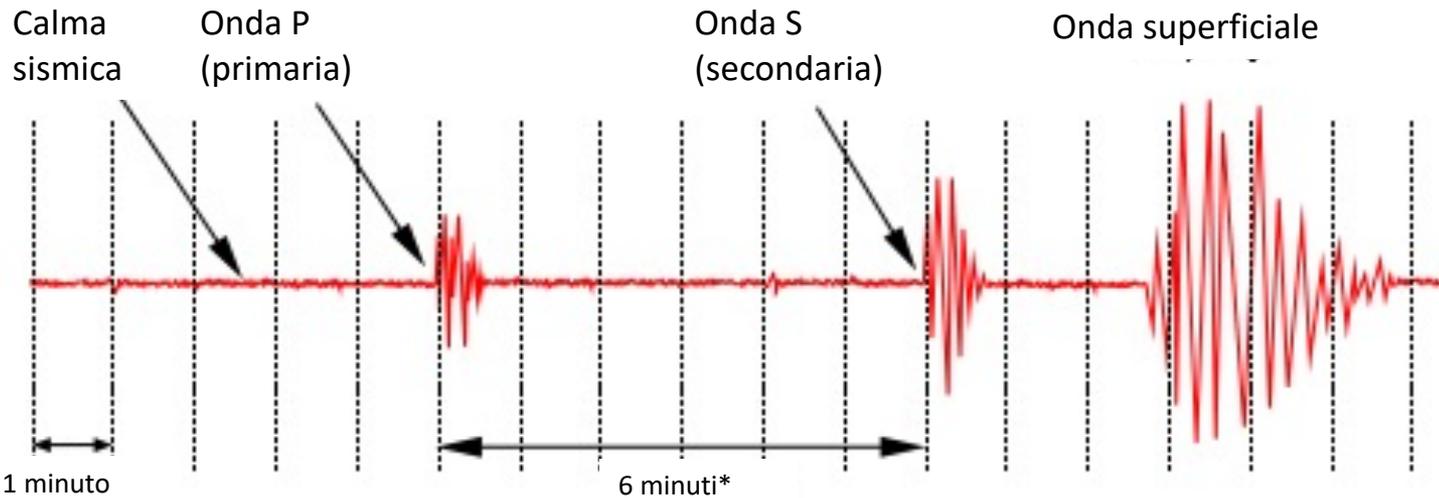
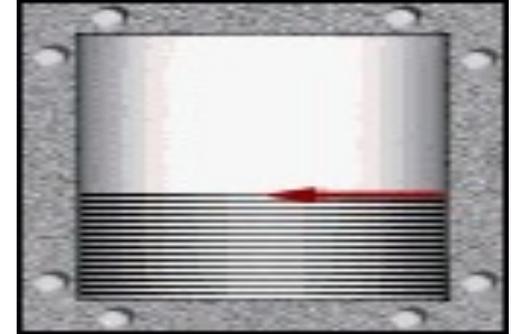
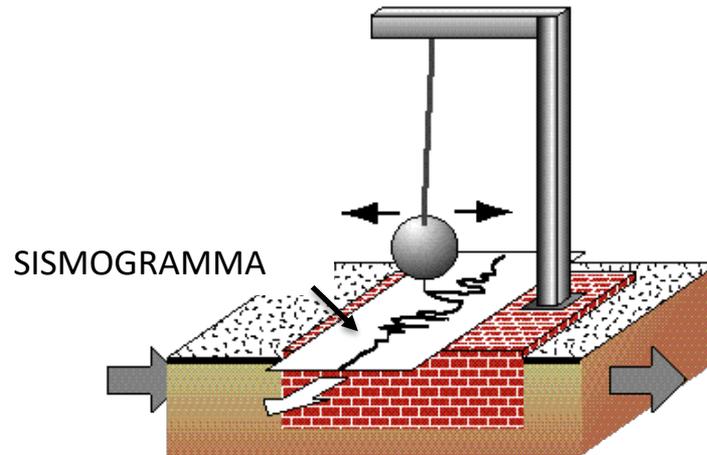
Alcuni sismologi suggeriscono di iniettare fluidi per indurre microterremoti e prevenire quelli di grande magnitudo



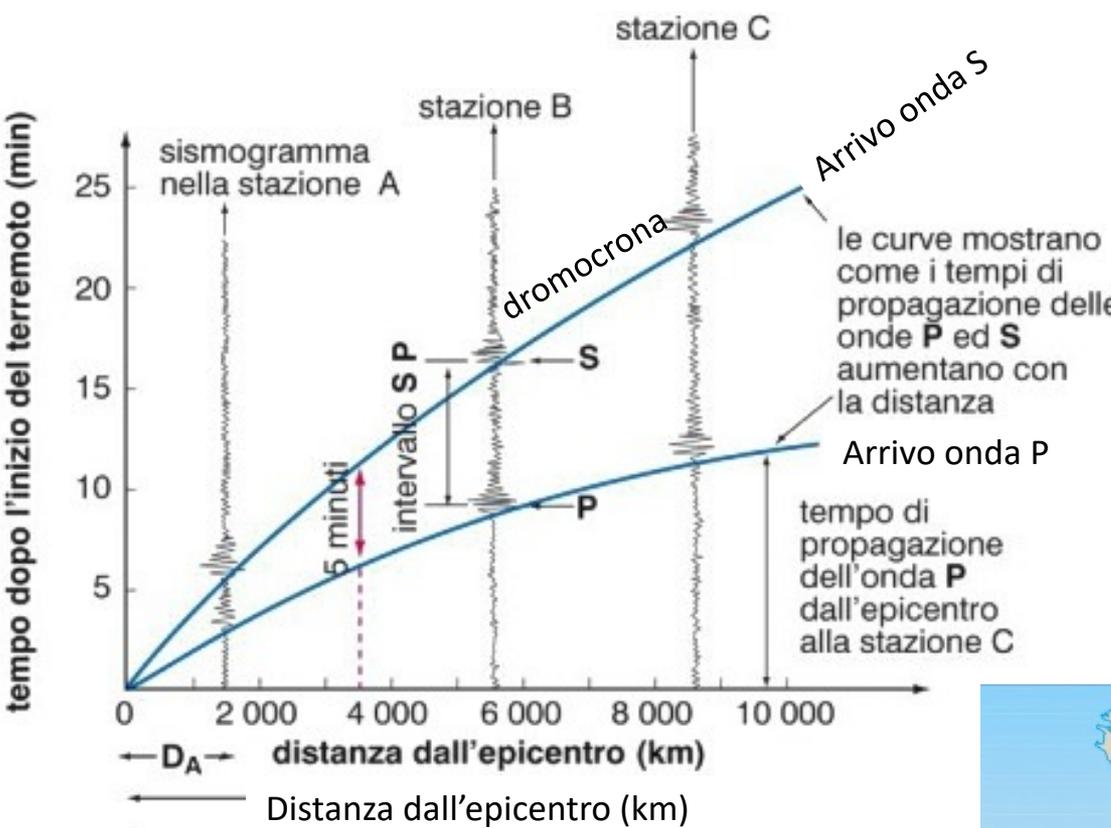


Misurare il terremoto: il sismometro

SISMOMETRO

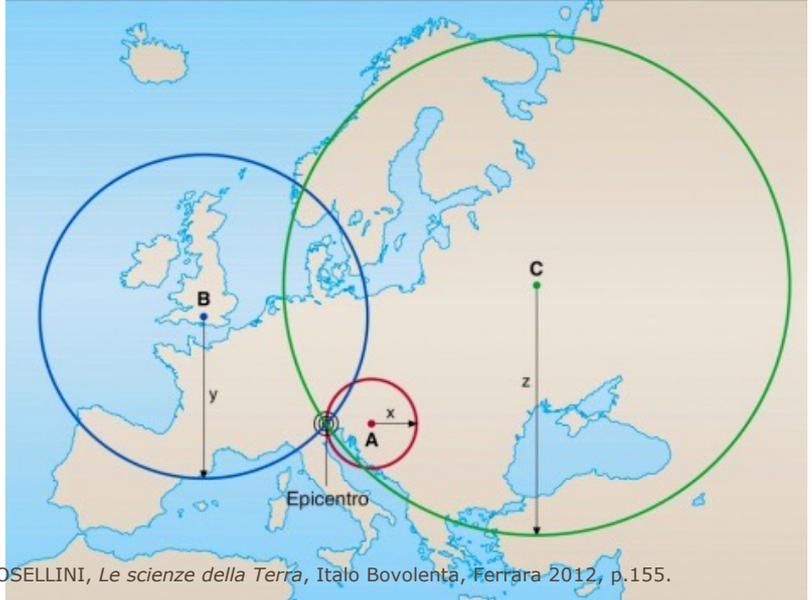
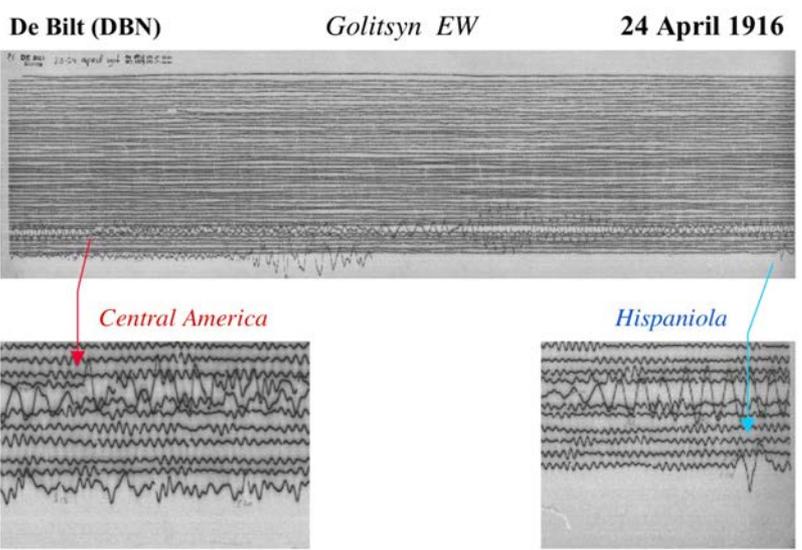


*NB: conoscendo la differenza di velocità tra P ed S posso calcolare la distanza!



Per determinare la posizione dell'epicentro, occorrono almeno tre sismografi che per questo sono collegati in reti che si scambiano i dati in tempo reale.

Le reti sismiche (in Italia gestite da INGV) permettono di sapere dove è avvenuto un terremoto dopo pochi minuti



A. BOSELLINI, *Le scienze della Terra*, Italo Bovolenta, Ferrara 2012, p.155.

La velocità delle onde sismiche è nota (km/s) e dipende dalla profondità e dal tipo di roccia

Misurare il terremoto: intensità rispetto a magnitudo

SCALA MERCALLI-CANCANI-SIEBERG (MCS)		
GRADO	TIPO DI SCOSSA	CARATTERISTICHE ED EFFETTI
I	STRUMENTALE	Il terremoto è registrato soltanto dagli strumenti e passa inosservato alle persone.
II	LEGGERRISSIMA	Percepito ai piani alti delle case da persone sensibili.
III	LEGGERA	Percepito da più persone, oscillazione di oggetti appesi e vibrazioni.
IV	MEDIOCRE	Oscillazioni e vibrazioni anche di automezzi, tintinnio di vetri, vibrazione di vasellame, scricchiolio di pareti.
V	FORTE	Scossa che sveglia chi dorme, scricchiolii, tintinnii, spavento; cadono calcinacci.
VI	MOLTO FORTE	Fa fuggire le persone all'aperto, produce rumori e boati, fa cadere oggetti pesanti, provoca qualche lesione agli edifici.
VII	FORTISSIMA	Provoca panico, caduta di intonaci, camini e tegole, rottura di vetri, danni di scarsa entità ai muri, piccole frane in materiali sciolti, suono di campane, onde sugli specchi d'acqua.
VIII	ROVINOSA	Si sente anche guidando automezzi, danneggia murature non di cemento armato; provoca la caduta di torri, palizzate, alberi e l'apertura di crepe nel suolo.
IX	DISASTROSA	Distrugge edifici non particolarmente resistenti, rompe tubazioni sotterranee, provoca ampie crepe nel terreno, apre crateri con espulsione di sabbia e fango.
X	DISASTROSA	Distrugge buona parte degli edifici, danneggia dighe ed argini, devia fiumi e rotaie, provoca grandi frane, sposta orizzontalmente i terreni che si sono fessurati.
XI	CATASTROFICA	Rovina completamente gli edifici, rompe ogni tubazione, tronca le comunicazioni, provoca un gran numero di vittime.
XII	GRANDE CATASTROFE	Distrugge ogni opera umana, sposta grandi masse rocciose, lancia in aria oggetti, provoca grandi frane e può causare migliaia di vittime.

INTENSITA' MERCALLI

Si ha un effetto del sinuso sulle strutture o sulle percezioni della popolazione (intense)

Si possono tracciare curve di uguale intensità (ISOSISME o ISOSISTE)

MAGNITUDO RICHTER

Si ha un rapporto tra oscillazioni prodotte da un sinuso e quelle prodotte da un terremoto standard di riferimento (a 100km 1μ).

Dato che i terremoti hanno un ampio spettro si usa il log₁₀.

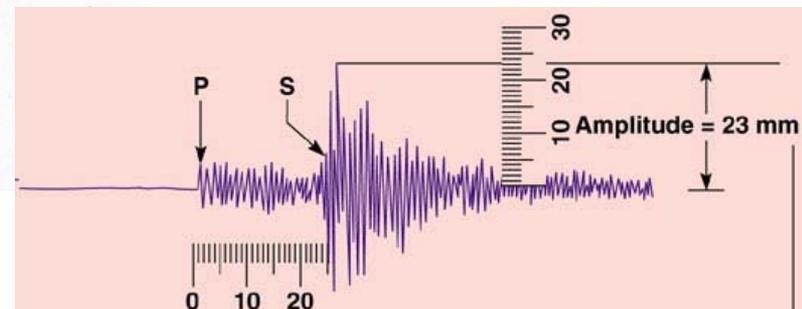
$\log_{10} \frac{\text{ampiezza misurata}}{\text{ampiezza riferimento}}$

LA MAGNITUDO RICHTER (1935)

DI UN TERREMOTO INDICA LA QUANTITA' DI ENERGIA RILASCIATA

L'INTENSITA' MERCALLI (1900)

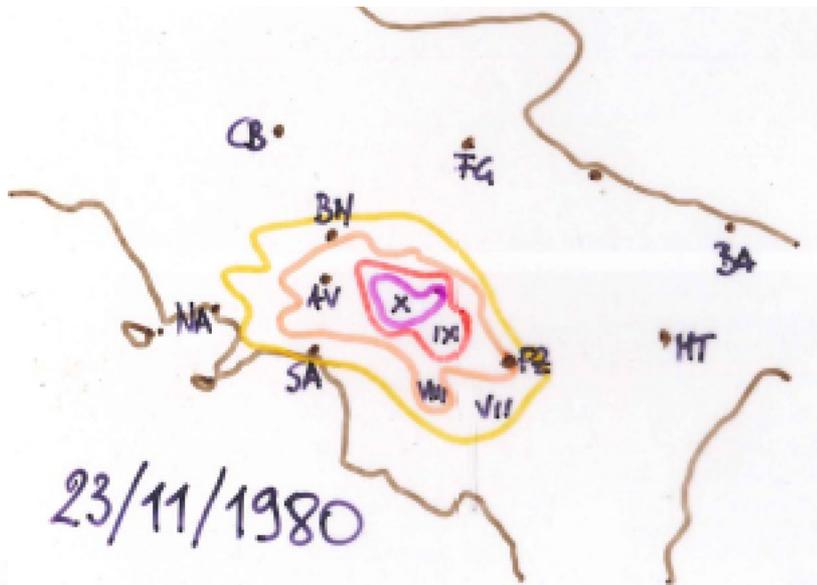
INDICA L'ENTITA' DELLE DISTRUZIONI CAUSATE DAL SISMA



INTENSITA' MACROSISMICA (scala MCS)

Vantaggi: 1) permette di avere tantissime «stazioni di misura» e comprendere come si distribuisce l'energia sul territorio

Carta delle isosisme

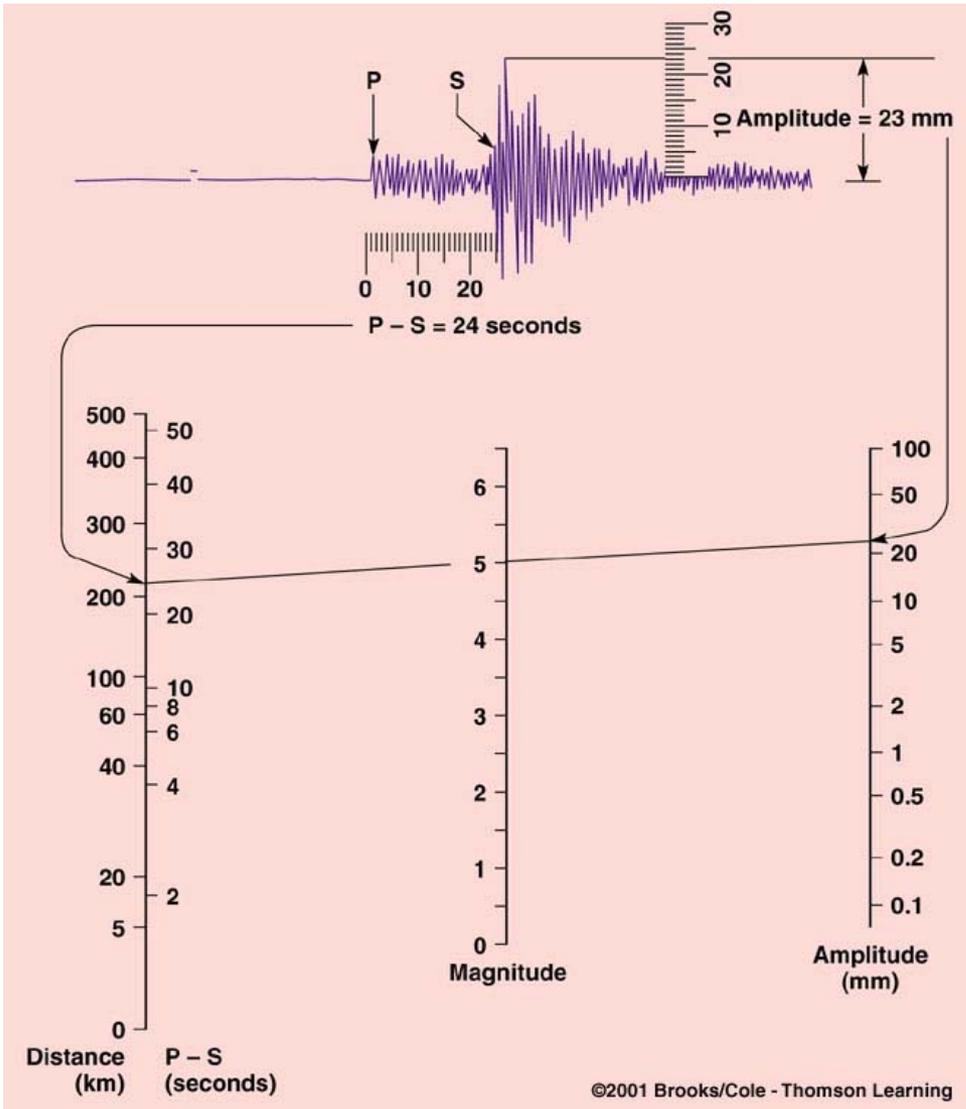


LE ISOSISME DANNO INFORMAZIONI SULLA PROFONDITA' EPICENTRALE E SULLE STRUTTURE GEOLOGICHE (SE GEOLOGIA ISOTROPA → ISOSISME CIRCOLARI)



Vantaggi: 2) permette di ricostruire i terremoti storici sulla base delle testimonianze storiche sui danni avvenuti

MAGNITUDO (scala Richter)



La magnitudo misura la quantità totale di energia rilasciata da un terremoto.

La **Magnitudo Richter (ML)** che per ogni aumento di ampiezza di 10 volte delle onde sismiche di frequenza pari a circa 1 Hz, equivale a un aumento di un grado di magnitudo. Si calcola istantaneamente.

$$M_L = \log_{10} A/A_0$$

M_L = Magnitudo locale o Richter

A = Ampiezza massima del terremoto sconosciuto

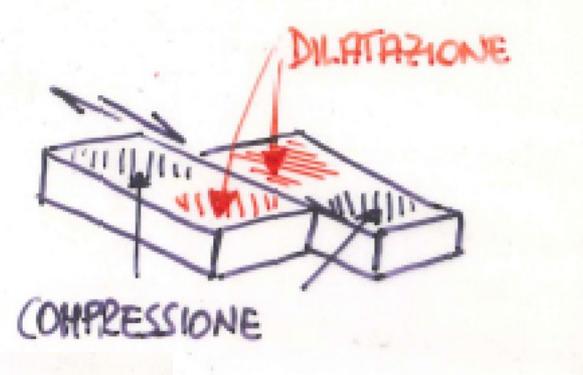
A_0 = Ampiezza massima di un terremoto standard

La **Magnitudo Momento (Mw)** equivale al prodotto tra area di faglia, dislocazione e la resistenza delle rocce. Ci si mette di più a calcolarla ma è più precisa specie per i forti terremoti (lavora su frequenze <1Hz)

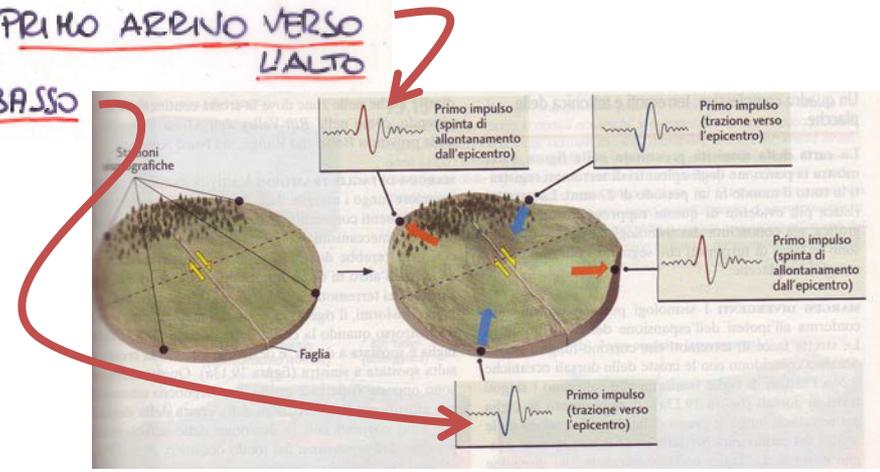
Vantaggio: la magnitudo è indipendente dalla distanza e dall'antropizzazione ed è un valore strumentale

Meccanismo focale

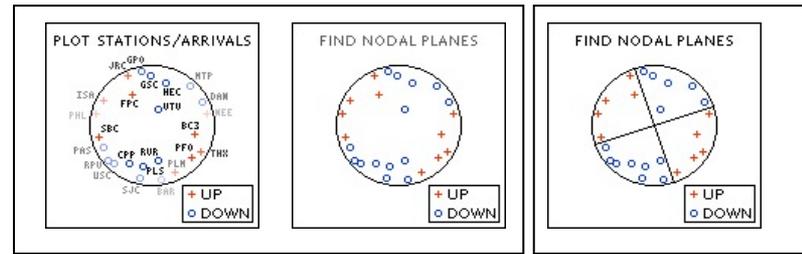
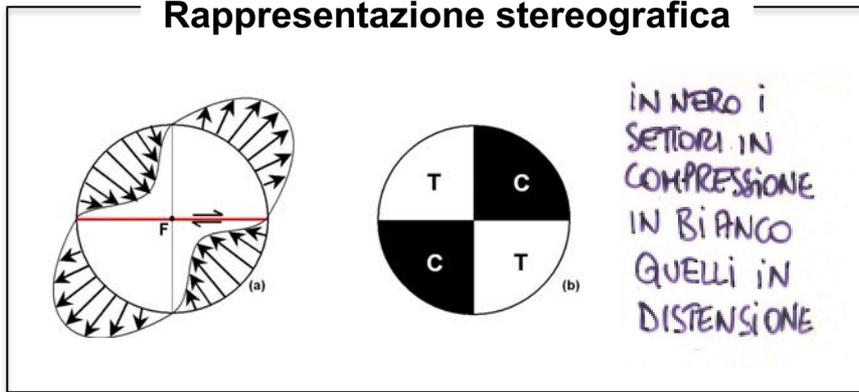
QUANDO SI HA MOVIMENTO LUNGO UNA FAGLIA,
 IN OGNUNO DEI DUE BLOCCHI CHE SI MUOVONO
 SI HA UNA PARTE IN COMPRESSIONE E UNA
 IN DISTENSIONE.



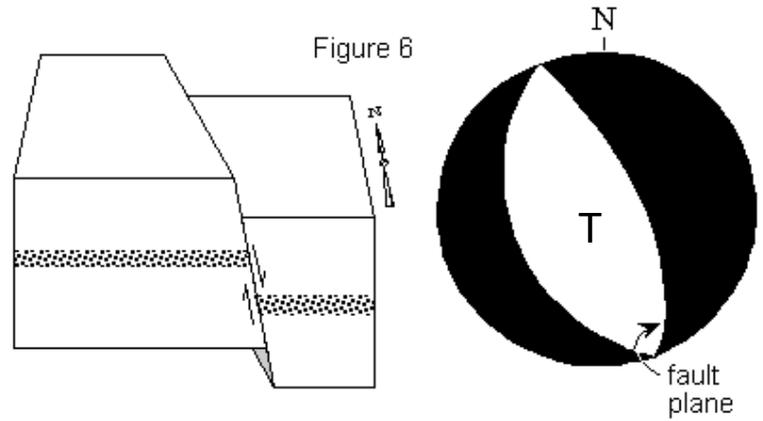
UNA COMPRESSIONE GENERA NEL SISMOGRAMMA UN PRIMO ARRIVO VERSO L'ALTO
 UNA DILATAZIONE " UN PRIMO ARRIVO VERSO IL BASSO



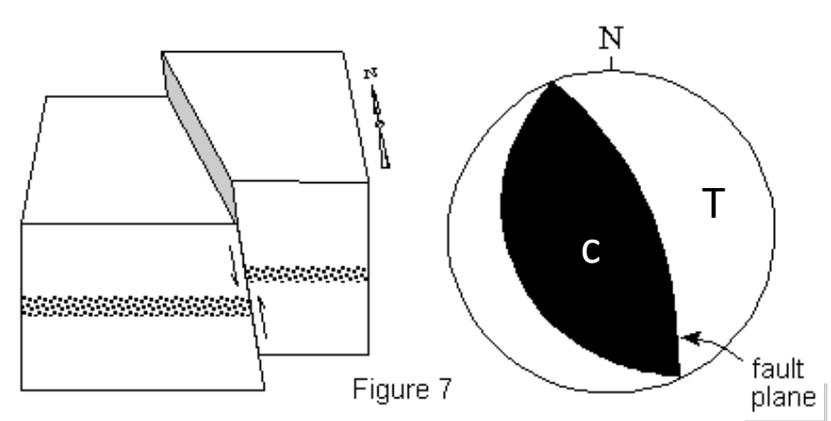
Rappresentazione stereografica



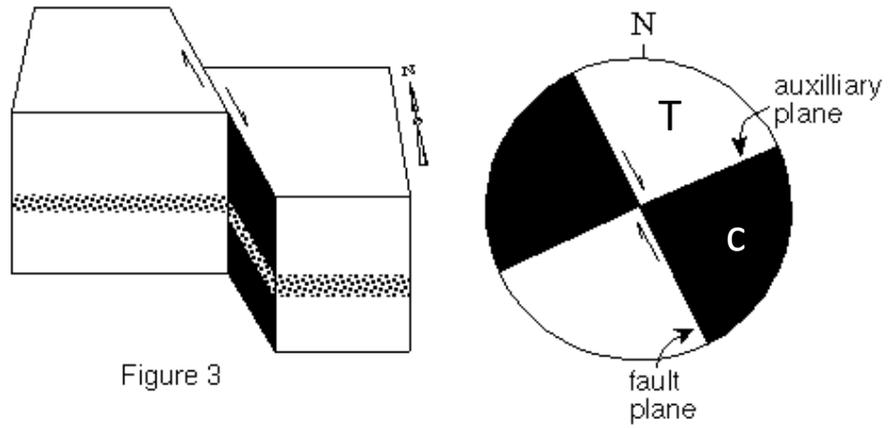
Quale è la geometria della Faglia che ha prodotto il terremoto?



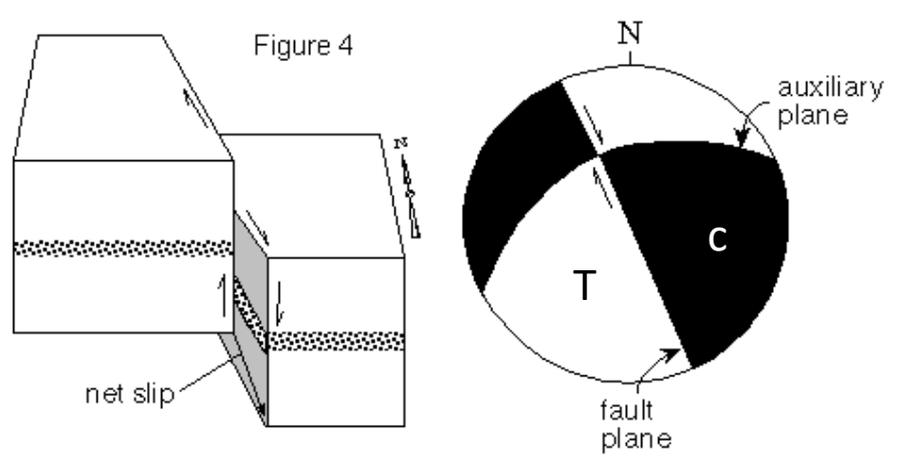
Faglia Normale



Faglia Inversa



Faglia Trascorrente



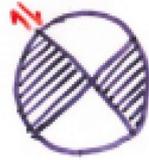
Faglia obliqua

Meccanismo focale - indicazioni geologiche

Tramite una rappresentazione stereografica dei primi arrivi di tutti i sismografi, i quadranti compressivi e distensivi forniscono informazioni sul movimento all'ipocentro



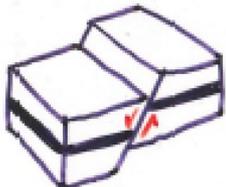
Trascorrente



inversa



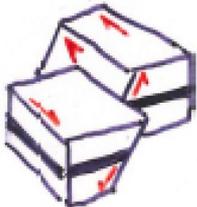
FAGLIA INVERSA
"OCCHIO NERO"



diretta



FAGLIA DIRETTA
"OCCHIO BIANCO"

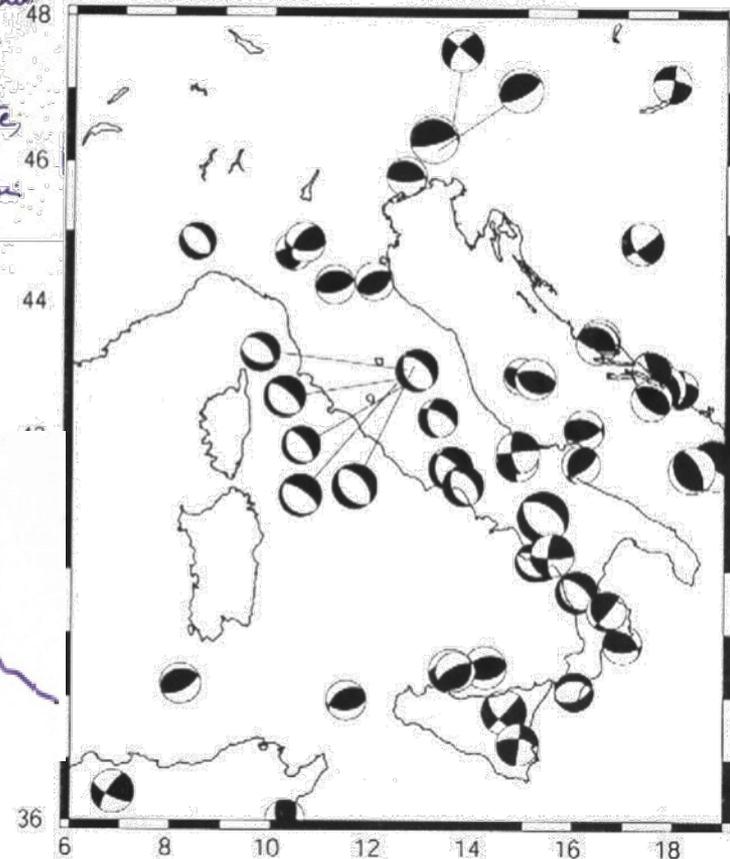
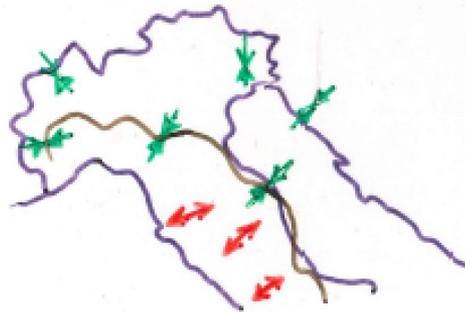


obliqua



*in realtà esiste
un'ambiguità perché
i meccanismi definitivi sono
il piano di faglia e il
piano ausiliario a 90°
dentro strumentalmente,
la scelta avviene in
base a considerazioni
geologiche*

Carminati et alii 2004 - Alps vs Apennines



POTERE DISTRUTTIVO DEI TERREMOTI

I TERREMOTI SONO IL FENOMENO GEOLOGICO PIÙ PERICOLOSO PER STRUTTURE E VITE UMANE

DURANTE UN SISMA SI GENERANO PIÙ SCOSSE, CON ONDE P, S, e superficiali che INTERAGISCONO E PROVOCANO ACCELERAZIONI VERTICALI E ORIZZONTALI DEL SUOLO

-) ENTITÀ DELL'OSCILLAZIONE
-) DURATA
-) QUALITÀ DELLA COSTRUZIONE
-) NATURA GEOLOGICA
-) EFFETTI COLLATERALI

Non è il terremoto ad uccidere: sono gli edifici



POTERE DISTRUTTIVO DI UN SISMA

Entità dell'oscillazione

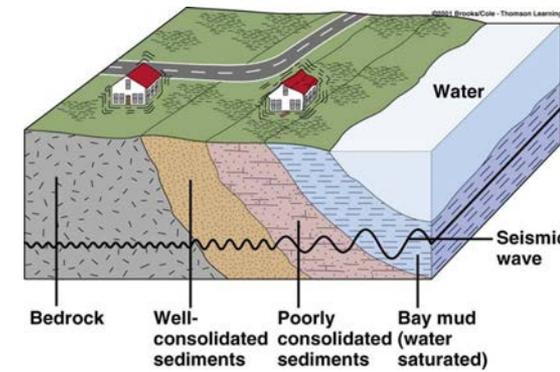
Da magnitudo 5 in poi (o da intensità VII in poi) si hanno danni agli edifici. E' il fattore primario che determina il potere distruttivo del sisma.

Durata dell'oscillazione

in genere tra 20" e 1', La lunga durata del sisma (e la presenza di repliche) è distruttiva perché investe strutture già indebolite dalle scosse precedenti

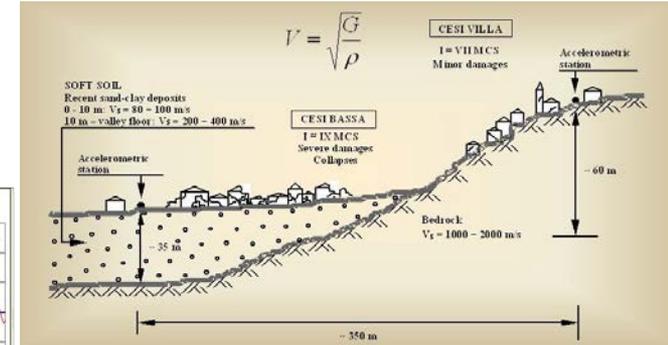
Qualità delle costruzioni

dovrebbero resistere a spinte tridimensionali. Specie le accelerazioni orizzontali non sono previste nei calcoli statici. Cemento armato e legno sono i materiali migliori; mattoni e muratura sono i materiali peggiori. Importante periodo di vibrazione intrinseco che può produrre risonanza (vedi video)



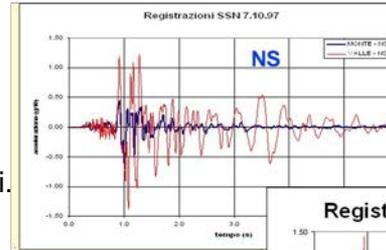
Natura geologica ed effetti di sito

il comportamento delle onde sismiche può essere amplificato da effetti di sito con amplificazioni, focalizzazione, guide d'onda, rifrazione e risonanza.



Effetti collaterali

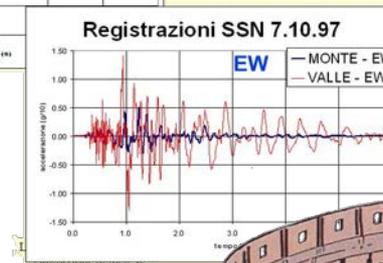
liquefazione specie in sabbie incoerenti
 costipazione in sedimenti ricchi d'acqua
 frane accompagnano sempre sismi, pericolosi per bacini artificiali.
 incendi per rottura tubazioni
 maremoti.



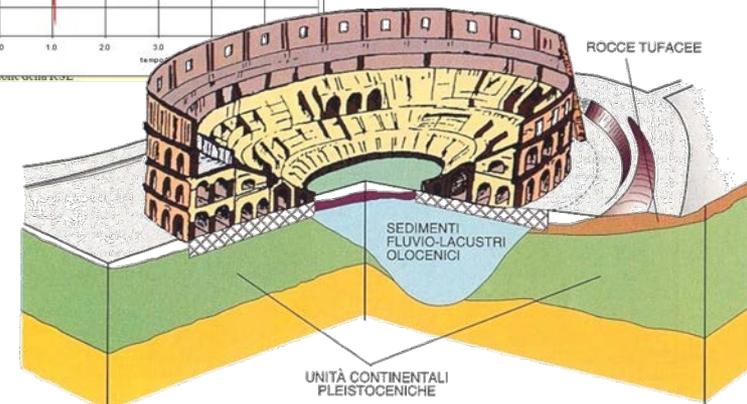
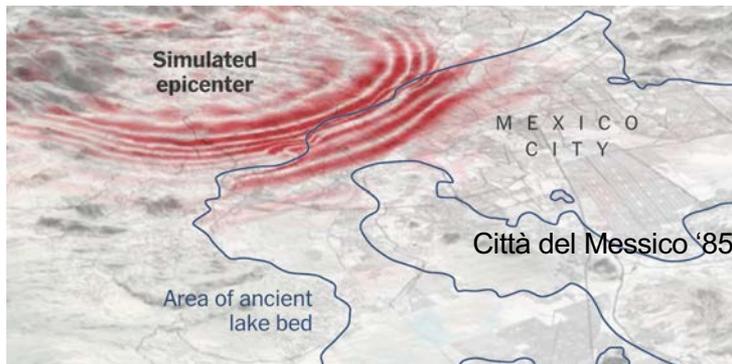
Le registrazioni della rete mobile del SSN della scossa del 7.10.97

Cesi Valle: linea rossa
 Cesi Monte: linea blu

Tito Sano



CesiMonte CesiValle ottobre '97



Bedrock hills
0.5 sec. period
Weak shaking

Mexico City basin
2 sec. period
Strong shaking

Bedrock seismogram

Basin seismogram:

High-frequency, low-amplitude.
Short period.

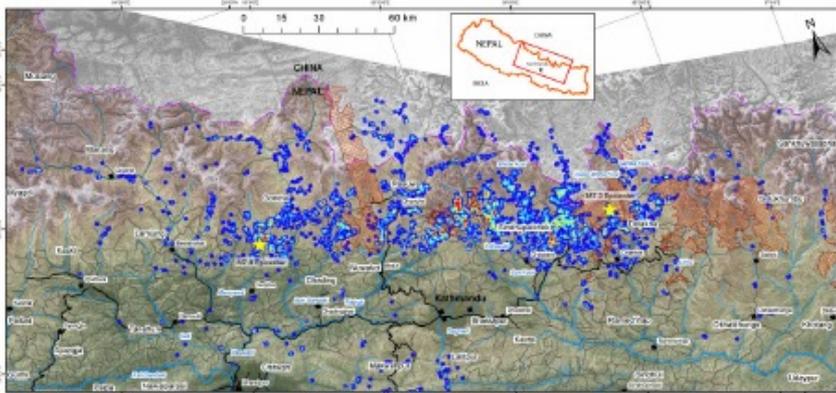
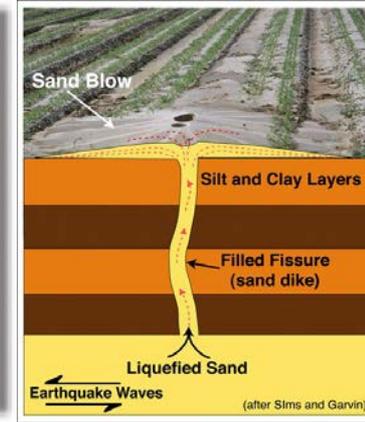
Earthquake

**Crollo di edifici di altezza intermedia
perché soggetti a risonanza**



Effetti collaterali

- liquefazione specie in sabbie incoerenti
- costipazione in sedimenti ricchi d'acqua
- frane accompagnano sempre sismi, pericolosi per bacini artificiali.
- incendi per rottura tubazioni
- maremoti.

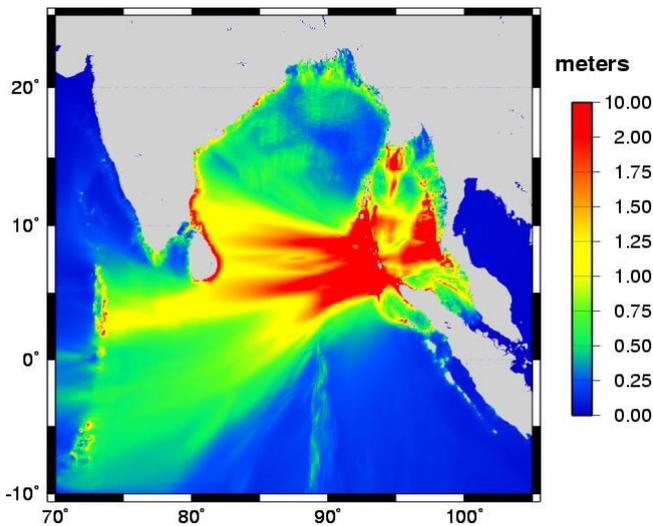


2015 Nepal Earthquakes Mapped Landslide Intensity (Revision 4.0 - 10 June 2015)

Durham University Earthquakes without Procedures British Geological Survey



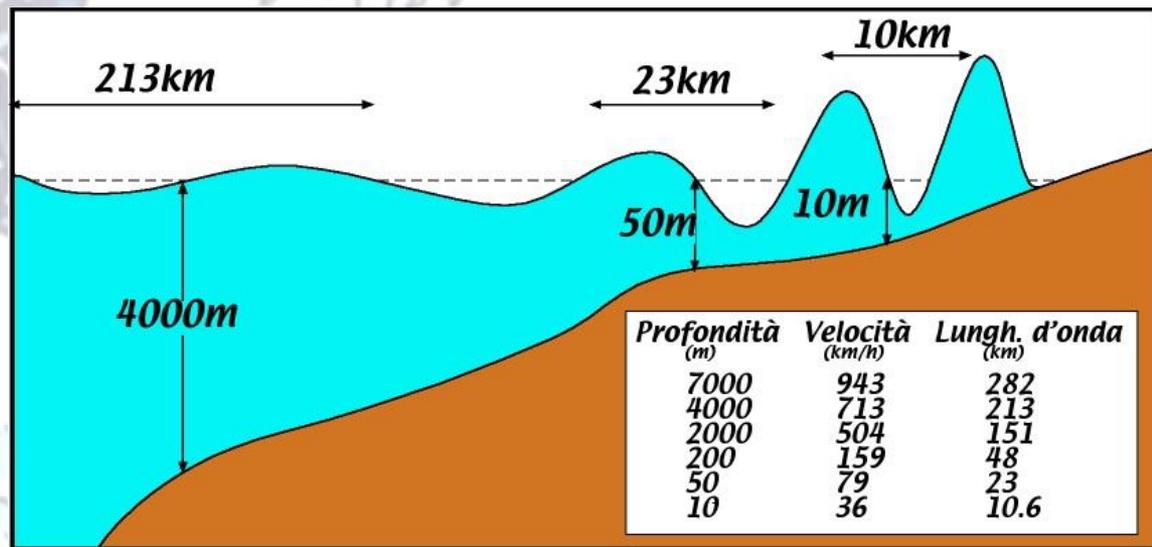
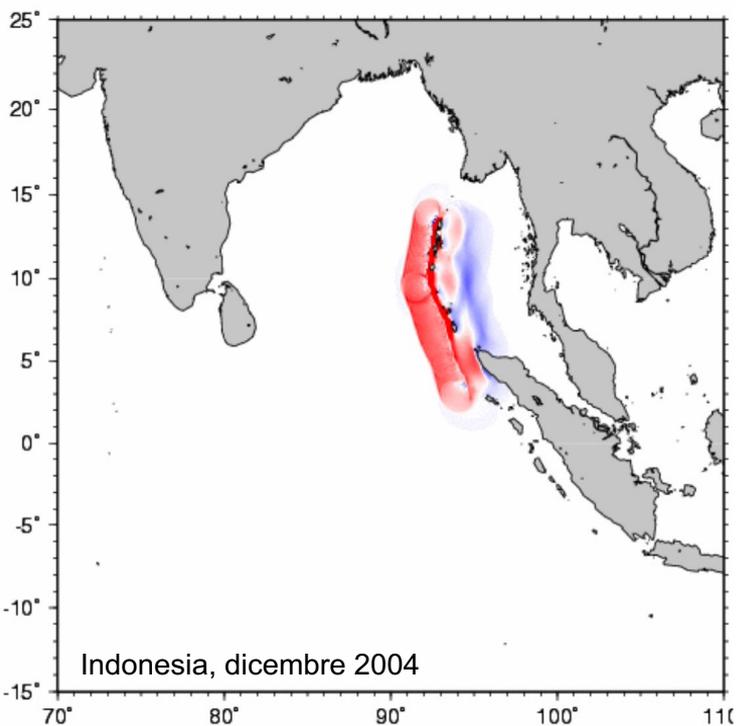
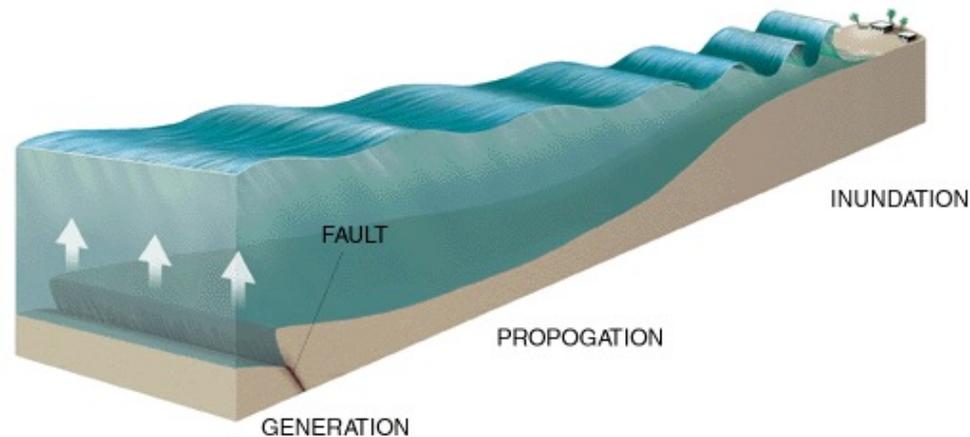
Maximum water elevation



Source: A. Piatanesi - INGV

<http://www.ingv.it/%7eroma/reti/rms/terremoti/estero/indonesia/indonesia.htm>

Maremoti (tsunami)



Osservazioni:

- 1) l'onda si propaga più lentamente verso la Thailandia che verso l'India, ancora più lenta nello Stretto, perché la velocità diminuisce in acqua bassa
- 2) In acqua bassa l'onda aumenta di altezza
- 3) L'onda ha polarità inverse ad Est e ad Ovest (dipende dal movimento della faglia)
- 4) L'onda è molto più alta in India che in Bangladesh (onda piana)

Previsione dei terremoti

Statistica

(studio dei tempi di ritorno o delle aree non ancora colpite)

Tempi di ritorno

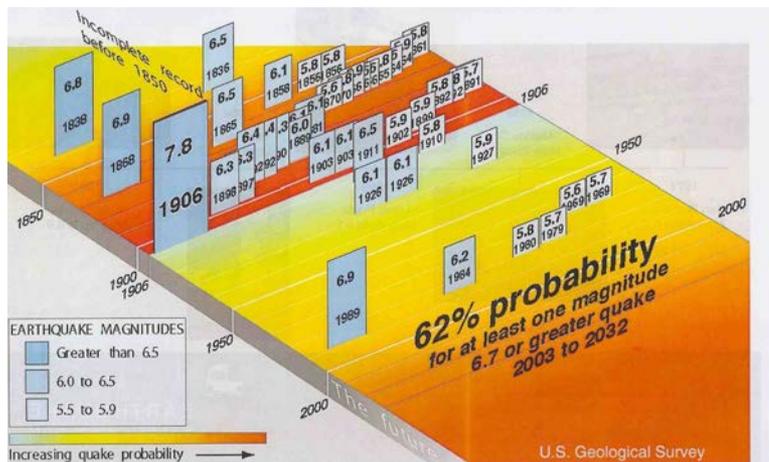
Gap sismico

PROBLEMI:

- Limite nel record storico per completezza dei cataloghi
- È inutile per l'allarme sismico

VANTAGGI:

- E' fondamentale per la zonazione sismica



Deterministica

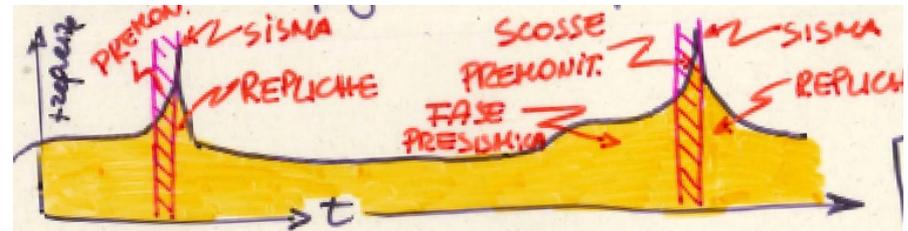
(studio dei precursori)

PROBLEMI:

- difficile osservare tutti i parametri che variano immediatamente prima di un terremoto
- Non tutti i terremoti sono uguali
- Falsi allarmi (Terremoti senza precursori - Precursori senza terremoti)

VANTAGGI:

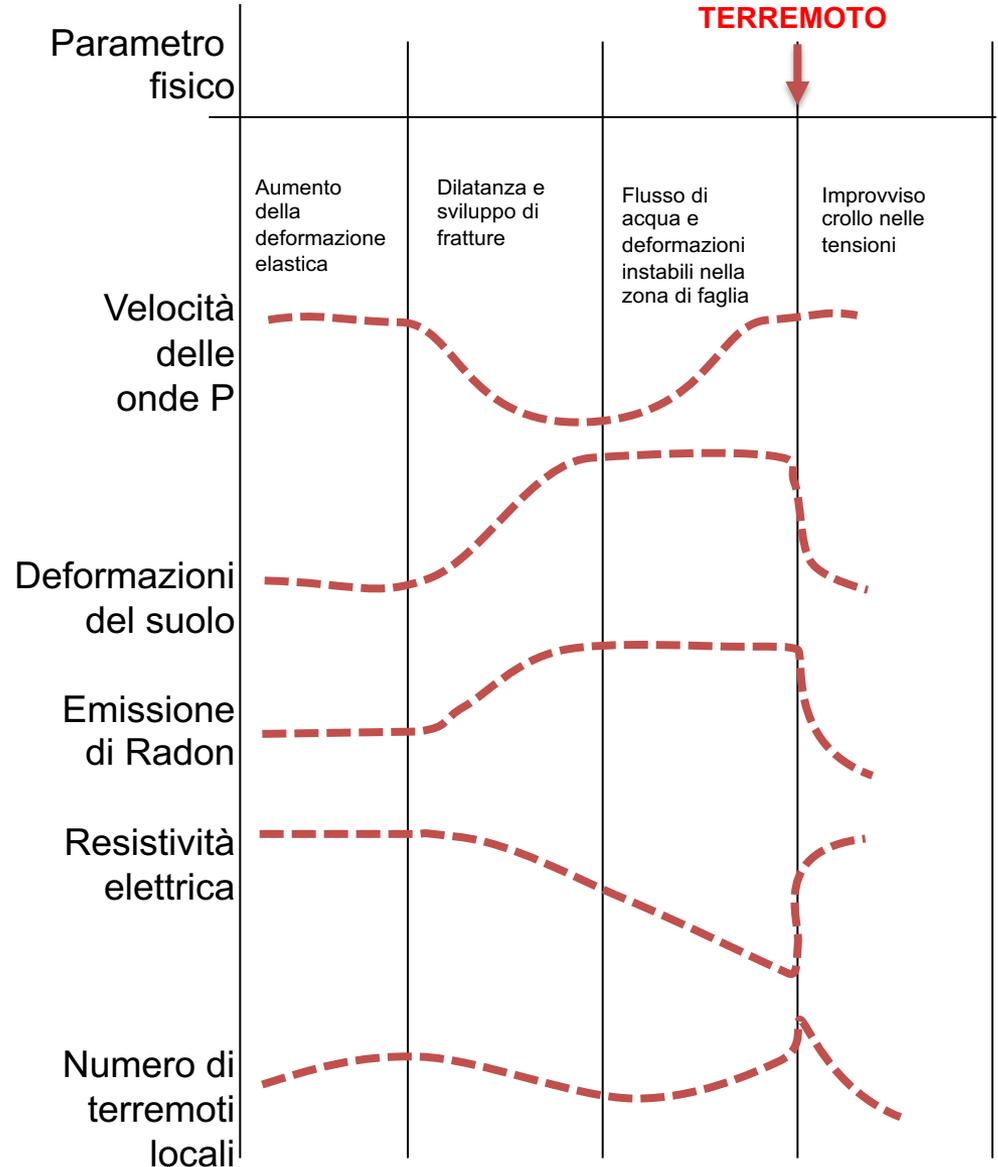
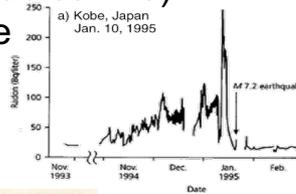
- Se mai si riuscirà ad effettuare permetterà di salvare le vite umane (Haicheng, Cina NW, previsione a 5 ore da sisma M7.6 90% abitazioni lesionate su 3 milioni di persone solo 2-300 vittime)

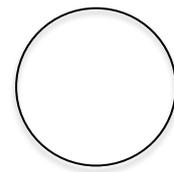
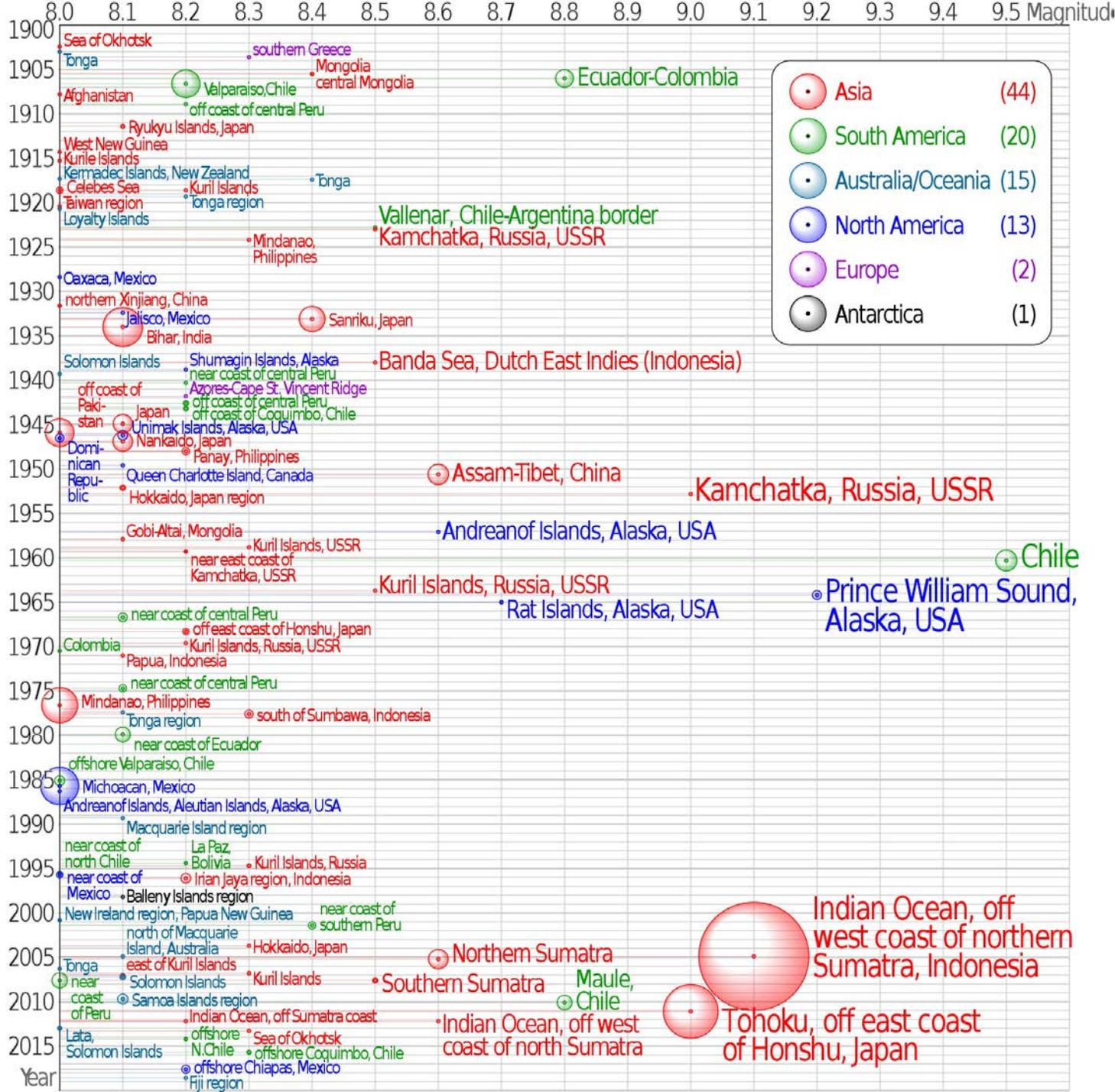


Precursori sismici

Nella fase immediatamente presismica la dilatanza delle rocce induce fenomeni che possono essere rilevati in superficie

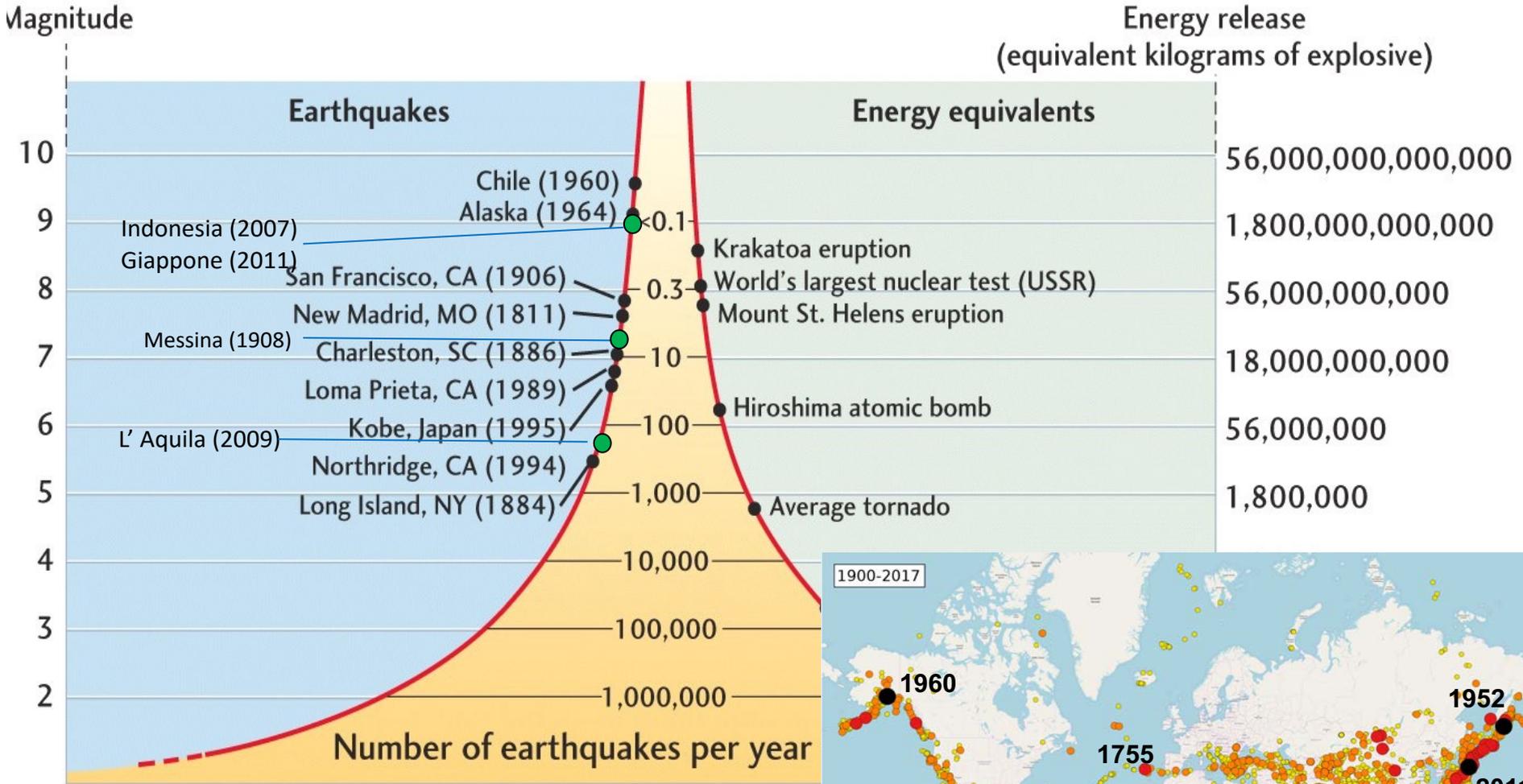
- **Variazione nella velocità delle onde P** (10-15%, le S non variano) fino a una stabilizzazione immediatamente prima della rottura (6 mesi prima M6, 12 mesi prima di M7, fino a 10 anni prima di M8)
- **Sollevamenti del suolo** (o deformazioni orizzontali) rilevati attraverso clinometri
- Aumento del **Radon** (gas radioattivo) liberato da rocce deformate
- **Scosse premonitrici**
- Variazioni nelle caratteristiche del campo elettromagnetico (anomalie comportamento animale)
- Variazioni di porosità (temperatura e livello di falda)



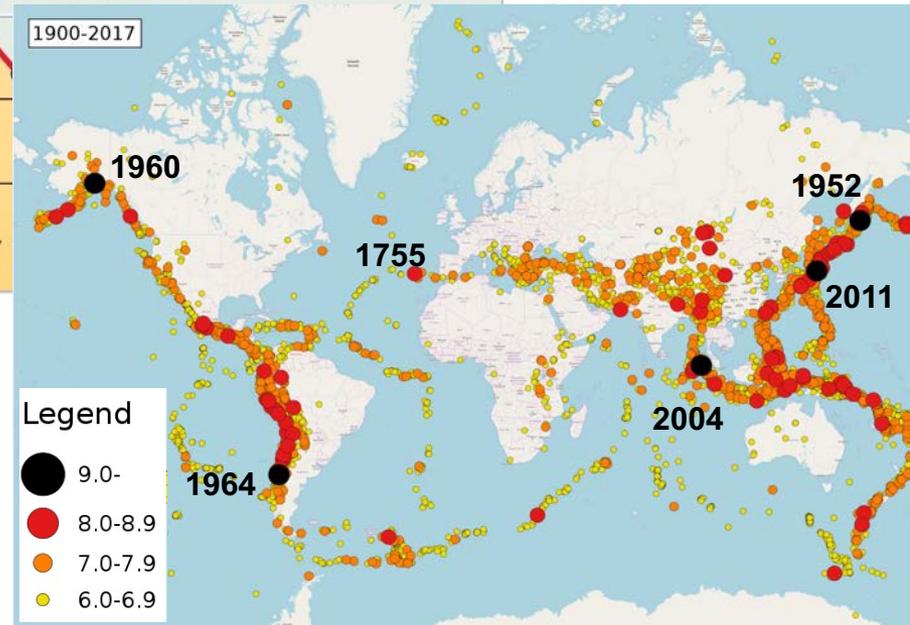


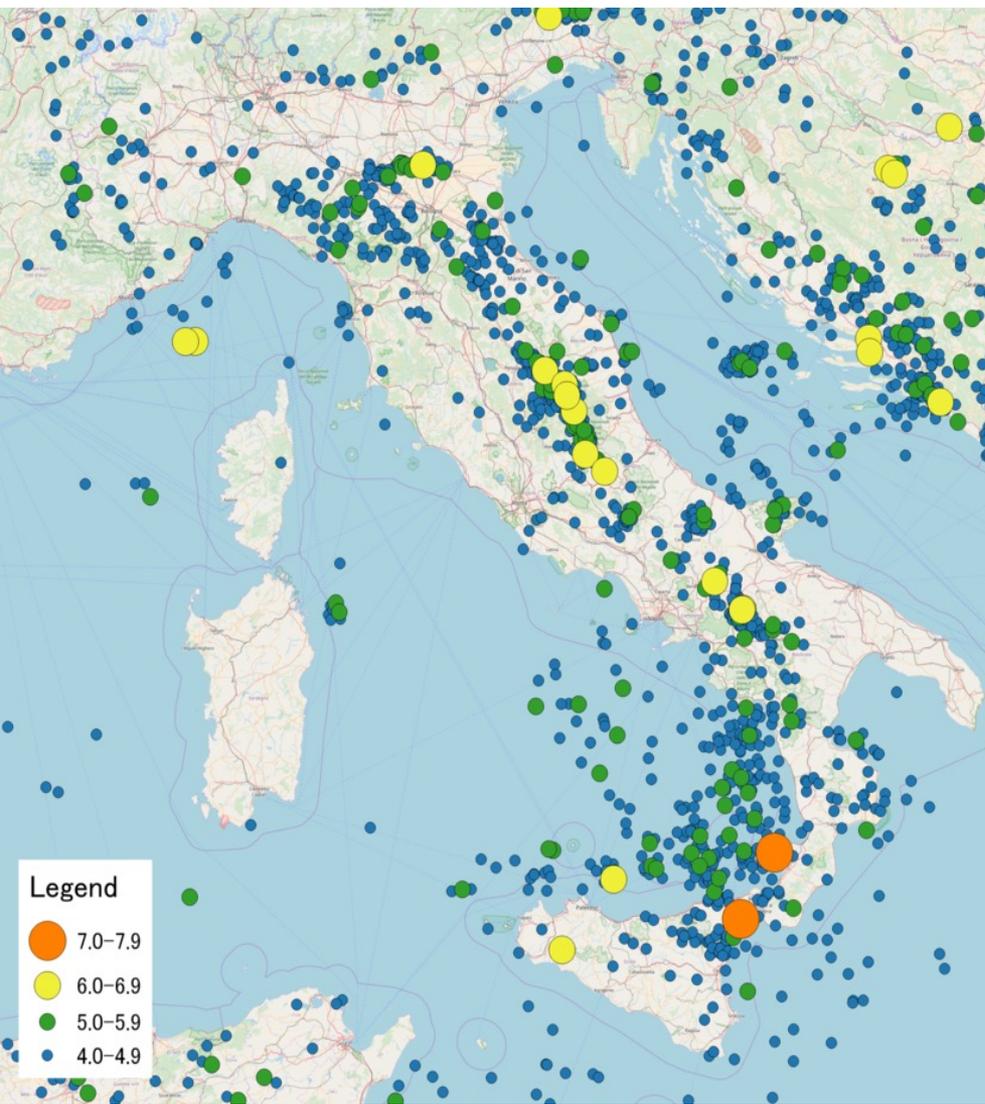
La dimensione è proporzionale al numero di vittime

Rapporto esponenziale tra energia e probabilità di accadimento

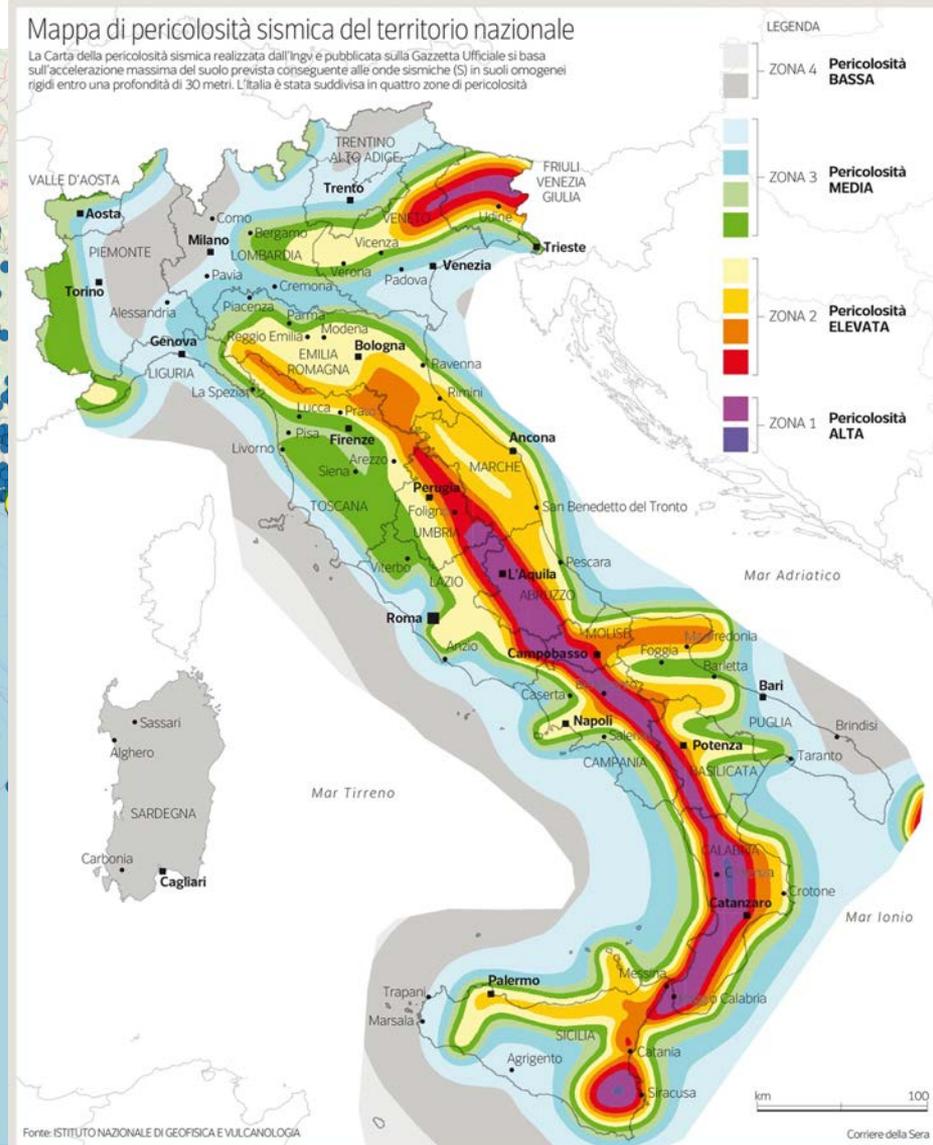


**I terremoti a maggiore energia sono legati ai limiti di placca distruttivi (Oceano Pacifico)
Nel mediterraneo le magnitudo arrivano a meno di 7.5**





Terremoti in Italia 1900-2017



Pericolosità sismica (PGA- peak ground acceleration)

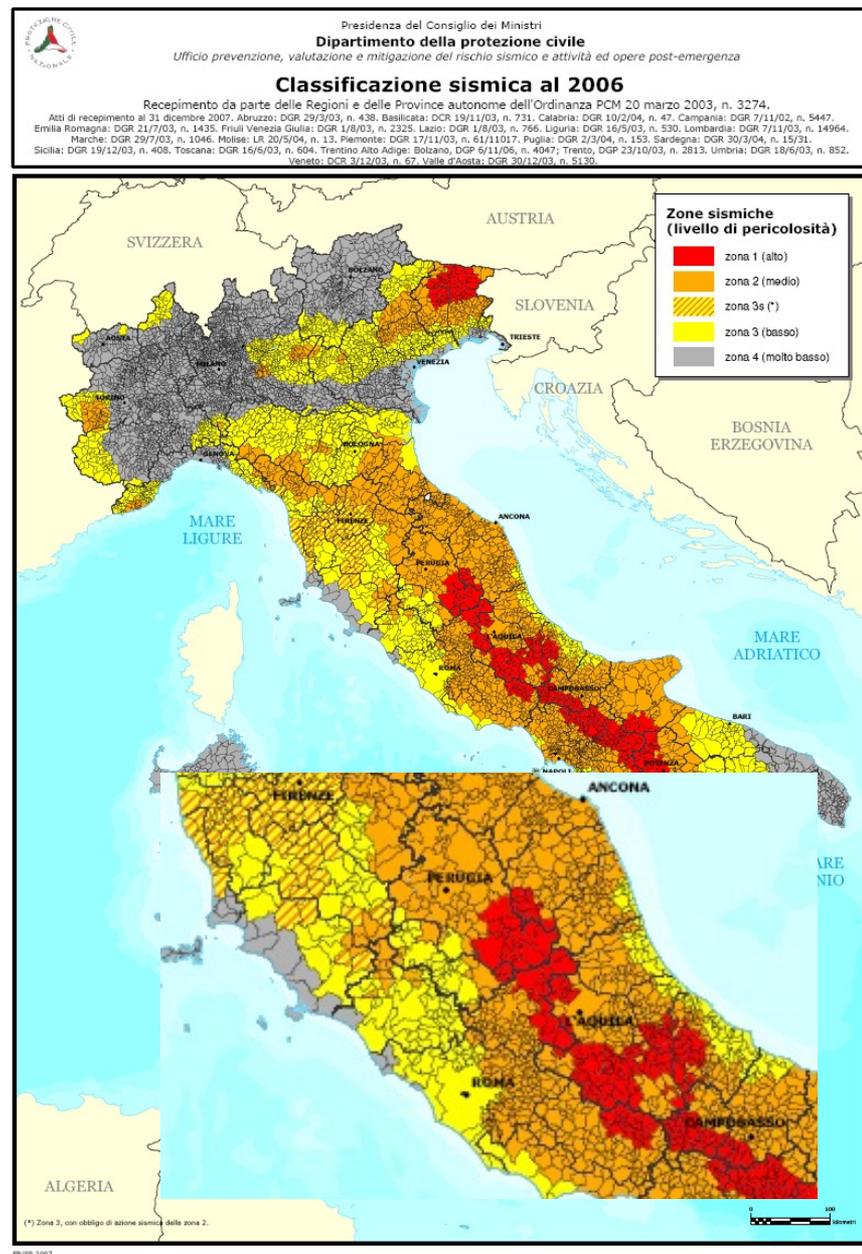
Classificazione sismica nazionale

Zona 1 - E' la zona più pericolosa, dove possono verificarsi forti terremoti. Comprende 725 comuni.

Zona 2 - Nei comuni inseriti in questa zona possono verificarsi terremoti abbastanza forti. Comprende 2.344 comuni

Zona 3 - I comuni inseriti in questa zona possono essere soggetti a scuotimenti modesti. Comprende 1.544 comuni. I comuni 3s ricadono nella zona 2

Zona 4 - E' la meno pericolosa. Nei comuni inseriti in questa zona le possibilità di danni sismici sono basse. Comprende 3.488 comuni.



Il terremoto de L'Aquila

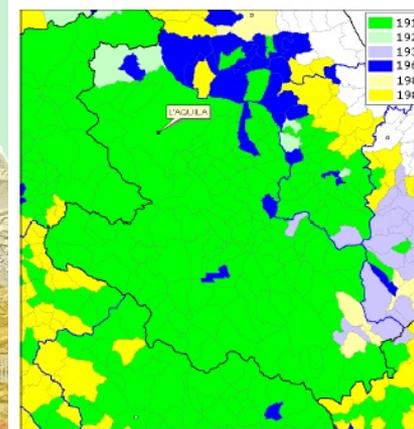
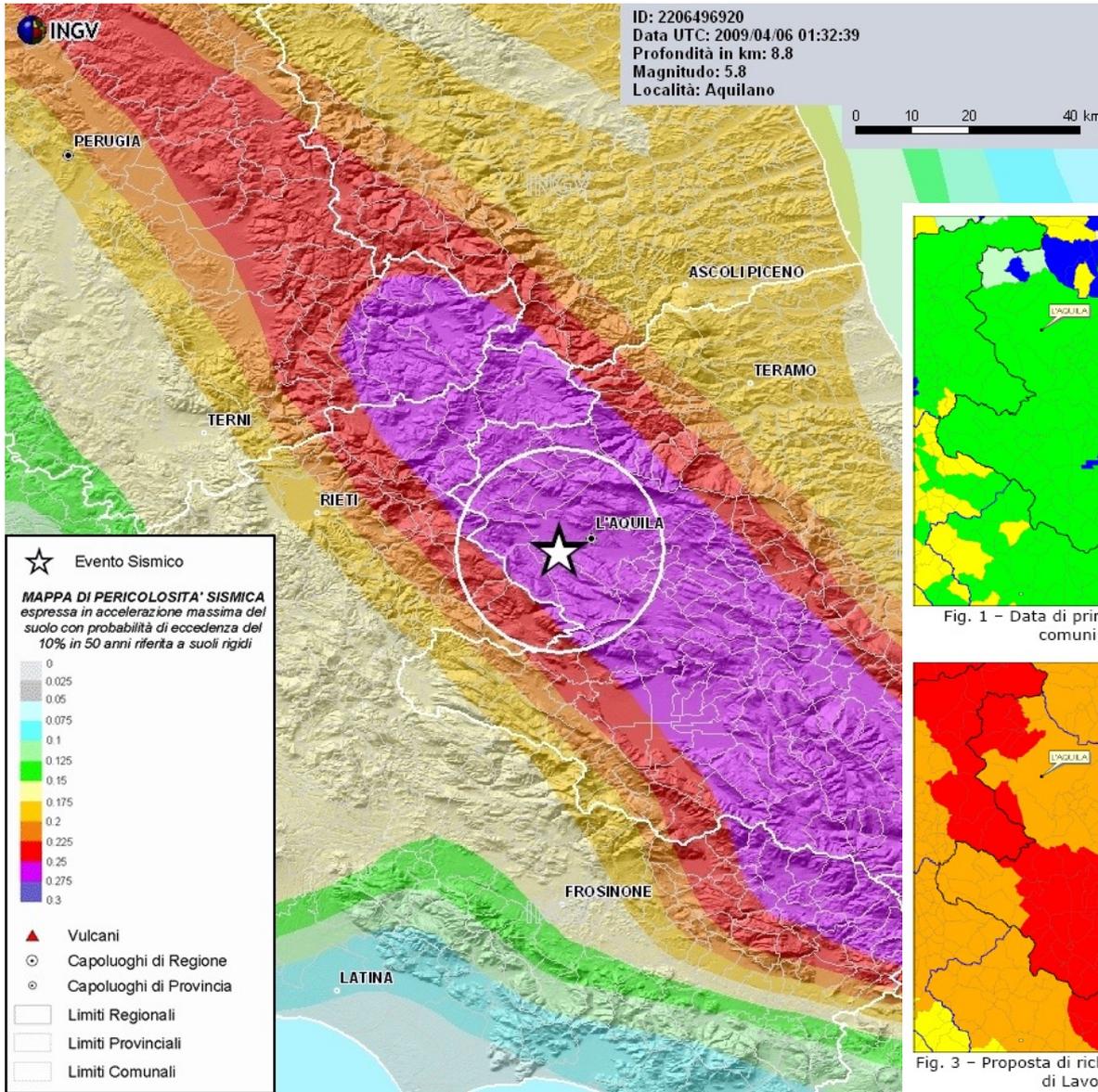


Fig. 1 - Data di prima classificazione dei comuni aquilani.

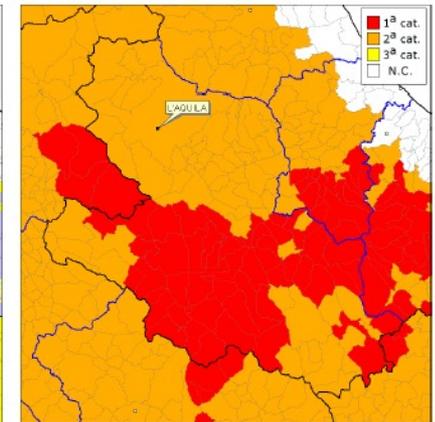


Fig. 2 - Classificazione sismica vigente dal 1984.

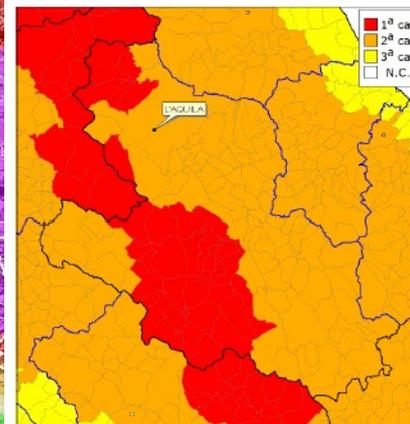


Fig. 3 - Proposta di riclassificazione del Gruppo di Lavoro 1998.

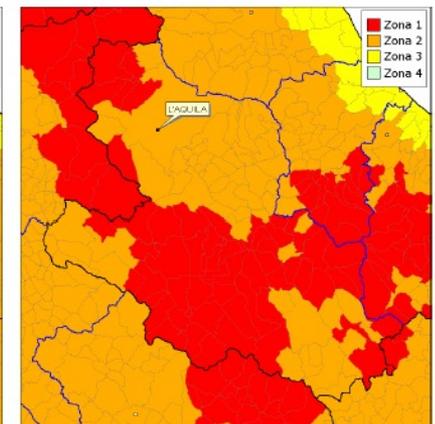
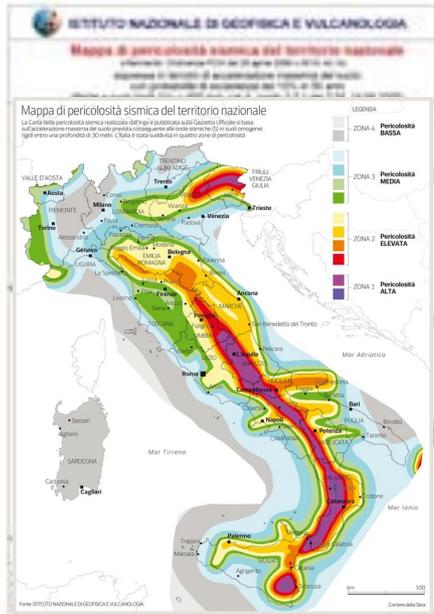


Fig. 4 - Zone sismiche aggiornate dall'OPCM 3274/2003 e recepite dalle Regioni.

Il rischio sismico

Pericolosità



Vulnerabilità



Esposizione



La pericolosità sismica di un'area è la probabilità che, in un certo intervallo di tempo, essa sia interessata da forti terremoti che possono produrre danni

X La vulnerabilità di una struttura è la misura della capacità di resistere alle sollecitazioni

X L'esposizione PRIMA DELL'EVENTO: Quantità e qualità dei beni esposti DOPO L'EVENTO

Le perdite causate dal terremoto: umane, economiche, artistiche, culturali, sociali

Il rischio sismico è la stima delle perdite complessive (costo totale dei danni subiti, numero prevedibile delle vittime, valore economico e sociale) che potranno interessare un'area in un determinato periodo

HAZARD

pericolosità

VS

RISK

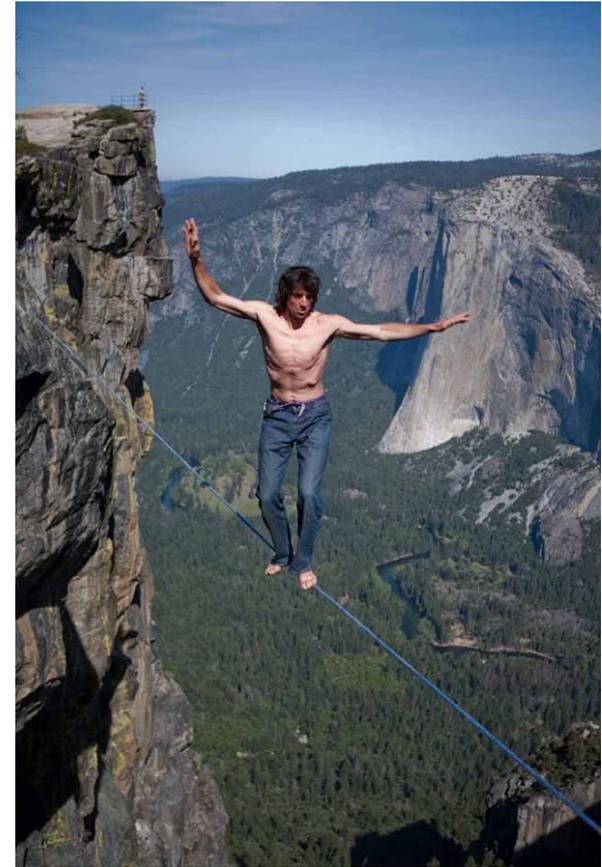
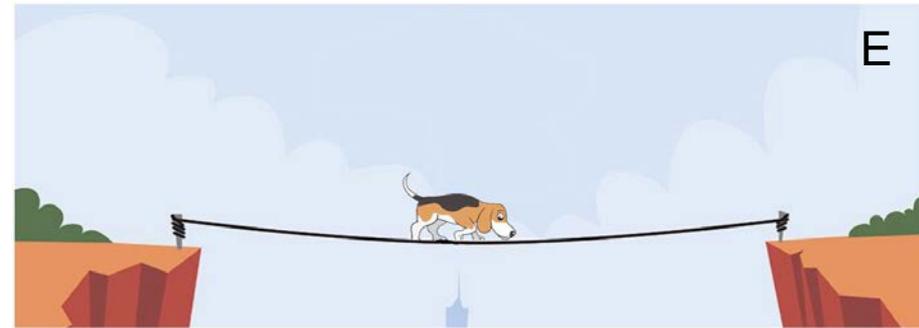
rischio

La **PERICOLOSITA'** è la probabilità che avvenga un evento pericoloso

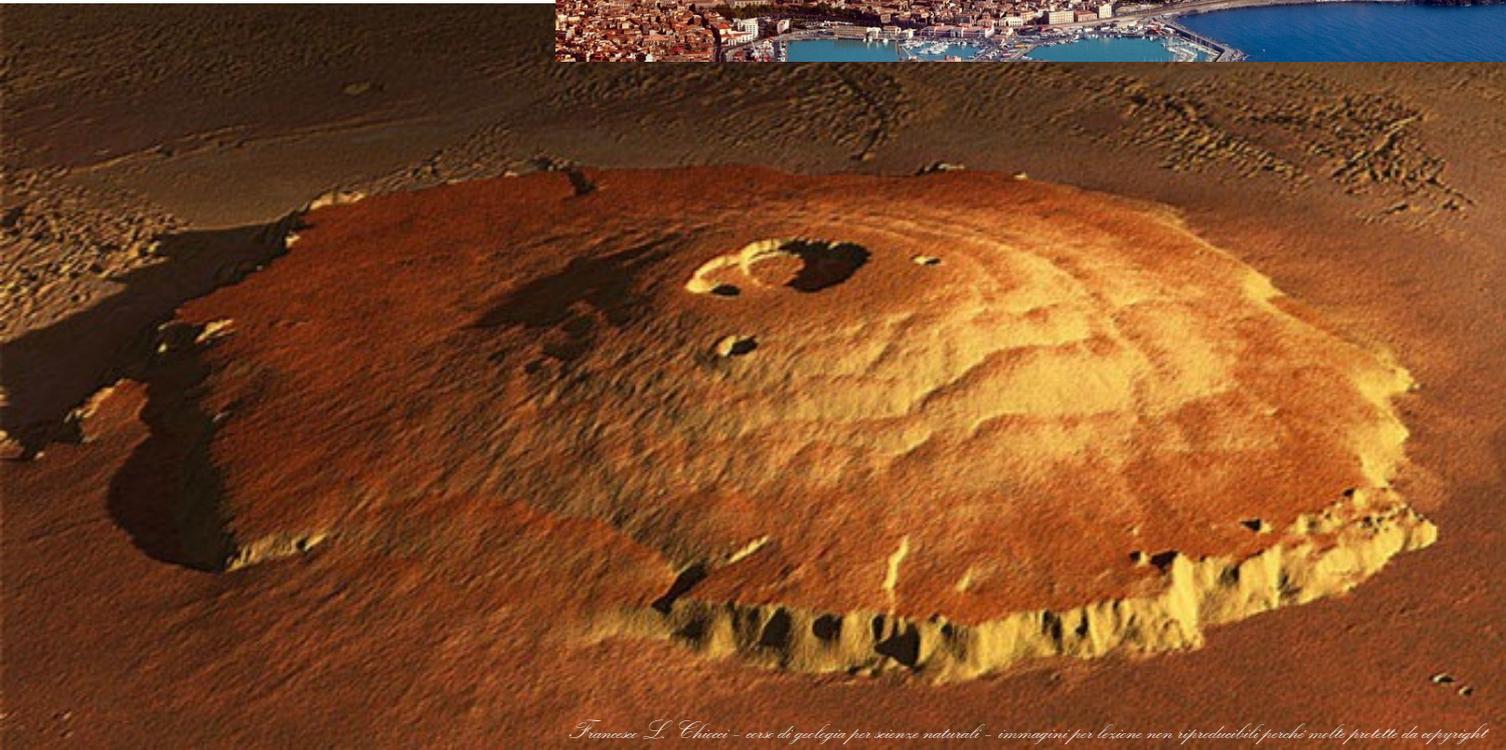
Il **RISCHIO** è la possibilità che l'evento pericoloso produca un danno



$$R = H \times V \times E - M$$

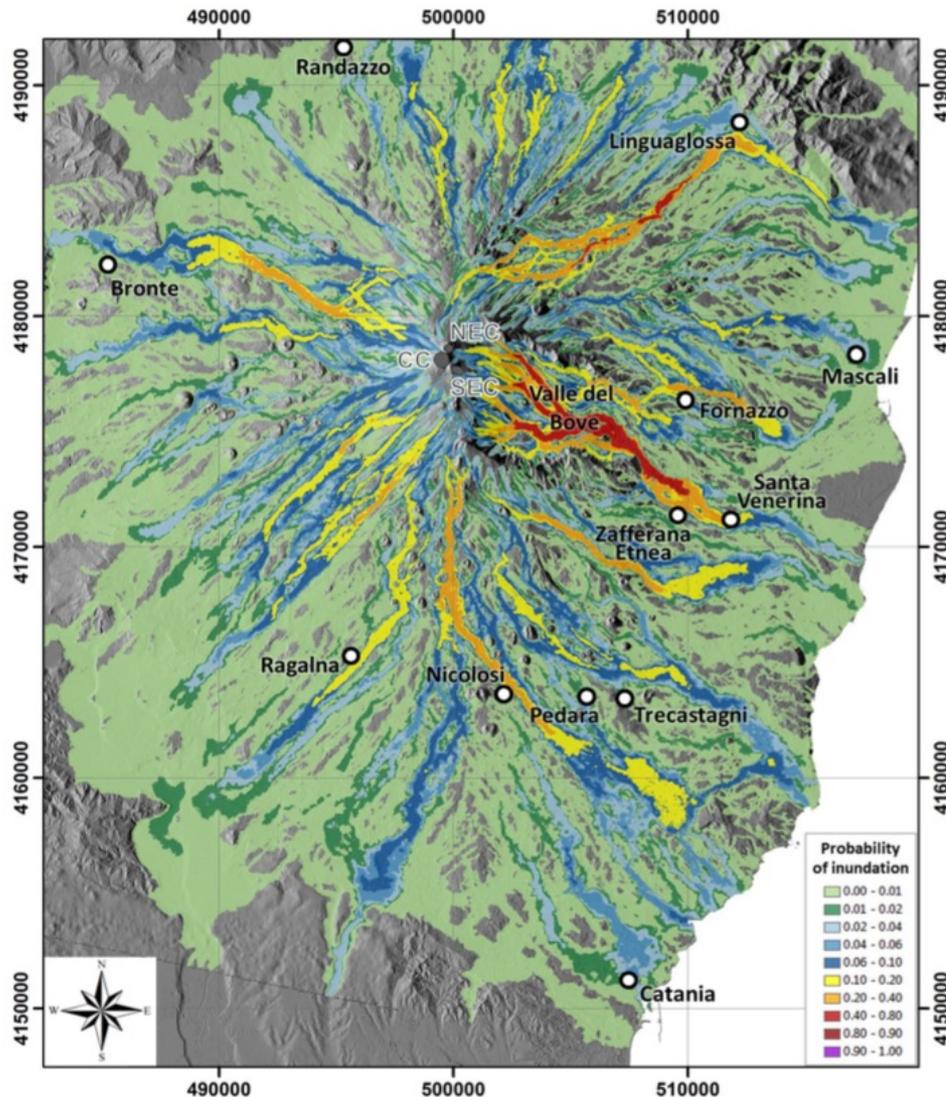


$$R = H \times V \times E$$





$$R = H \times V \times E - M$$



La mitigazione del rischio, nel caso degli eventi naturali, consiste nel mappare gli hazard e non costruire (o costruire in maniera idonea) nelle aree più esposte

Figure 3 | Hazard map by lava flow inundation at Mt. Etna, based on 28,908 simulations of lava flow paths starting from 4,818 different potential vents. Colors represent different hazard levels indicating a range of probability of inundation by a lava flow from a flank eruption in the next 50 years. Summit craters are masked because their activity is investigated separately. This figure was generated using the free and open source GRASS GIS software. The topography is based on a DEM owned by INGV.

Mitigazione del rischio sismico: il contributo della geologia

- 1) Norme edilizie per **costruzioni antisismiche** (problema socioeconomico-politico)
 - La geologia fornisce carte di PGA (Peak Ground Acceleration)
 - Microzonazione sismica (definizione degli effetti di sito)
- 2) **Educazione civica** in caso di sisma
- 3) Diminuzione dei rischi **nelle abitazioni** (scaffali vincolati, oggetti pesanti in basso, macchine a gas collegate al suolo con condutture flessibili)

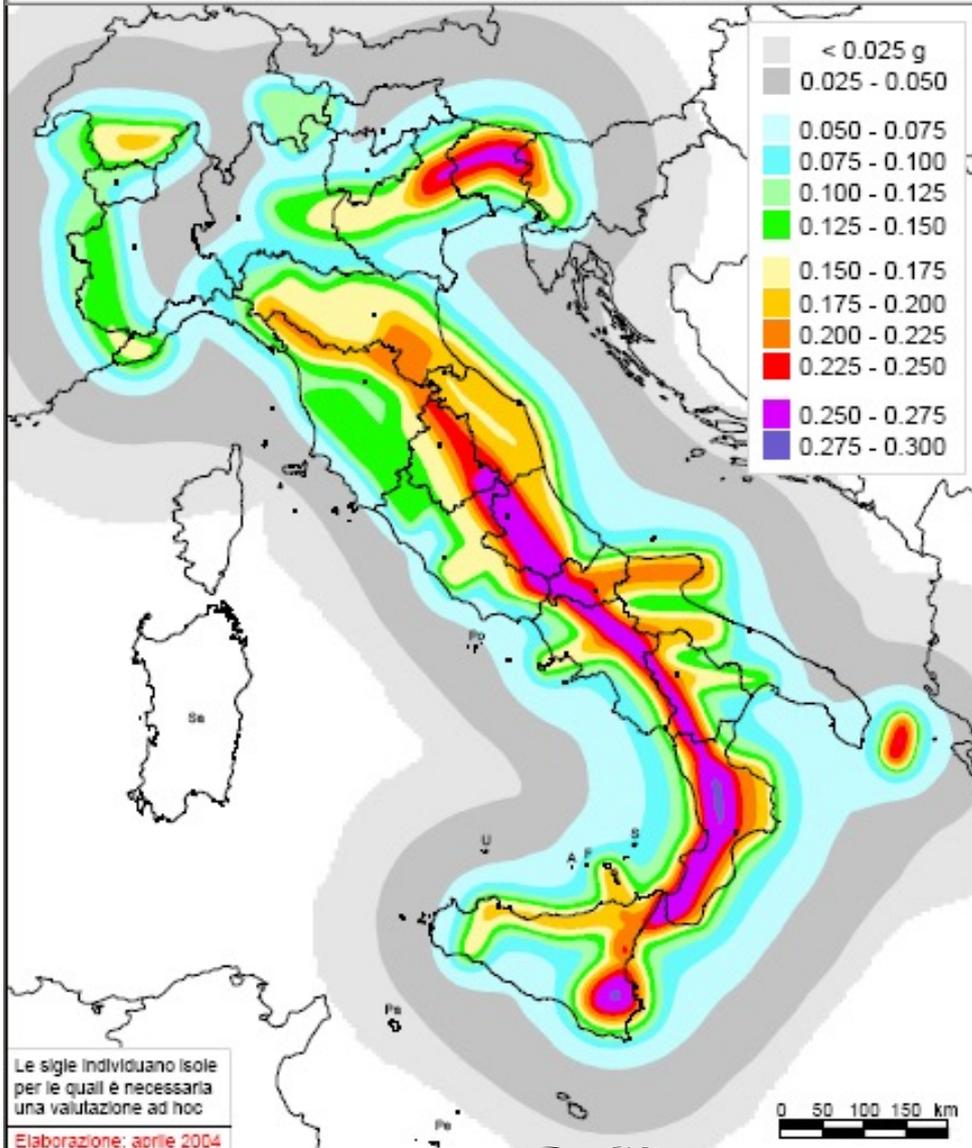
Non è il
terremoto ad
uccidere: sono
gli edifici





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 (amax)
con probabilità di eccedenza del 10% in 50 anni
riferita a suoli molto rigidi ($V_{s,0} > 800$ m/s; cat.A, All.2, 3.1)



$$R = H \times V \times E - M$$



Number of earthquakes of magnitude 7+

Since 1900, top countries



Nonostante la magnitudo dei terremoti in Italia sia bassa, il rischio è molto alto per la densità di popolazione e per la qualità delle costruzioni (anche storiche)

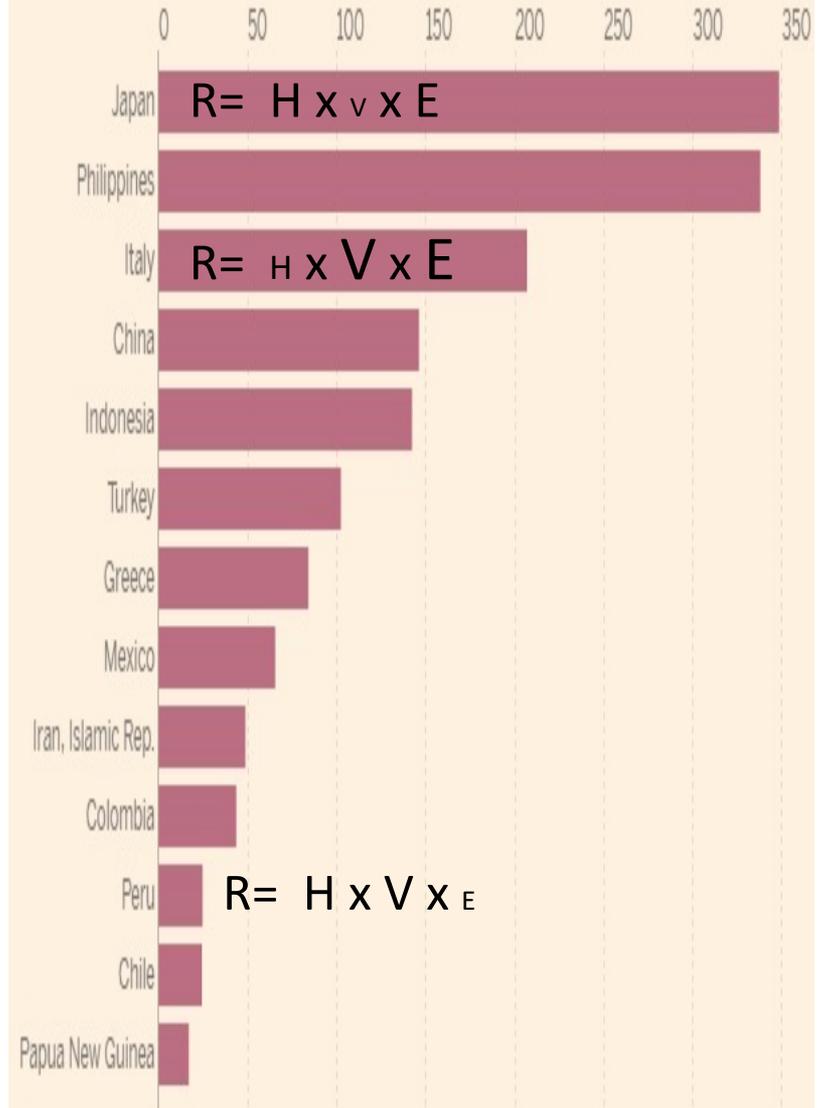
Italia fuori classifica

Source: NOAA

FT

Population density in seismic countries

People per sq. km of land area, 2015



$$R = H \times V \times E$$

$$R = H \times V \times E$$

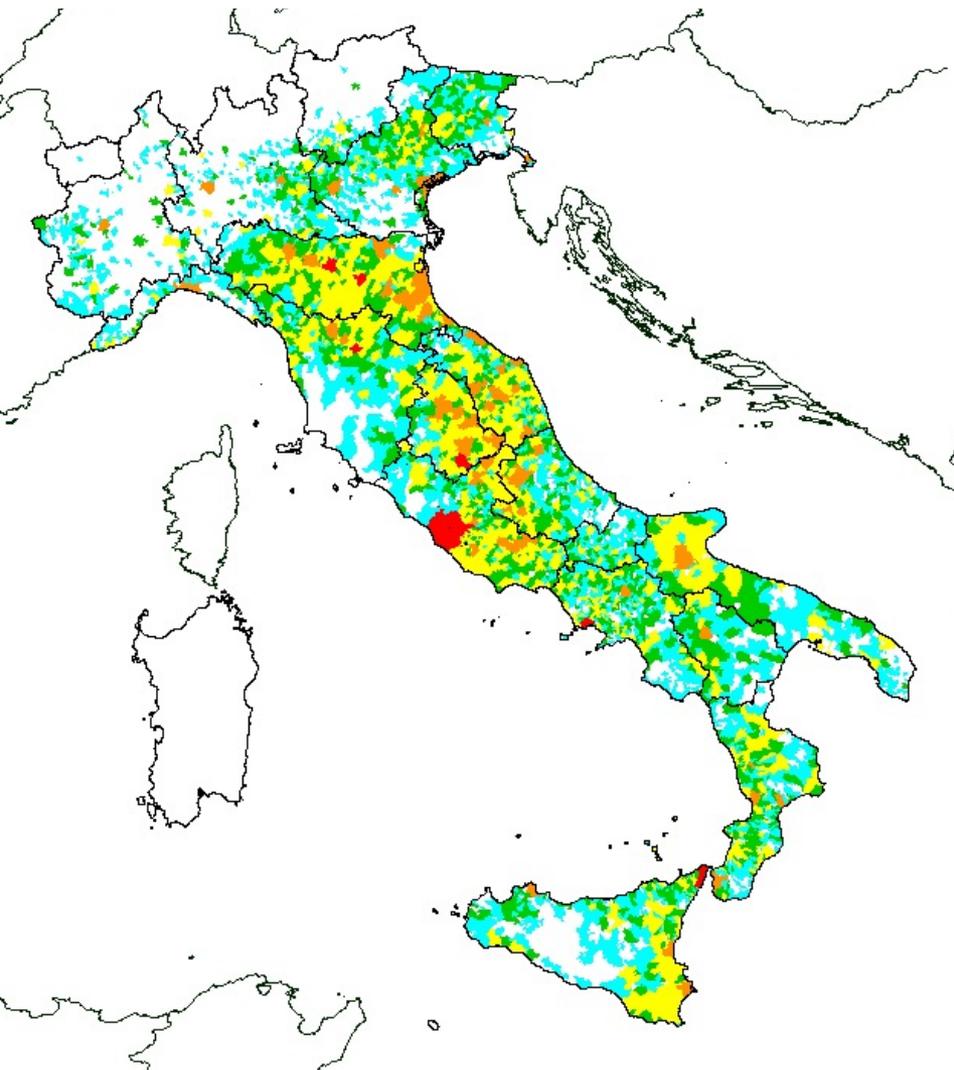
$$R = H \times V \times E$$

Source: World Bank

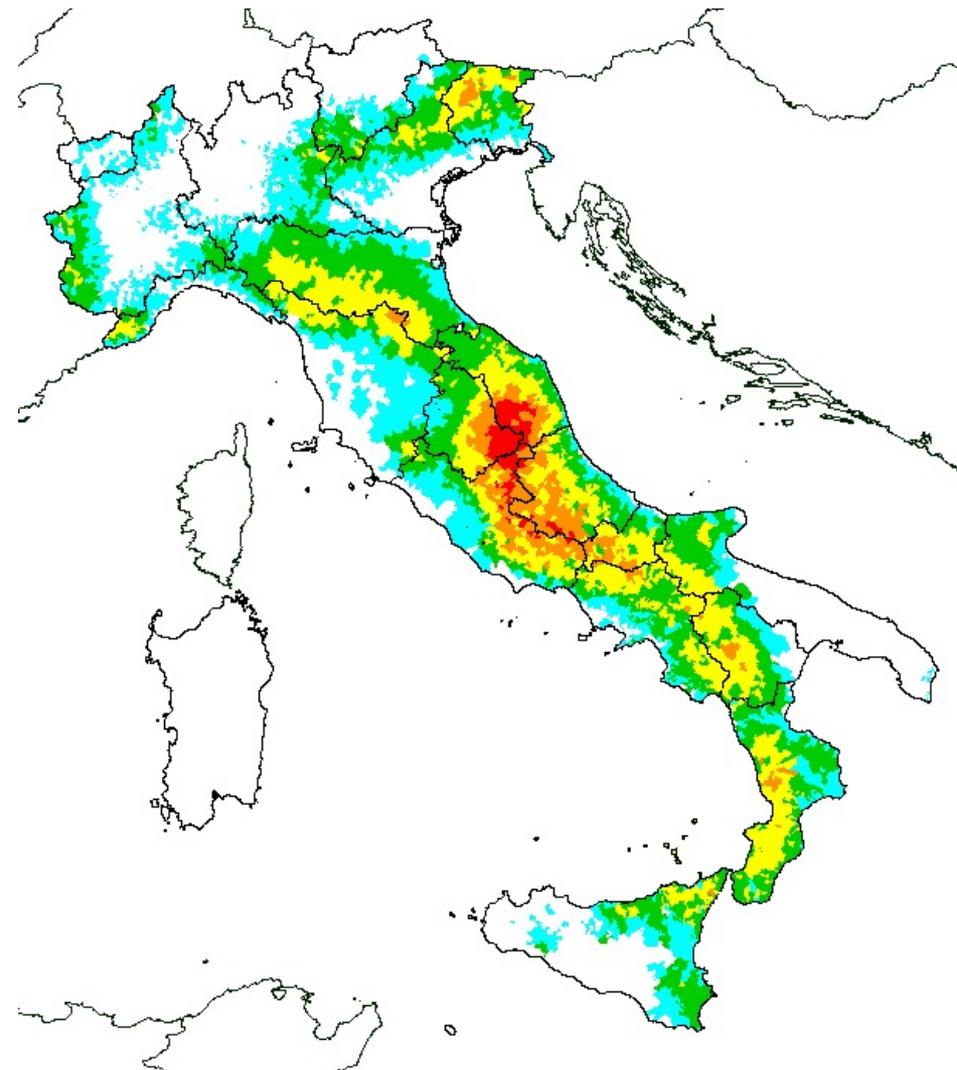
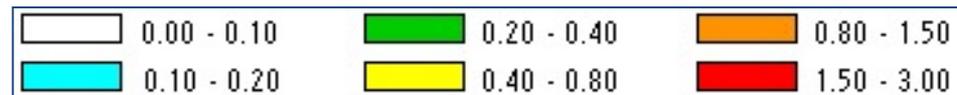
FT

Carte del rischio sismico

Danno totale atteso del patrimonio abitativo per comune (metri quadro equivalenti)



Danno totale annuo atteso espresso in percentuale della superficie abitativa (numero di persone coinvolte)



Molise 31 ottobre 2002 Magnitudo, 5,7. Trenta vittime, di cui 27 bambini, allievi della scuola crollata a San Giuliano di Puglia

