

Università di Trieste
Dipartimento di Ingegneria e Architettura

Corso di
Progettazione e riabilitazione
Sismica delle Strutture

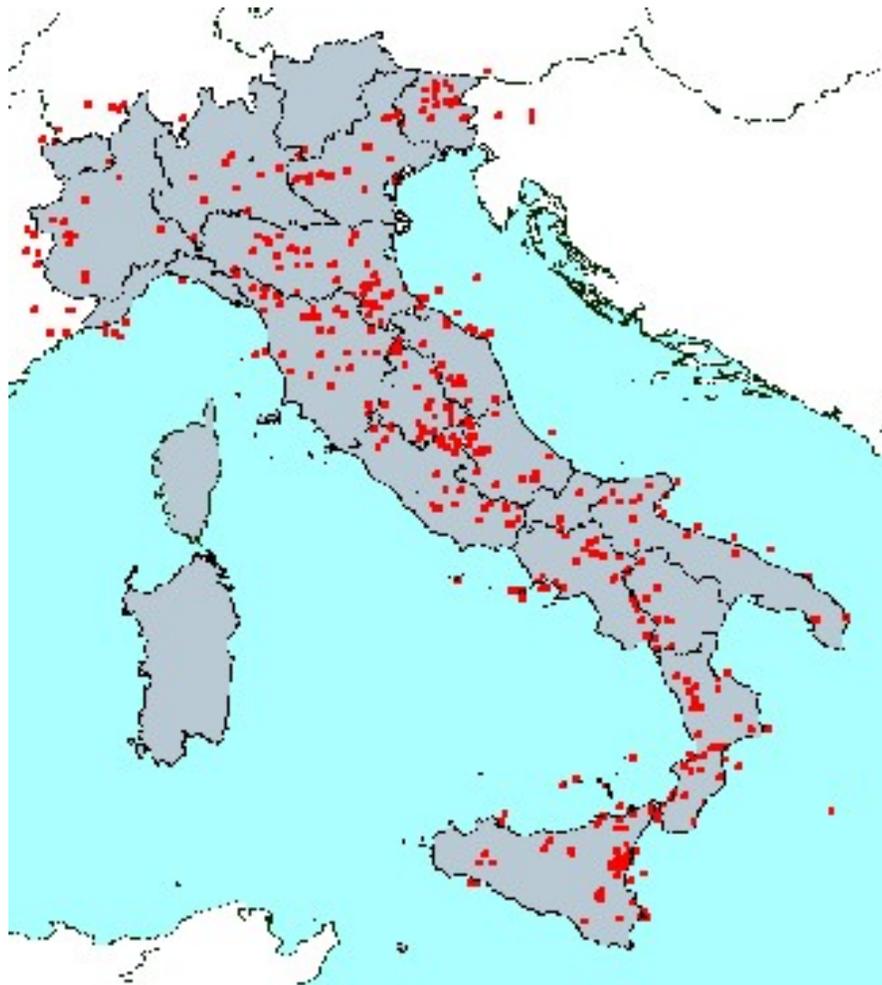
Modulo 1: Progettazione strutturale in zona sismica

EVENTI SISMICI ED EVOLUZIONE NORMATIVE
SISMICHE

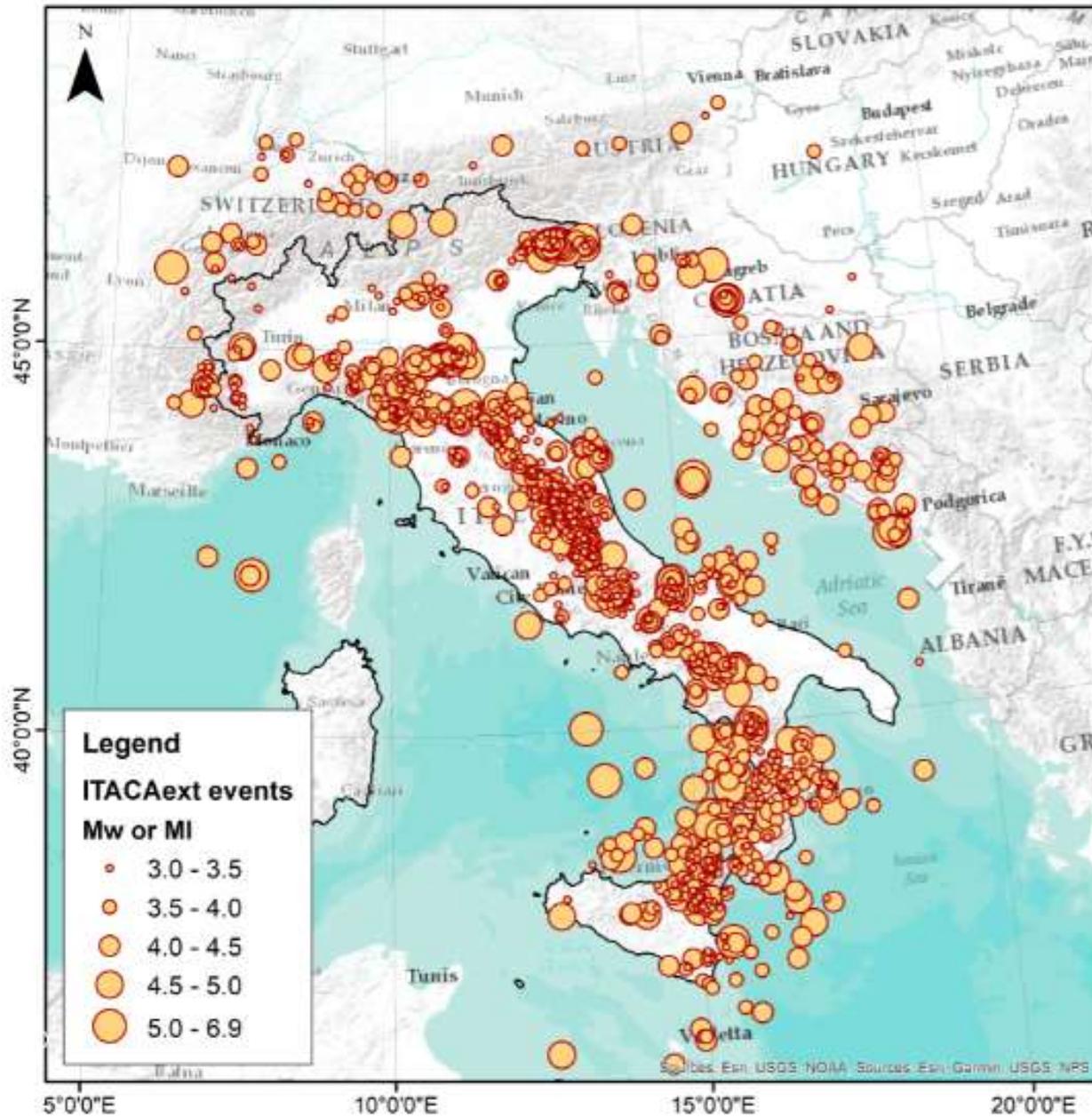
Prof. Ing. Natalino Gattesco

EVENTI SISMICI

In Italia oltre 30000 eventi sismici di media e forte intensità nell'ultimo millennio, di cui 200 disastrosi



EVENTI SISMICI



EVENTI SISMICI

I numerosi eventi sismici che si sono verificati negli ultimi decenni hanno comportato per la collettività enormi costi sociali, in termini di vittime e di costi economici.

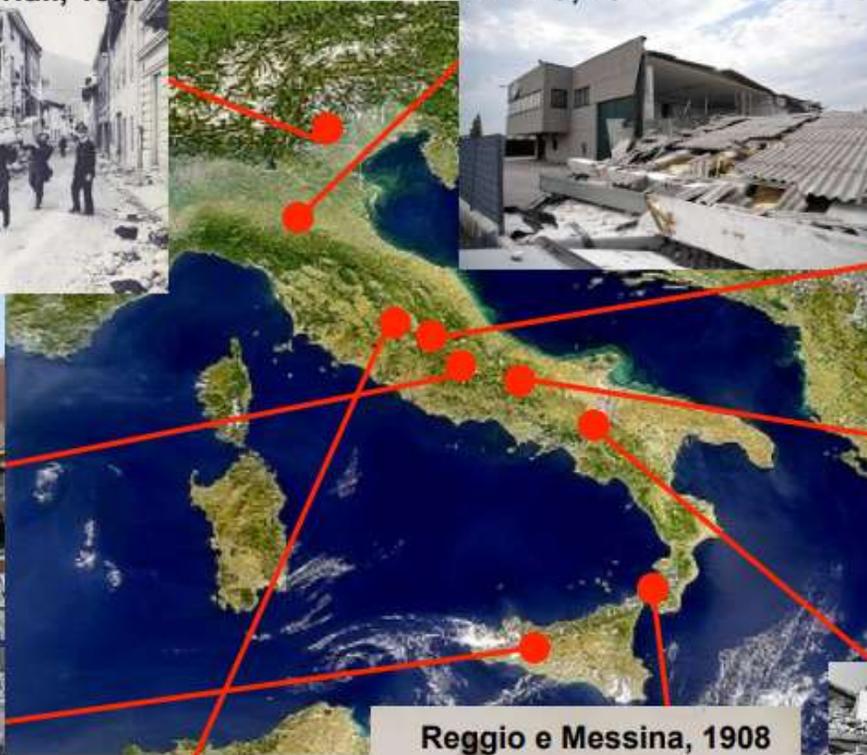
Negli ultimi 50 anni si valutano:

- Circa 5000 vittime
- Spesa media annua di circa 3 miliardi di euro per emergenza e ricostruzione

Questo è dovuto alla elevata vulnerabilità sismica delle costruzioni.

Necessario adottare tecniche per il miglioramento delle prestazioni sismiche delle costruzioni.

Tanti terremoti...



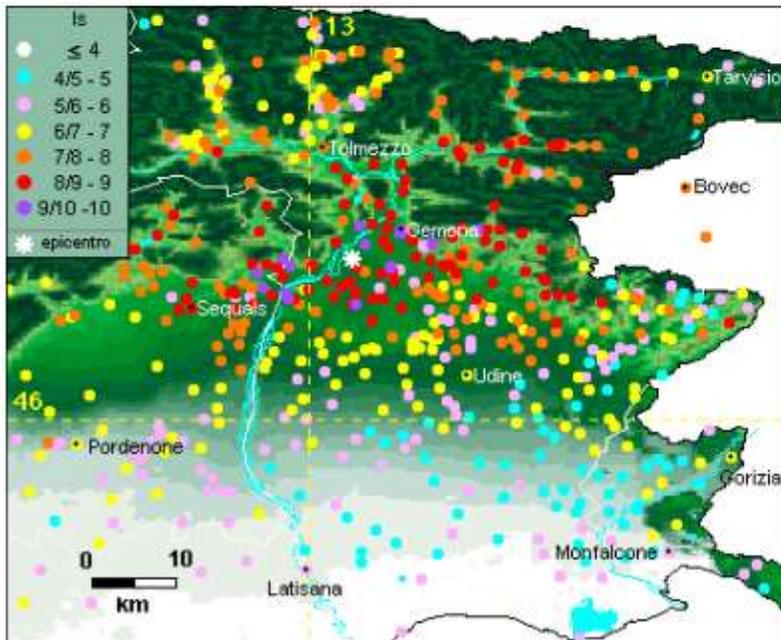
I MAGGIORI TERREMOTI ITALIANI DEL XX SECOLO

| Data | Area epicentrale | Intensità (MCS) | Magnitudo (Maw) | Vittime |
|-------------------|-------------------------|------------------------|------------------------|----------------|
| 8 settembre 1905 | Calabria | XI | 7.1 | 557 |
| 23 ottobre 1907 | Calabria meridionale | VIII-IX | 5.9 | 167 |
| 28 dicembre 1908 | Reggio C. - Messina | XI | 7.2 | 85.926 |
| 7 giugno 1910 | Irpinia - Basilicata | VIII-IX | 5.9 | 50 ca. |
| 15 ottobre 1911 | Area etnea | X | 5.3 | 13 |
| 8 maggio 1914 | Area etnea | IX | 5.3 | 69 |
| 13 gennaio 1915 | Marsica (Abruzzo) | XI | 7.0 | 32.610 |
| 26 aprile 1917 | Val Tiberina | IX | 5.8 | 20 ca. |
| 29 giugno 1919 | Mugello | IX | 6.2 | 100 ca. |
| 7 settembre 1920 | Garfagnana | IX-X | 6.5 | 171 |
| 27 marzo 1928 | Carnia (Friuli) | VIII-IX | 5.7 | 11 |
| 23 luglio 1930 | Alta Irpinia | X | 6.7 | 1404 |
| 30 ottobre 1930 | Senigallia | IX | 5.9 | 18 |
| 26 settembre 1933 | Maiella | VIII-IX | 5.7 | 12 |
| 18 ottobre 1936 | Veneto-Friuli | IX | 5.9 | 19 |
| 21 agosto 1962 | Irpinia | IX | 6.2 | 17 |
| 15 gennaio 1968 | Valle del Belice | X | 6.1 | 296 |
| 6 maggio 1976 | Friuli | IX-X | 6.4 | 965 |
| 23 novembre 1980 | Irpinia-Basilicata | X | 6.9 | 2734 |
| 26 settembre 1997 | Umbria-Marche | VIII-IX | 6.1 | 11 |

FRIULI -1976

Mw=6.4 Numero Vittime=989

| Data e Ora Locale | Magnitudo | Epicentro |
|-------------------------|-----------|----------------------------|
| 6 maggio 1976 21:00 | 6.4 | Gemona del Friuli-Arteagna |
| 11 settembre 1976 18:31 | 5.8 | Gemona del Friuli-Venezia |
| 11 settembre 1976 18:40 | 5.6 | Gemona del Friuli-Venezia |
| 15 settembre 1976 05:00 | 5.9 | Gemona del Friuli-Venezia |
| 15 settembre 1976 11:30 | 6.0 | Gemona del Friuli-Venezia |



Crollo e successiva demolizione del campanile di Mojano

IRPINIA -1980

Mw=6.9 Numero Vittime=2800

23 Novembre 1980



USGS ShakeMap : Irpinia, Italy
 Sun Nov 23, 1980 18:34:53 GMT M 6.9 N40.79 E15.31 Depth: 6.9km ID:198011231834

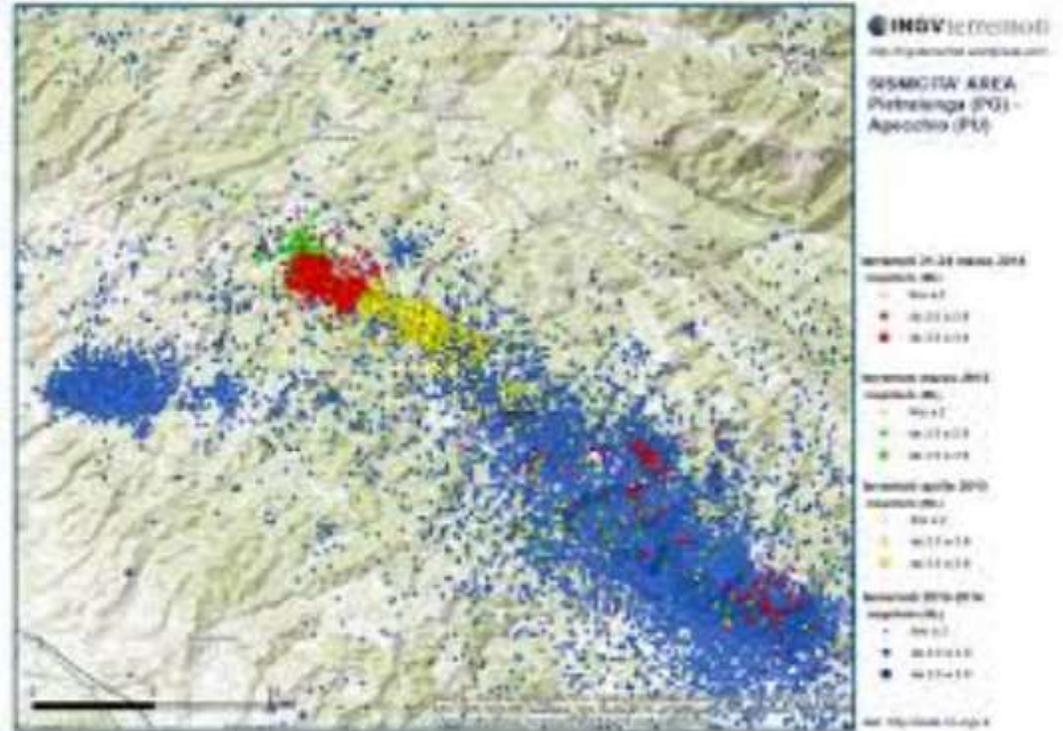


Map Version 1.1 Processed Sat Nov 8, 2006 09:13:19 AM MST

| PERCEIVED SHAKING | Not felt | Weak | Light | Moderate | Strong | Very strong | Severe | Violent | Extreme |
|------------------------|----------|---------|---------|------------|--------|-------------|----------------|---------|------------|
| POTENTIAL DAMAGE | none | none | none | Very light | Light | Moderate | Moderate/Heavy | Heavy | Very Heavy |
| PEAK ACC (%g) | <.17 | .17-1.4 | 1.4-3.9 | 3.9-9.2 | 9.2-18 | 18-34 | 34-65 | 65-124 | >124 |
| PEAK VEL (cm/s) | <0.1 | 0.1-1.1 | 1.1-3.4 | 3.4-8.1 | 8.1-16 | 16-31 | 31-60 | 60-116 | >116 |
| INSTRUMENTAL INTENSITY | I | II-III | IV | V | VI | VII | VIII | IX | X+ |

Umbria e Marche - 1997

Data: 26 settembre 1997, ore 11:40
Magnitudo: 6.0 (Maw) Intensità epicentrale:
VIII-IX grado (MCS) Vittime: 11

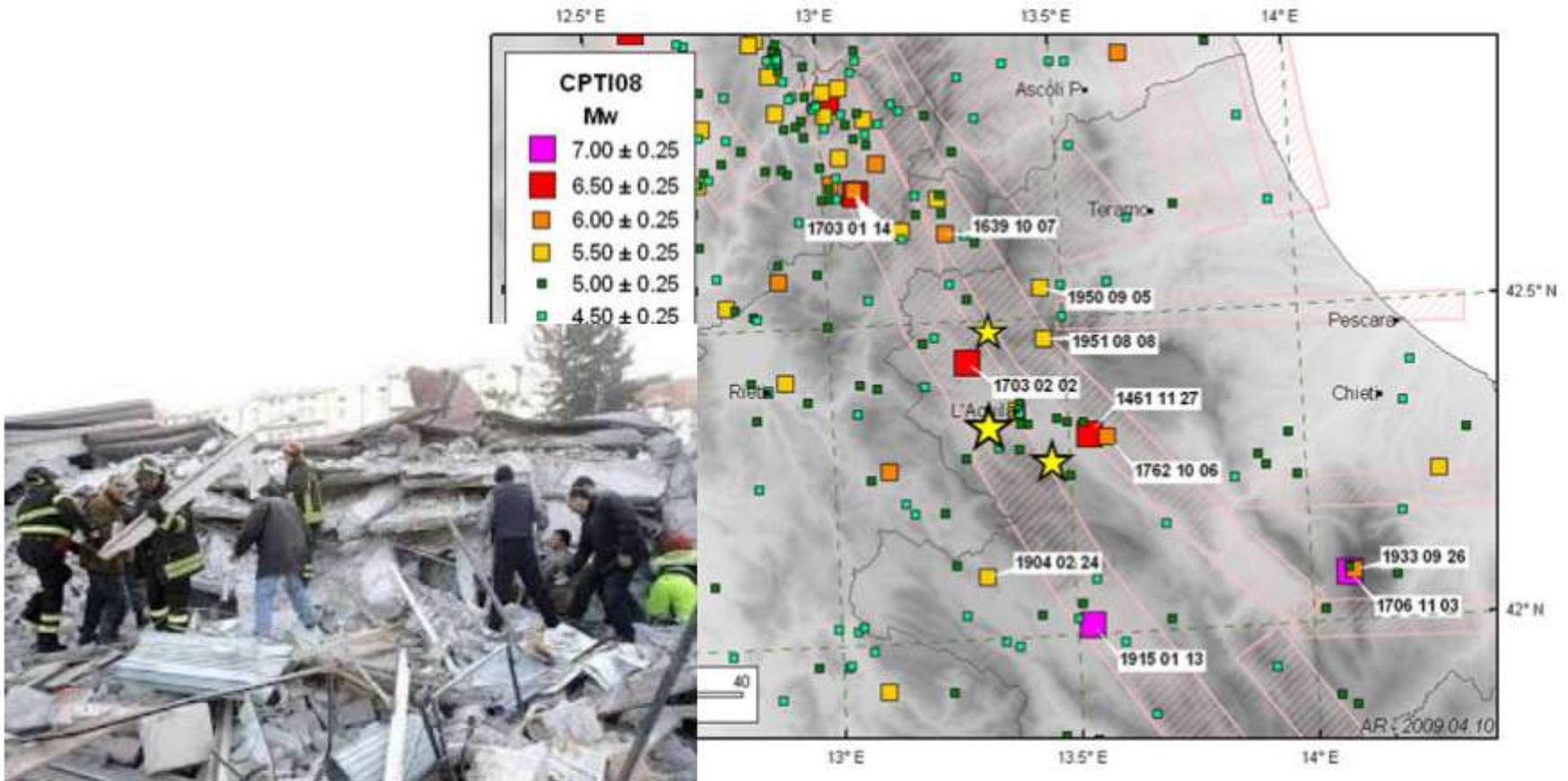


Molise - 2002

Data: 31 ottobre 2002, ore 11:32

Magnitudo: 5.8 (Mw)

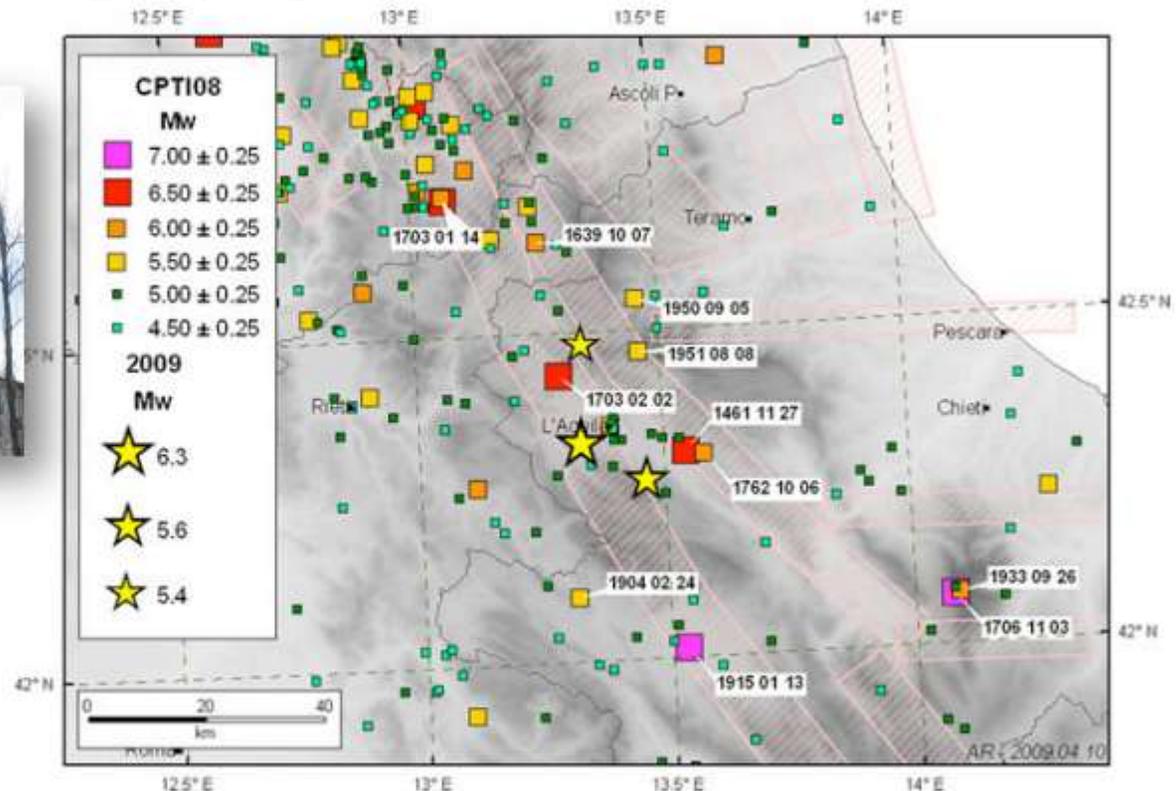
Intensità epicentrale: VII-VIII grado (MCS) Vittime: 30



A San Giuliano di Puglia, la forte scossa provocò il crollo del solaio di copertura dell'edificio scolastico "Francesco Jovine" dove persero la vita 27 bambini ed una maestra.

L'Aquila - 2009

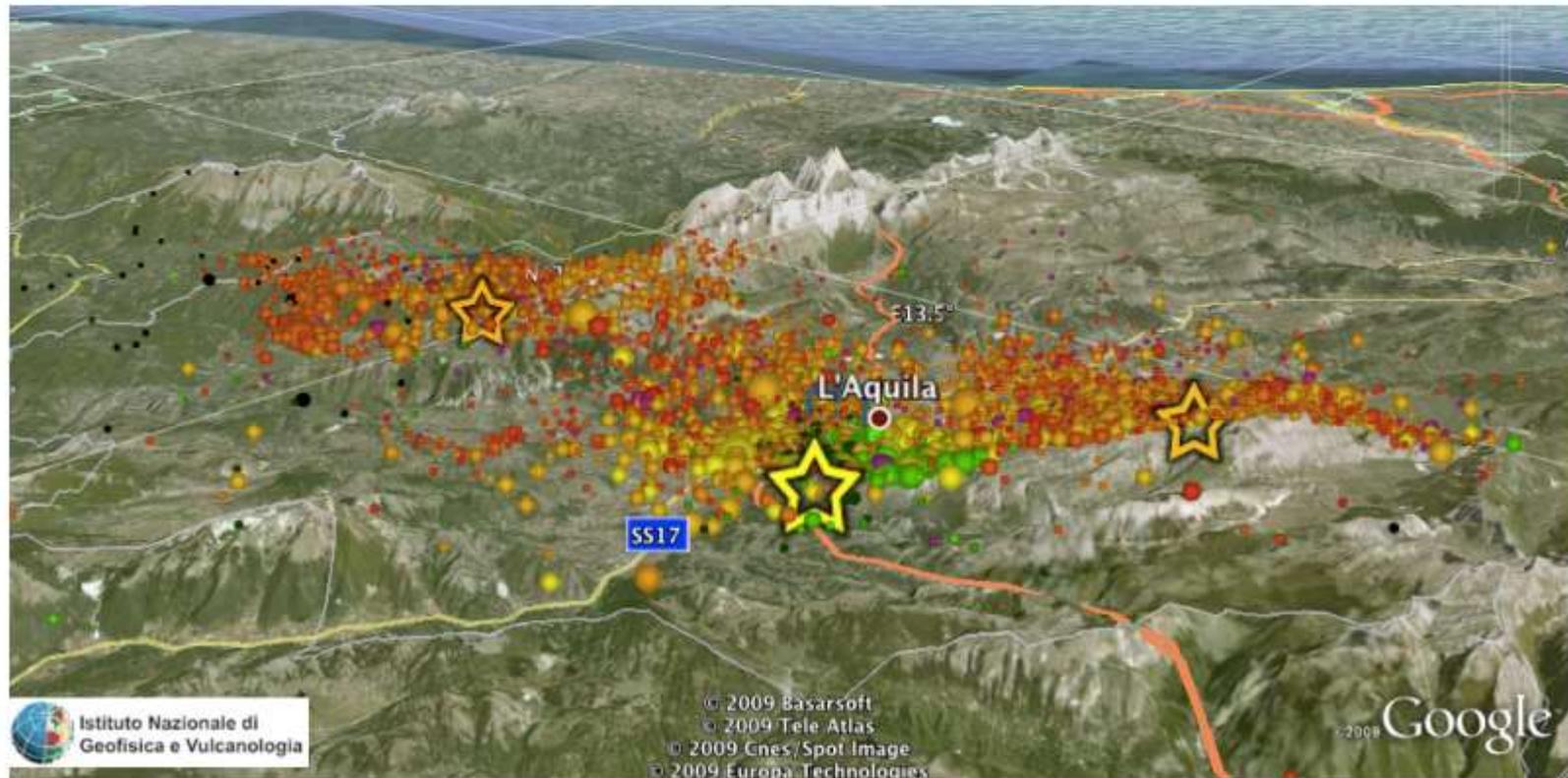
Data: 6 aprile 2009, ore 3:32 Magnitudo: 6.3
(Maw) Intensità epicentrale: IX-X grado (MCS)
Vittime: 308



La scossa del 6 aprile ha interessato un'area già in passato colpita da terremoti con effetti al di sopra della soglia del danno. I più forti terremoti storici riportati nel catalogo CPTI04 sono quelli del 9 settembre 1349 con una Me 6.5 e del 2 febbraio 1703 (Me 6.7). La scossa del 6 aprile è paragonabile a questi eventi sismici, che tuttavia hanno comportato rilasci di energia decisamente superiori.

Dati di sismicità

Il 6 Aprile 2009 alle ore 03:33 la zona de l'Aquila è stata colpita da un forte terremoto. La magnitudo della scossa principale è stata valutata sia come magnitudo momento $M_w = 6.3$. La sequenza sismica ha continuato la sua evoluzione, con moltissime repliche tra cui tre eventi di $M > 5$ che sono avvenuti il 6 aprile con $M_l = 5.8$, il 7 aprile con $M_l = 5.3$ ed il 9 aprile con $M_l = 5.1$. Inoltre i terremoti di M_l compresa tra 3.5 e 5 sono stati in totale 31. Dall'esame dei segnali riconosciuti automaticamente alla stazione INGV MedNet de L'Aquila (AQU, ubicata nei sotterranei del castello cinquecentesco), sono state conteggiate oltre 20.000 scosse.

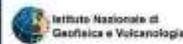
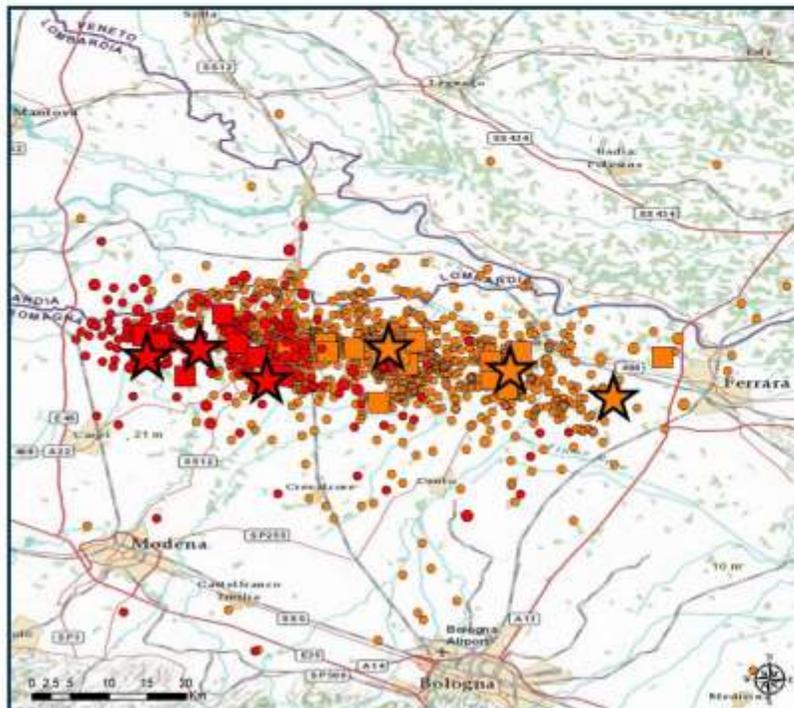


Emilia Romagna - 2012

Data: 20 maggio 2012, ore 4:04 Magnitudo Mw 5.9

Data: 29 maggio 2012, ore 9:00 Magnitudo Mw 5.8

La prima scossa di terremoto di magnitudo 5.9 alle 4.04 del 20 maggio 2012 era stata avvertita in gran parte del nord Italia e localizzata tra le province di Ferrara, Modena, Mantova e Bologna. Il 29 maggio alle 9 si era verificato un nuovo evento sismico in provincia di Modena di magnitudo 5.8. Diverse repliche avevano interessato anche le province di Reggio Emilia e Mantova, tra cui una scossa di magnitudo 5.3 alle 12.55.



SITUAZIONE AL 30 maggio

magnitudo ML

- Minore di 3.0
- Maggiore uguale di 3.0 e minore di 4.0
- Maggiore uguale di 4.0 e minore di 5.3
- ★ Maggiore uguale di 5.0

SEQUENZA SISMICA del 19 maggio

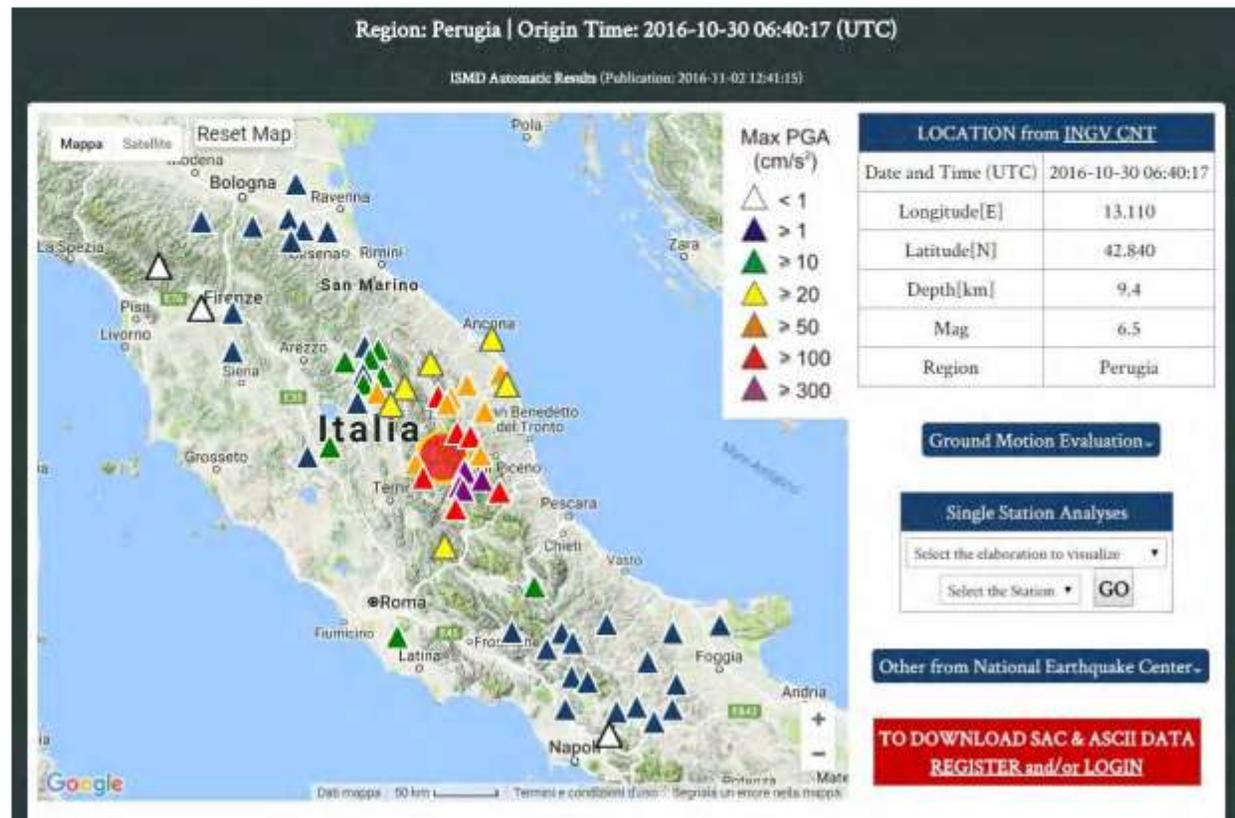
magnitudo ML

- Minore di 3.0
- Maggiore uguale di 3.0 e minore di 4.0
- Maggiore uguale di 4.0 e minore di 5.3
- ★ Maggiore uguale di 5.0

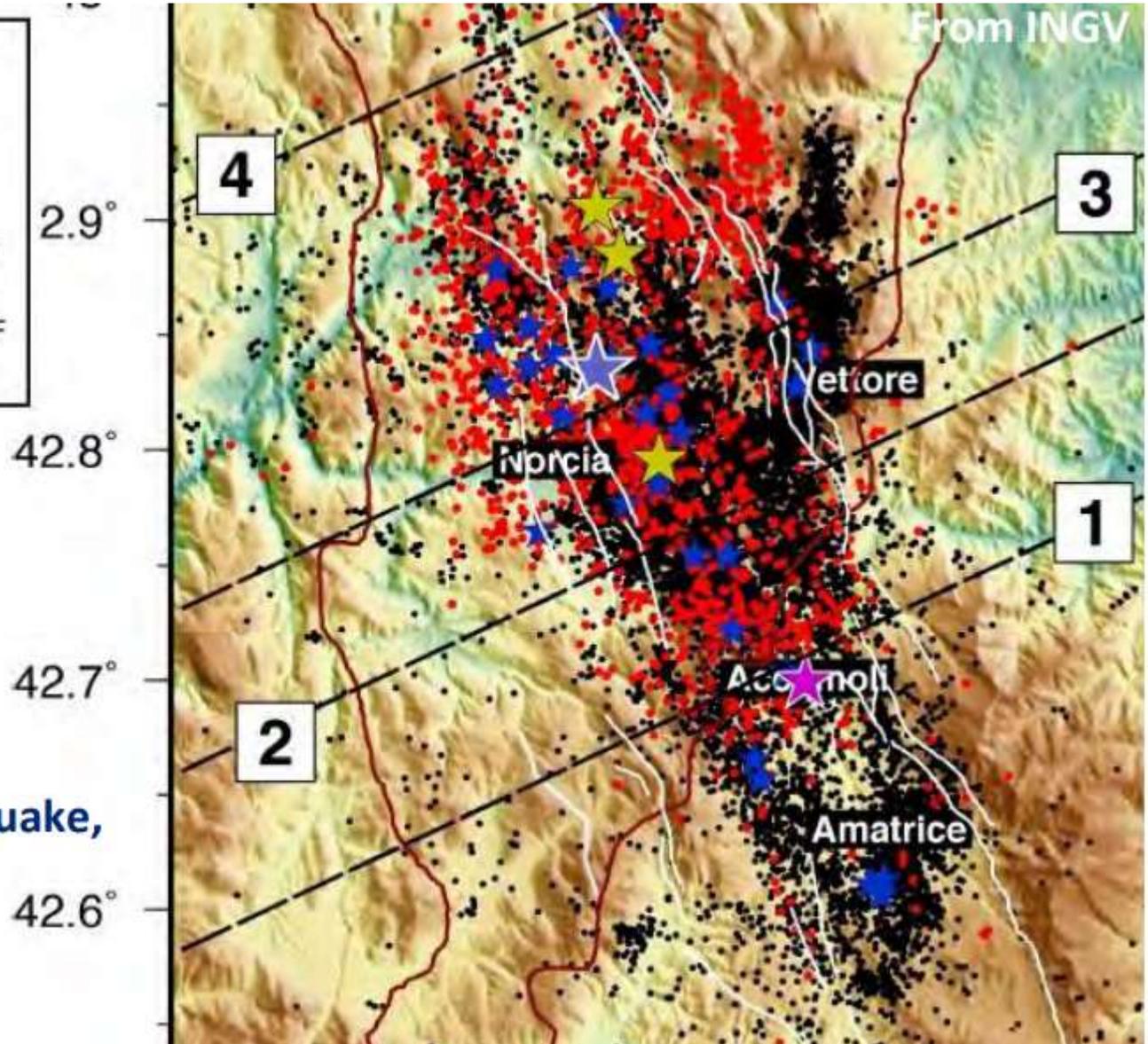


Italia centrale - 2016

- Date: 24 agosto 2016, ore 03:36 – Magnitudo: Mw=6.0
- 26 ottobre 2016, ore 19:10 – Magnitudo: Mw=5.4
- 26 ottobre 2016, ore 21:18 – Magnitudo: Mw=5.9
- 30 ottobre 2016, ore 07:40 – Magnitudo: Mw=6.5
- 18 gennaio 2017, ore 11:14 – Magnitudo: Mw=5.5
- Vittime: 298



Italia Centrale 2016



Central Italy earthquake,
24 August, 2016
26 October, 2016
30 October 2016

I principali eventi sismici in relazione alle perdite umane stimate

In media 10,000 persone muoiono ogni anno a causa di terremoti (dati UNESCO, 1980)

- 1. Shansi, Cina - 830.000 morti - 23 gennaio 1556**
- 2. Sumatra - 283.106 morti - 26 dicembre 2004**
- 3. Tangshan, Cina - 255.000 morti - 27 luglio 1976**
- 4. Aleppo, Siria - 230.000 morti - 9 agosto 1139**
- 5. Damghan, Iran - 200.000 morti - 22 dicembre 856**
- 6. Tsinghai, Cina - 200.000 morti - 22 maggio 1927**
- 7. Gansu, Cina - 200.000 morti - 16 dicembre 1920**
- 8. Ardabil, Iran - 150.000 morti - 23 marzo 823**
- 9. Kanto, Giappone - 143.000 morti - 1 settembre 1923**
- 10. Messina e Reggio Calabria, Italia - 86.000 morti - 28 dicembre 1908**
- 11. Ashgabat, URSS - 110.000 morti - 5 ottobre 1948**
- 12. Chihli, Cina - 100.000 morti - settembre 1290**
- 13. Pakistan - 80.361 morti - 8 ottobre 2005**
- 14. Caucaso - 80.000 morti - novembre 1667**
- 15. Tabriz, Iran - 77.000 morti - 18 novembre 1727**
- 16. Gansu, Cina - 70.000 morti - 25 dicembre 1932**
- 17. Lisbona, Portogallo - 70.000 morti - 1 novembre 1755**
- 18. Perù - 66.000 morti - 31 maggio 1970**
- 19. Quetta, Pakistan - tra 30.000 e 60.000 morti - 30 maggio 1935**
- 20. Sicilia, Val di Noto, Italia - 60.000 morti - 11 gennaio 1693**

LINKS:

PEER Pacific Earthquake Engineering Research Centre

<http://peer.berkeley.edu/>

NISEE National Information Service for Earthquake Engineering

<https://nisee.berkeley.edu/elibrary/>

EERI Earthquake Engineering Research Institute <https://www.eeri.org/>

INGV Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia

<http://terremoti.ingv.it/it/> - <https://itaca.mi.ingv.it>

PROTEZIONE CIVILE

<https://rischi.protezionecivile.gov.it/it/sismico>

RELUIS

<http://www.reluis.it/>

EUCENTRE European Centre for Training and Research in Earthquake Engineering

<http://www.eucentre.it/>

EVOLUZIONE NORMATIVA SISMICA

Come evidenziato, i terremoti sono fra gli eventi più pericolosi e devastanti per numero di vittime e di danni arrecati.

Queste conseguenze sono dovute alla mancanza di normative adeguate per la progettazione delle costruzioni in zona sismica.

Una buona strategia di prevenzione richiede:

- Una classificazione sismica del territorio (pericolosità)**
- Una progettazione antisismica adeguata per le nuove costruzioni**
- Strategie efficaci di intervento per il miglioramento delle prestazioni sismiche del patrimonio costruito**

EVOLUZIONE NORMATIVA SISMICA

Si può fare la seguente classificazione convenzionale delle norme:

- Norme di I generazione; di tipo convenzionale (1909 al 1974)**
- Norme di II generazione; a singolo livello di esercizio (1975 al 2003)**
- Norme di III generazione; prestazionali a doppio livello (2003 al 2008)**
- Norme di IV generazione; prestazionali multi-livello (dal 2008)**

Esistevano delle norme (regole prescrittive) prima del 1909 che miravano a ridurre gli effetti devastanti del terremoto (*legature e regole dimensionali, in base a quanto osservato dai crolli*).

E' stato trovato un documento del genere che riguardava la zona Emiliana conseguente al terremoto del Modenese del 1501.

Queste regole venivano prescritte solamente per le zone che erano state colpite da un terremoto nel recente passato.

NORME DI PRIMA GENERAZIONE

In seguito al terremoto di Messina del 28-12-1908 (7.5 gradi scala Richter) è stato pubblicato il Regio Decreto 193 (18-04-1909).

Imponeva che le strutture dovevano essere in grado di resistere a delle **forze statiche laterali convenzionali** (*Equivalent Lateral Force ELF*), rappresentative degli effetti dinamici applicati alle masse dell'edificio e dovute al moto sismico.

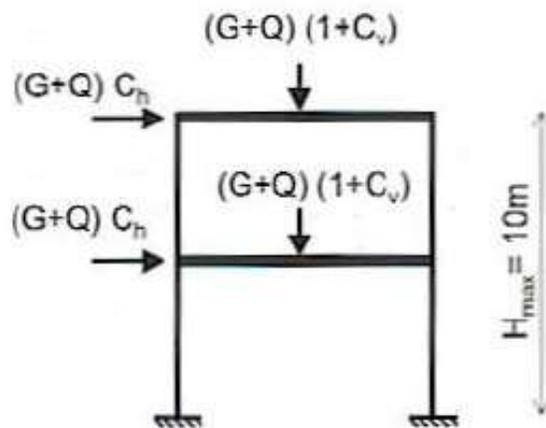
In realtà le forze equivalenti sono state stimate sulla base delle forze orizzontali sopportabili da un certo numero di edifici che avevano superato il sisma senza crollare.

NORME DI PRIMA GENERAZIONE

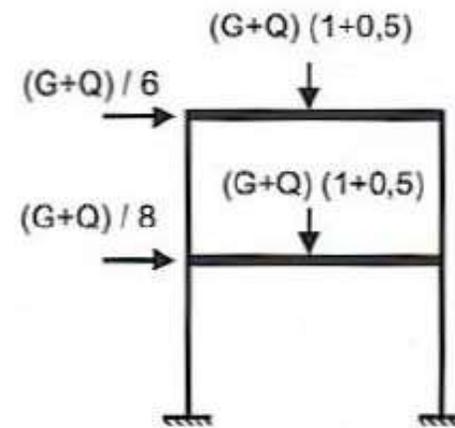
Le forze statiche laterali convenzionali sono state valutate come una quota delle forze verticali. Inoltre anche i carichi verticali venivano incrementati di un certo coefficiente.

Nel seguito si vedono le proposte dei R.D. 193/1909 e del D.L. 1526/1916. Sono stati fatti ulteriori assestamenti di questi coefficienti

R.D. n. 193 del 18 aprile 1909

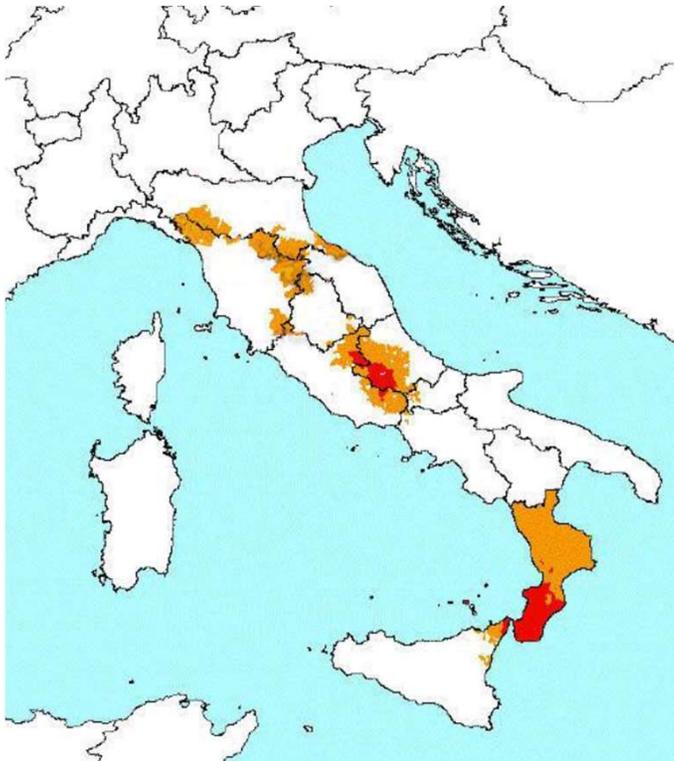


Decreto legge n. 1526 del 1916



NORME DI PRIMA GENERAZIONE

Alle norme citate ha fatto seguito il R.D. n. 431 del 1927 che introdusse il concetto di **zona sismica**, dividendo il territorio nazionale in **due zone**, cui vennero fatte corrispondere **due categorie** alle quali competevano differenti forze sismiche di progetto.



Ad ogni evento sismico successivo venivano aggiornate le zone sismiche in Italia. Quindi la classificazione evolveva solo in seguito al verificarsi di eventi sismici in zone diverse da quelle già classificate (52 aggiornamenti fino al 1984)

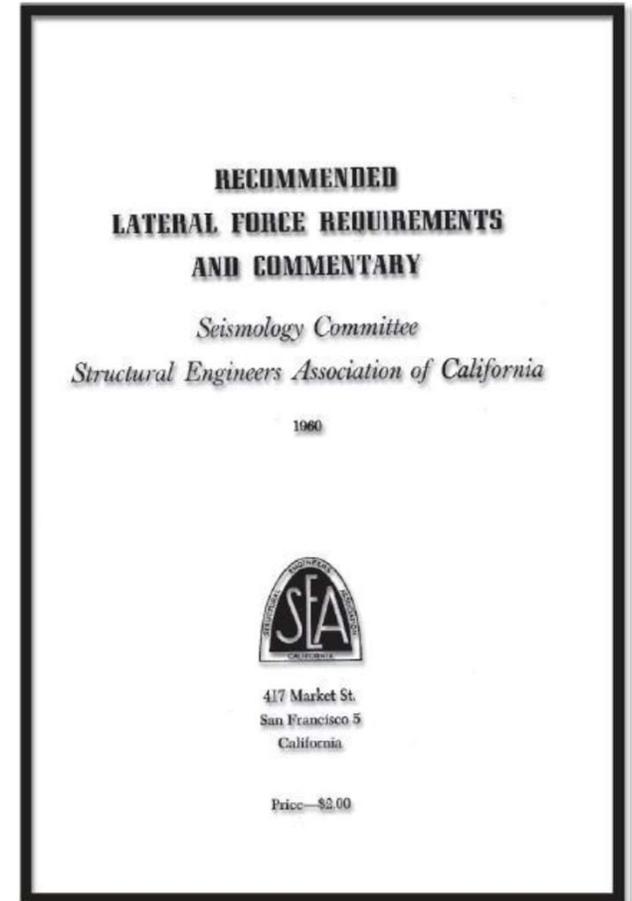
NORME DI SECONDA GENERAZIONE

Le norme di seconda generazione nascono in Italia con la Legge 64/1974, in particolare con il D.M. 03-03-1975.

E' una norma a singolo livello. Si focalizza su terremoti violenti (Tempo di ritorno di 475 anni) dai quali si ricava una convenzionale azione di esercizio. Le verifiche vengono eseguite a livello di sollecitazioni di esercizio.

Questa norma si rifà alle ricerche condotte negli USA (California Institute of Technology – Biot, Housner e altri)

Iniziarono a formalizzare il concetto di SPETTRO DI RISPOSTA ELASTICO e portarono alle norme SEAOC 1960.



SEAOC Blue Book, 1960

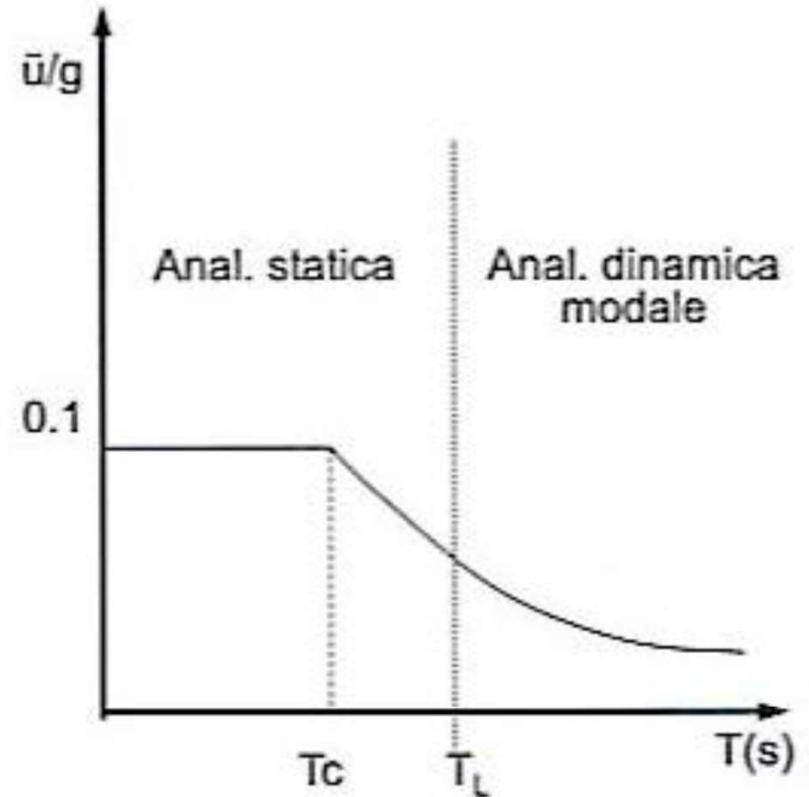
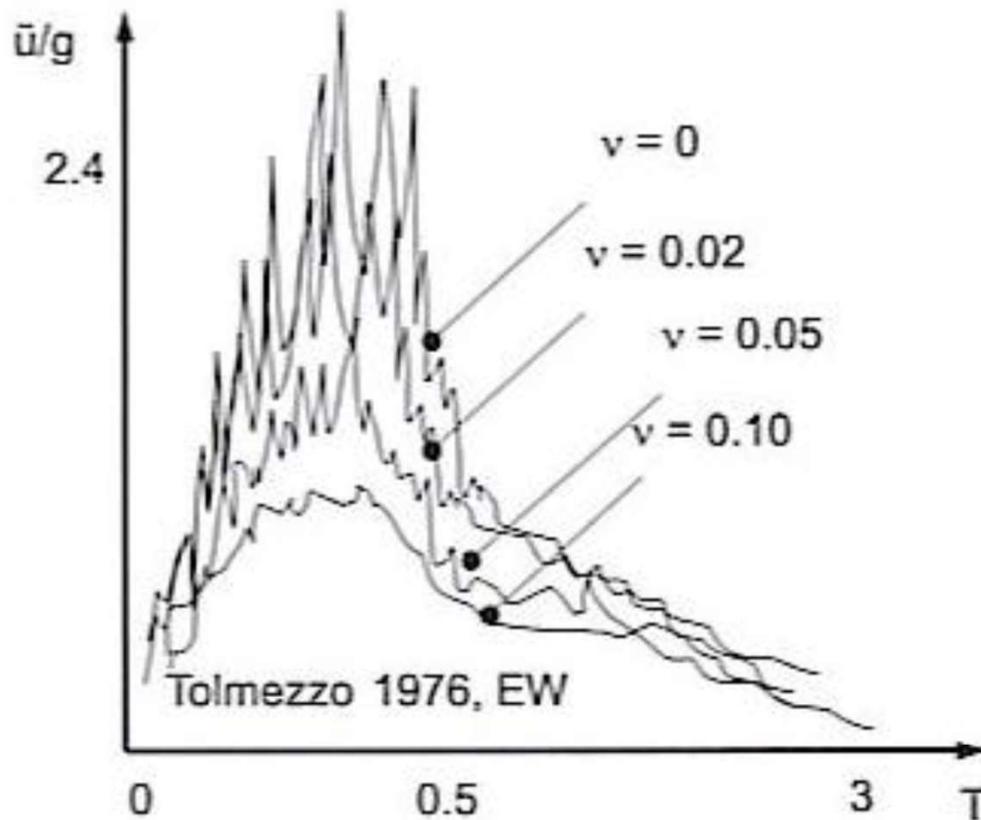
NORME DI SECONDA GENERAZIONE

La Legge 64/1974, ancora in vigore, è la legge quadro della normativa sismica italiana e demanda al Ministero LL.PP. il compito di emanare con decreti le norme tecniche in zona sismica

Questa norma, con i successivi decreti, ha portato importanti innovazioni:

- **Classificazione sismica**, stabilendo di procedere in base a comprovate motivazioni tecnico scientifiche
- Considerare gli **effetti amplificativi del terreno** mediante microzonazione
- Possibilità di usare **l'analisi multi-modale** al posto dell'analisi statica equivalente
- Uso dello **spettro di progetto** in termini di accelerazioni
- Previsione implicita che **le strutture possano dissipare energia in campo plastico**, con conseguenti **dettagli costruttivi**

NORME DI SECONDA GENERAZIONE



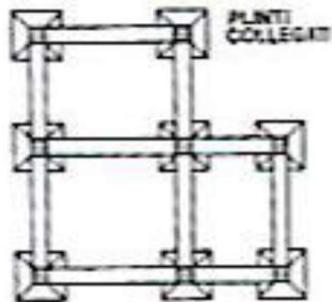
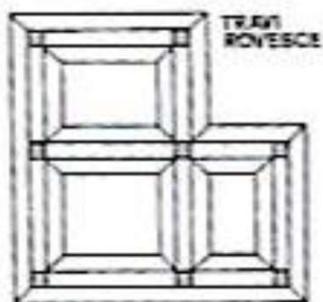
Esempio di uno spettro di risposta elastico, introdotto per la prima volta in Italia nel Decreto del 3 Marzo 1975

NORME DI SECONDA GENERAZIONE

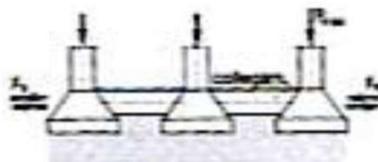


Zonazione sismica secondo il DM LL.PP. Del 1984

NORME DI SECONDA GENERAZIONE

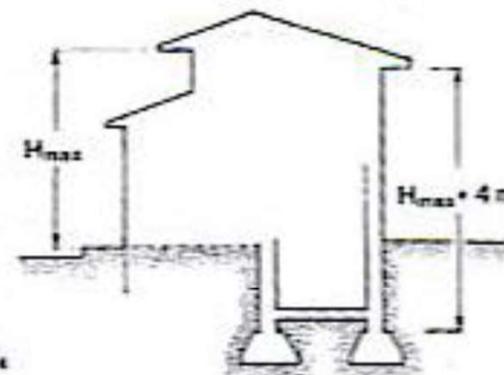
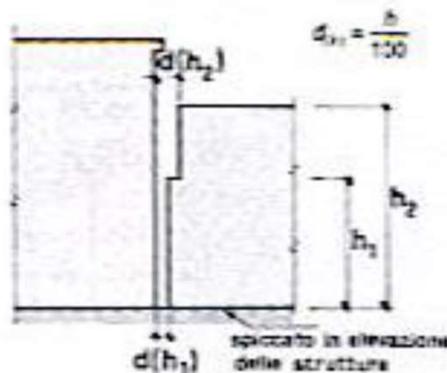


$$F_x = \frac{P_{max}}{10}$$



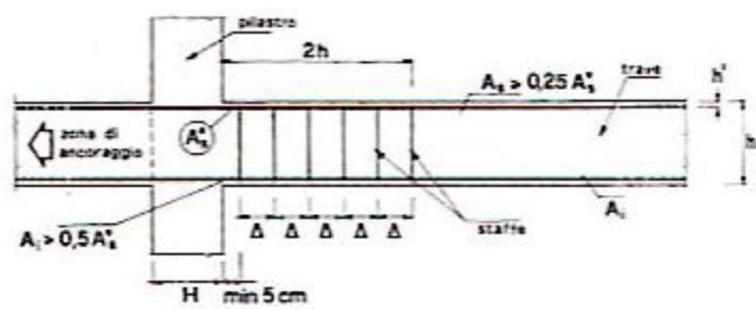
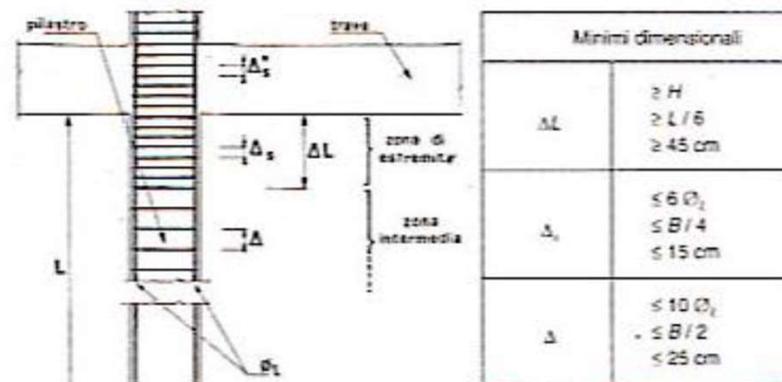
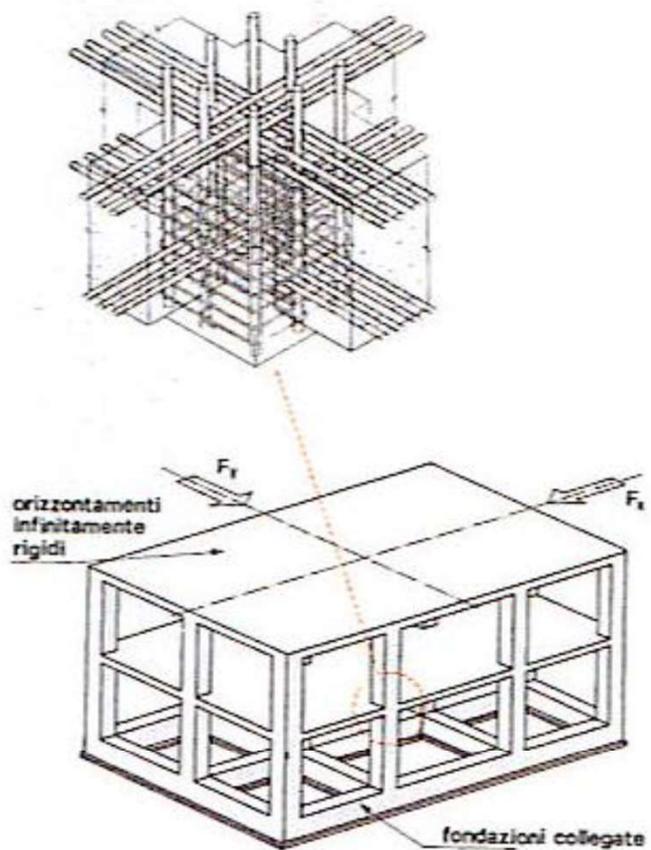
Altezze massime

| Tipo di struttura | H_{max} = altezza massima (m) | | |
|-----------------------------------|---------------------------------|-------|--------|
| | S = 6 | S = 9 | S = 12 |
| Legno | 10 | 7 | 7 |
| Muratura ordinaria | 16 | 11 | 7,5 |
| Muratura armata | 25 | 19 | 13 |
| Pannelli portanti | 32 | 25 | 15 |
| Intelaiatura in c.a. o in acciaio | nessuna limitazione | | |



DM 24 Gennaio 1986: alcune prescrizioni di progetto generali

NORME DI SECONDA GENERAZIONE



| $\frac{1,4}{f_{ct}} < \rho < \frac{7}{f_{ct}}$ (in N/mm^2) | tipo di acciaio | f_{td} | $\rho_{lim} \%$ | $\rho_{lim} \%$ |
|--|-----------------|----------|-----------------|-----------------|
| | | FeB 22K | 215 | 0,65% |
| | FeB 32K | 315 | 0,44% | 2,22% |
| | FeB 38K | 375 | 0,37% | 1,87% |
| | FeB 44K | 430 | 0,33% | 1,63% |

| $\varnothing A_s$ $\varnothing A_s \geq 2 \varnothing 12$ | STAFFE | Δ |
|--|--------|--|
| | | $\leq (h-H)/4$ $\leq 6 \varnothing \text{ min}$ $\leq 15 \text{ cm}$ |

DM 16 Gennaio 1996: prescrizioni di progetto per le strutture in c.a.

NORME DI TERZA GENERAZIONE

Le norme di terza generazione nascono in Italia con l'OPCM 3274 del 2003, poi inglobate nelle Norme Tecniche del 2005.

E' una norma di tipo prestazionale a doppio livello. Viene adottato esclusivamente il metodo semiprobabilistico agli stati limite e richiede come prestazione sia la salvaguardia delle vite umane SLV (evitare il crollo) sia la limitazione del danno, per terremoti più frequenti (SLD).

Questo approccio è stato introdotto nel 1988 nell'Eurocodice 8 e nelle norme ECSS n. 54 per le costruzioni metalliche.

In particolare nei due livelli si fa riferimento a:

- Terremoto di servizio, tempo di ritorno di circa 70 anni (SLD)**
- Terremoto distruttivo, tempo di ritorno di 475 anni (SLU)**

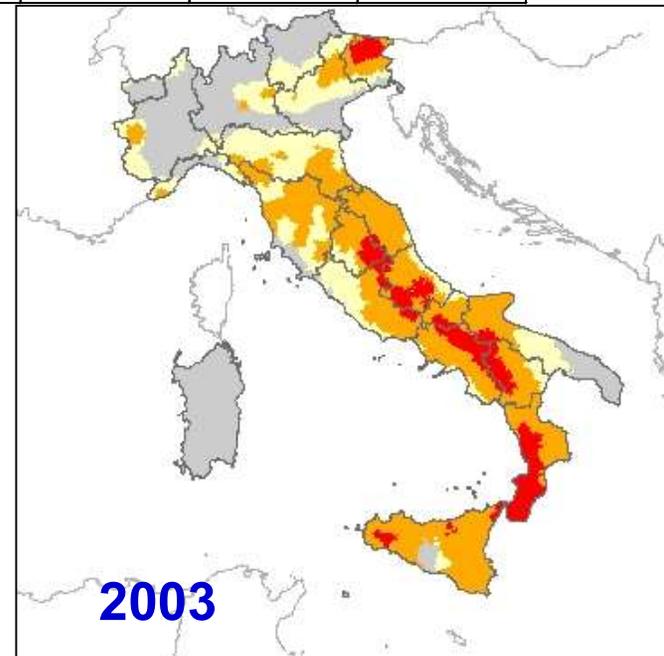
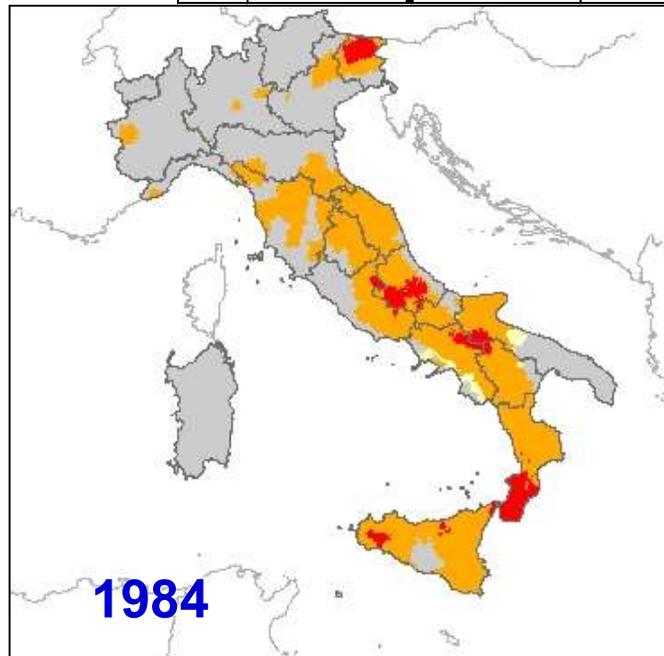
NORME DI TERZA GENERAZIONE

- **La verifica allo Stato Limite di Danno consiste nell'accertarsi che il sistema sottoposto al terremoto di servizio, subisca un ridotto danneggiamento alle parti strutturali e non strutturali, ovvero lo spostamento di interpiano sia contenuto entro determinati valori limite.**
- **La verifica allo Stato Limite Ultimo consiste nell'accertarsi che, in corrispondenza del terremoto distruttivo, pur subendo gravi danni, il sistema sia in grado di fornire una resistenza residua alle azioni orizzontali e l'intera capacità portante nei confronti dei carichi verticali, in modo da salvaguardare la vita umana (Life-Safety).**

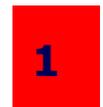
AGGIORNAMENTO CLASSIFICAZIONE SISMICA

| | | Classificazione 2003 | | | | | |
|-------------------------|--------------|----------------------|-----|------|------|------|--------|
| | | Zona Cat. | 1 | 2 | 3 | 4 | Totale |
| Vecchia classificazione | 1a (S=12) | | 368 | 0 | 0 | 0 | 368 |
| | 2a (S=9) | | 348 | 2150 | 0 | 0 | 2498 |
| | 3a (S=6) | | 0 | 88 | 11 | 0 | 99 |
| | N.C | | 0 | 85 | 1621 | 3429 | 5135 |
| | Totale | | 716 | 2323 | 1632 | 3429 | 8100 |

Categoria



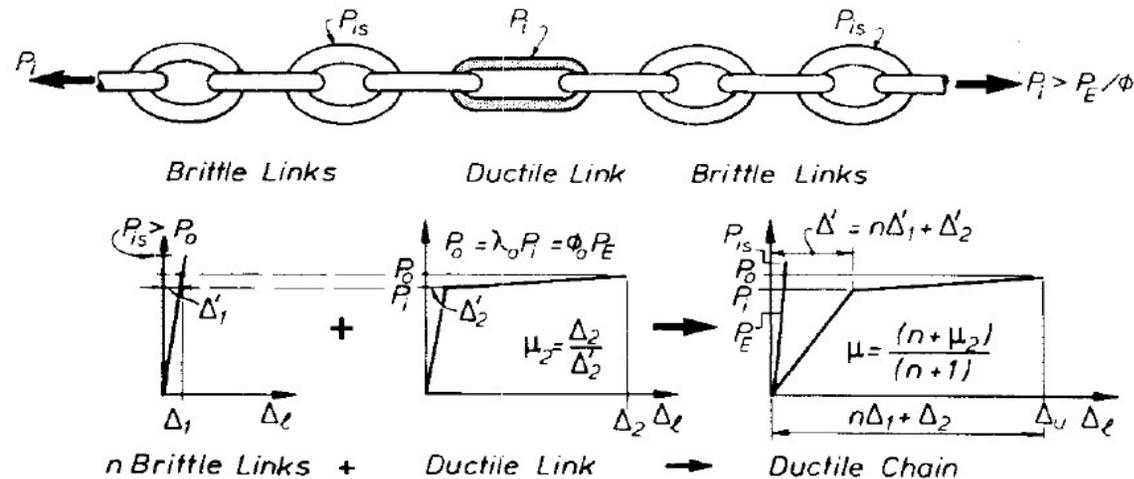
Zona



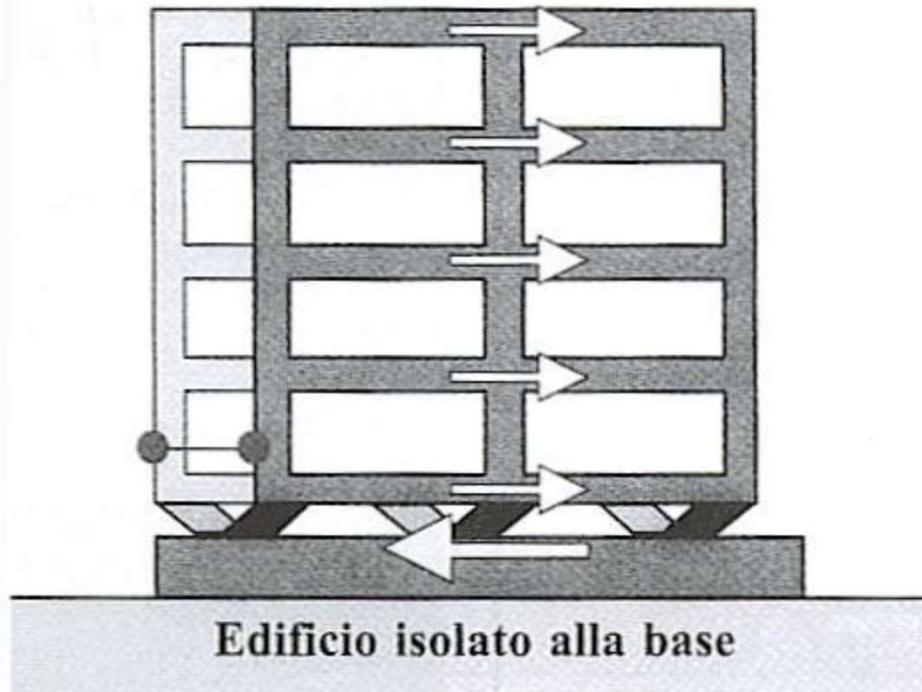
NORME DI TERZA GENERAZIONE

Le norme di III generazione prevedono la possibilità di assorbire meno energia in ingresso **isolando l'edificio** oppure di **dissipare** l'energia sismica in ingresso secondo varie strategie progettuali basate sulla risposta controllata del sistema come:

- L'uso di dispositivi speciali di dissipazione (dissipatori)
- L'uso di sistemi iper-resistenti o non dissipativi favorendo la plasticizzazione di alcune parti della struttura e non di altre (**CRITERIO DI GERARCHIA DELLE RESISTENZE – Park & Paulay 1975**)



NORME DI TERZA GENERAZIONE



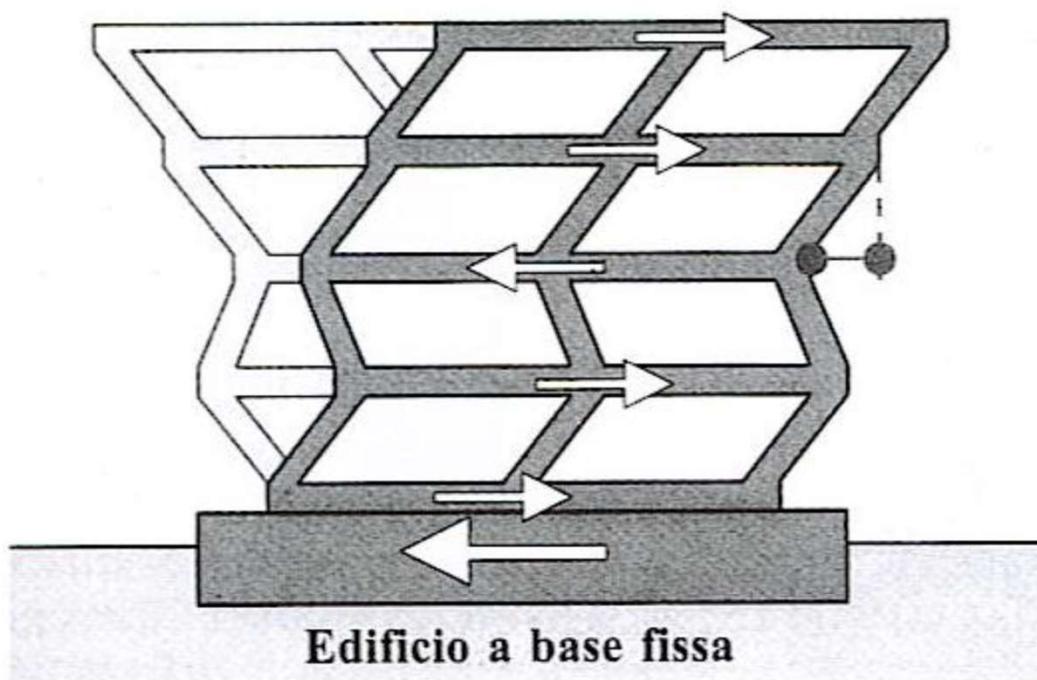
Strategia di progettazione antisismica attraverso isolatori alla base

NORME DI TERZA GENERAZIONE



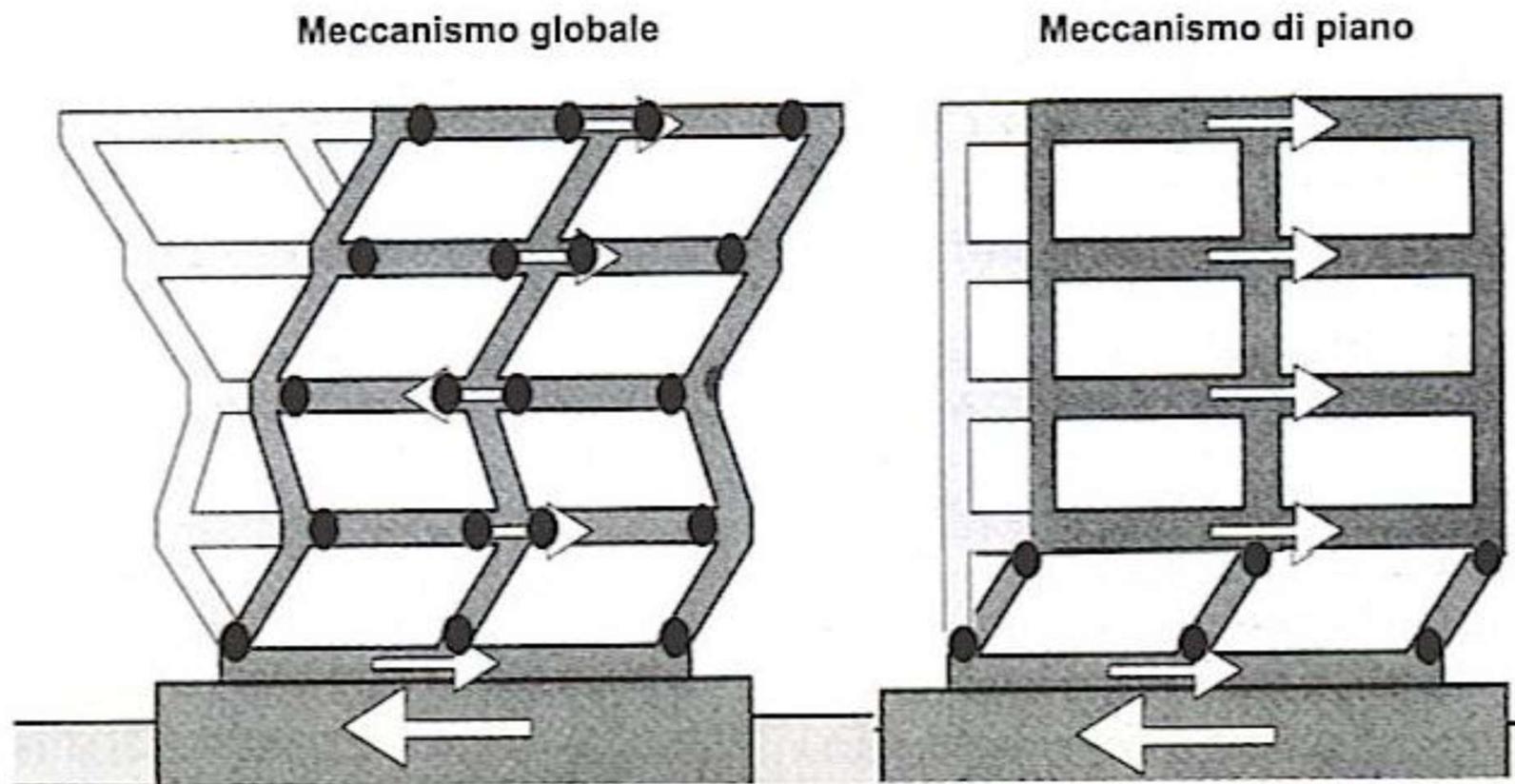
**Dispositivi speciali di
dissipazione utilizzati nella
progettazione antisismica**

NORME DI TERZA GENERAZIONE



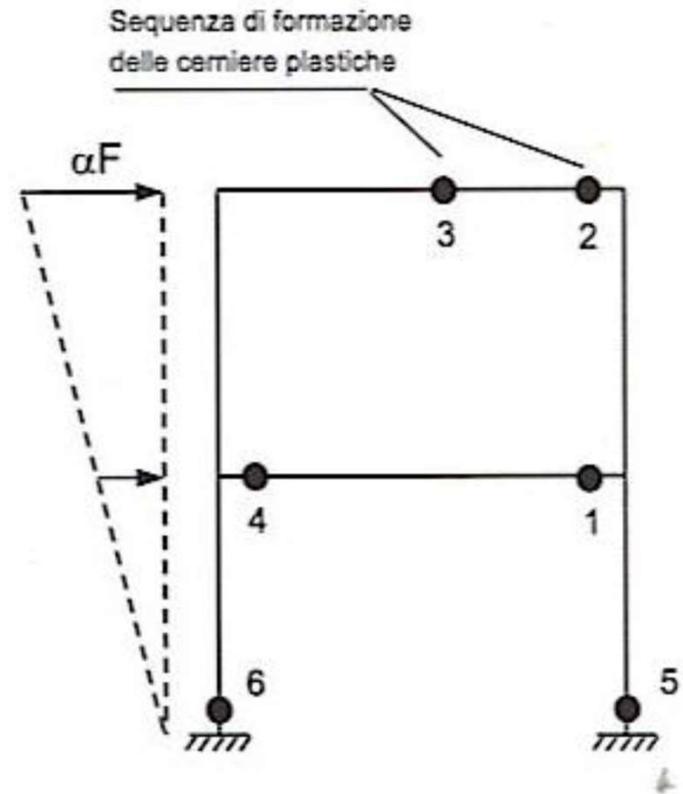
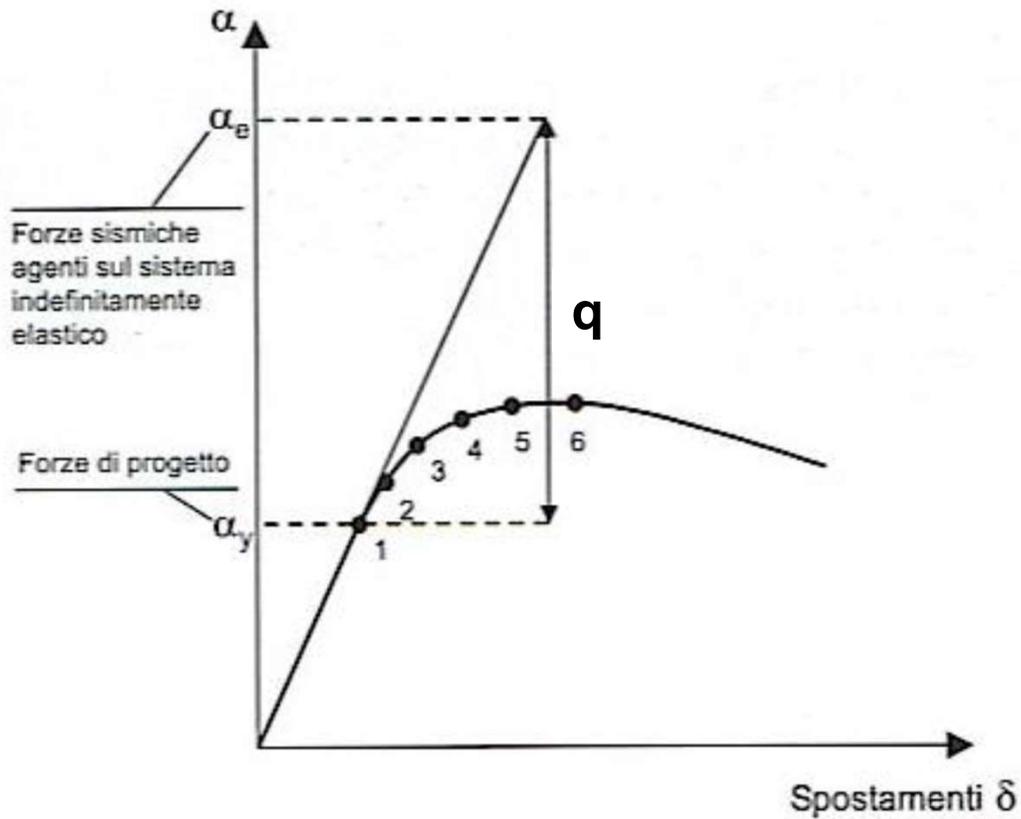
Strategia di progettazione antisismica attraverso dissipazione energetica mediante plasticizzazione di alcune parti della struttura

NORME DI TERZA GENERAZIONE



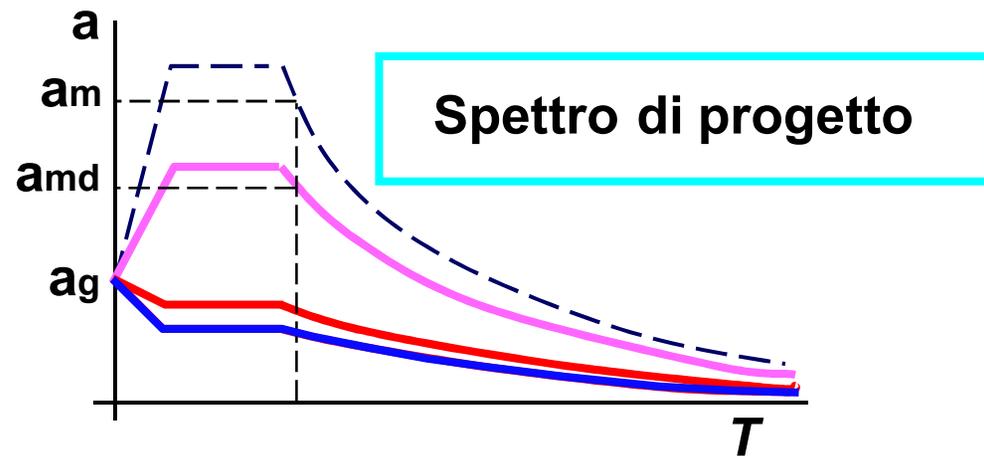
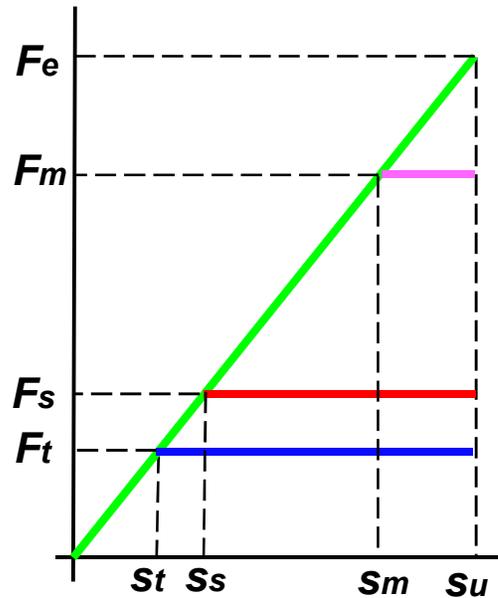
Gerarchia delle resistenze

NORME DI TERZA GENERAZIONE



Uso del fattore di struttura q

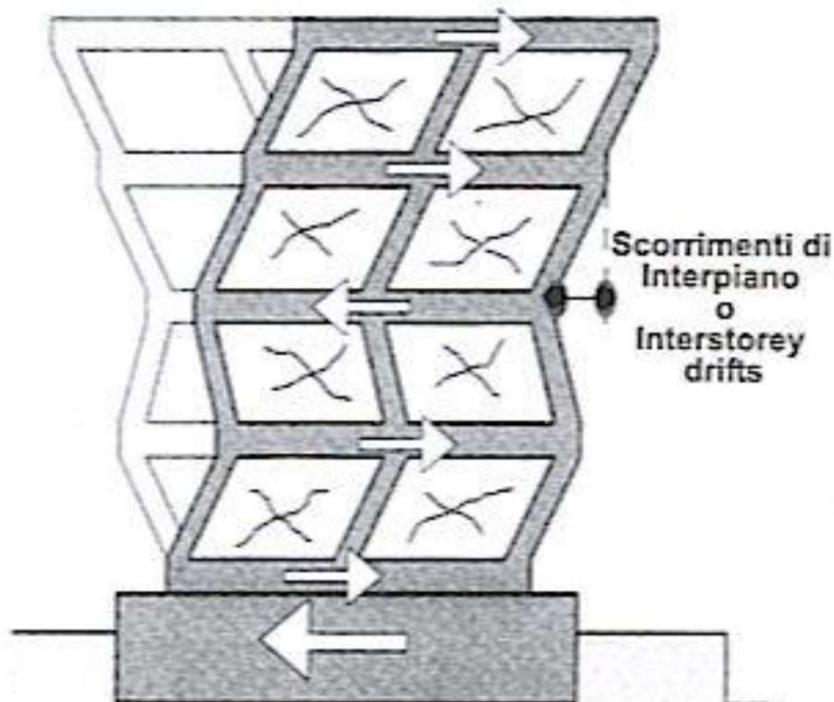
NORME DI TERZA GENERAZIONE



Use dello spettro di progetto e uso del fattore di struttura q per la verifica agli SLU

NORME DI TERZA GENERAZIONE

Stato Limite di Danno



SPOSTAMENTI DI INTERPIANO LIMITE

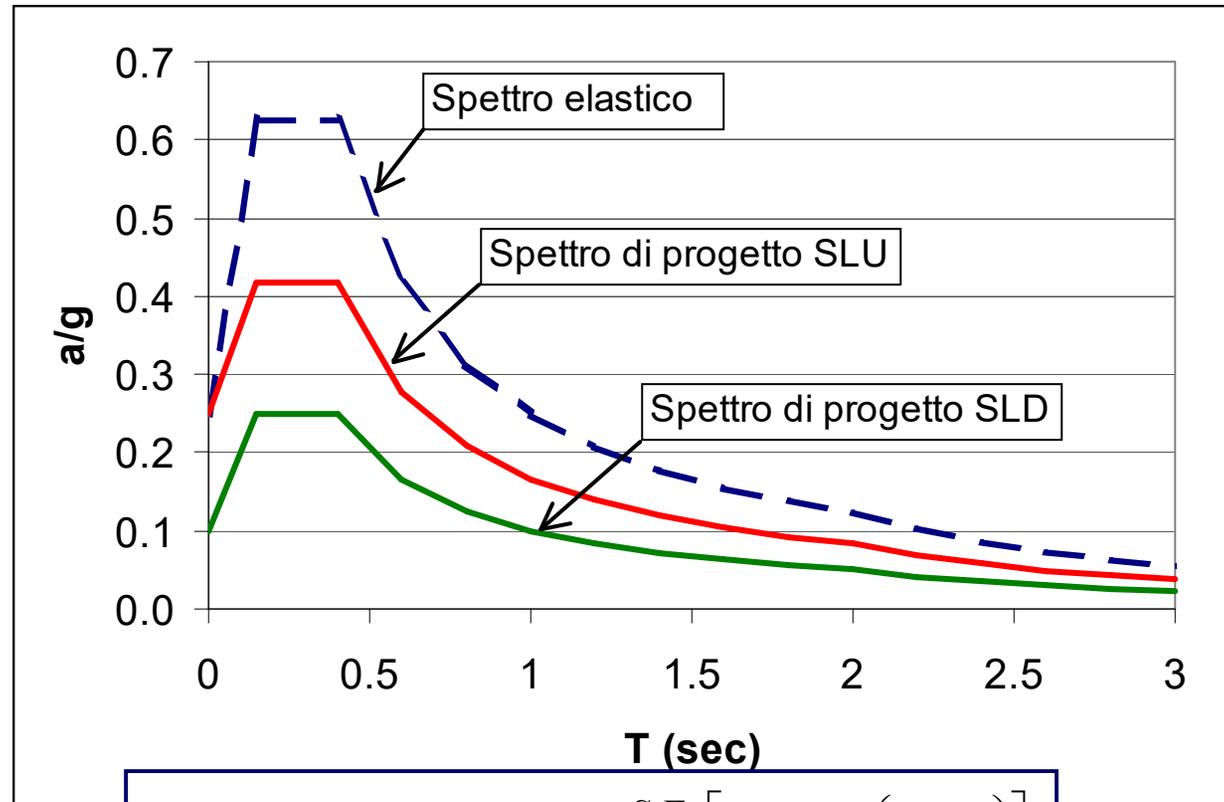
| Tipologia tamponatura | ECCS n.54 | EN 1998-1 | O.P.C. n.3274 |
|--|-----------|-----------|---------------|
| Tamp. collegate rigidamente alla struttura | 0.003-h | 0.005-h | 0.005-h |
| Tamp. collegate elasticamente alla struttura | 0.006-h | 0.0075-h | 0.0075-h |
| Tamp. scollegata dalla struttura | — | 0.010-h | — |

limitazioni sullo spostamento di interpiano

NORME DI TERZA GENERAZIONE

Lo spettro di progetto per lo SLD è lo spettro elastico riferito alla probabilità di superamento nel periodo di riferimento.

Lo spettro di progetto per lo SLU si ottiene a partire dallo spettro elastico sostituendo al posto del coefficiente di smorzamento η l'inverso del fattore di struttura $1/q$



| | |
|--------------------|--|
| $0 \leq T < T_B$ | $S_d(T) = \frac{a_g S F_o}{q} \left[\frac{T}{T_B} + \frac{q}{F_o} \cdot \left(1 - \frac{T}{T_B} \right) \right]$ |
| $T_B \leq T < T_C$ | $S_d(T) = \frac{a_g S F_o}{q}$ |
| $T_C \leq T < T_D$ | $S_d(T) = \frac{a_g S F_o}{q} \cdot \left(\frac{T_C}{T} \right)$ |
| $T_D \leq T$ | $S_d(T) = \frac{a_g S F_o}{q} \cdot \left(\frac{T_C T_D}{T^2} \right)$ |

NORME DI TERZA GENERAZIONE

| Categoria | Caratteristiche della superficie topografica |
|-----------|--|
| A | <i>Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi</i> caratterizzati da valori di velocità delle onde di taglio superiori a 800 m/s, eventualmente comprendenti in superficie terreni di caratteristiche meccaniche più scadenti con spessore massimo pari a 3 m. |
| B | <i>Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti</i> , caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 360 m/s e 800 m/s. |
| C | <i>Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti</i> con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 180 m/s e 360 m/s. |
| D | <i>Depositi di terreni a grana grossa scarsamente addensati o di terreni a grana fina scarsamente consistenti</i> , con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 100 e 180 m/s. |
| E | <i>Terreni con caratteristiche e valori di velocità equivalente riconducibili a quelle definite per le categorie C o D</i> , con profondità del substrato non superiore a 30 m. |

| Categoria sottosuolo | S_s | C_c |
|----------------------|---|------------------------------|
| A | 1,00 | 1,00 |
| B | $1,00 \leq 1,40 - 0,40 \cdot F_0 \cdot \frac{a_E}{g} \leq 1,20$ | $1,10 \cdot (T_C^*)^{-0,20}$ |
| C | $1,00 \leq 1,70 - 0,60 \cdot F_0 \cdot \frac{a_E}{g} \leq 1,50$ | $1,05 \cdot (T_C^*)^{-0,33}$ |
| D | $0,90 \leq 2,40 - 1,50 \cdot F_0 \cdot \frac{a_E}{g} \leq 1,80$ | $1,25 \cdot (T_C^*)^{-0,50}$ |
| E | $1,00 \leq 2,00 - 1,10 \cdot F_0 \cdot \frac{a_E}{g} \leq 1,60$ | $1,15 \cdot (T_C^*)^{-0,40}$ |

EFFETTI DISTRUTTIVI SU STRUTTURE



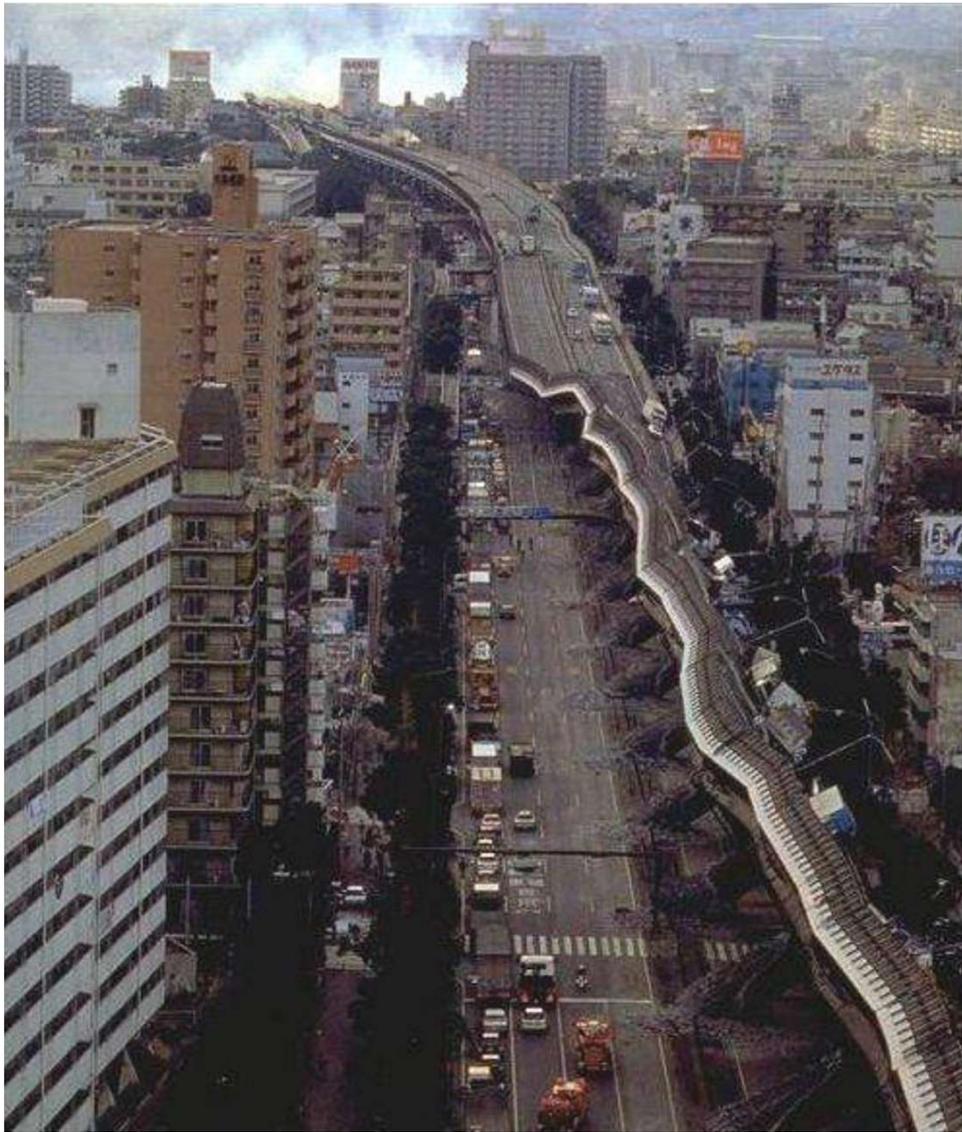
Northridge, USA 17-01-1994

EFFETTI DISTRUTTIVI SU STRUTTURE



Northridge, USA 17-01-1994

EFFETTI DISTRUTTIVI SU STRUTTURE



Kobe, Japan 17-01-1995



EFFETTI DISTRUTTIVI SU STRUTTURE



Kobe, Japan 17-01-1995

EFFETTI DISTRUTTIVI SU STRUTTURE



Niigata, Japan 1964

EFFETTI DISTRUTTIVI SU STRUTTURE



Nijgata, Japan 2004

EFFETTI DISTRUTTIVI SU STRUTTURE



Adapazari, Turkey, 1999

NORME DI QUARTA GENERAZIONE

L'effetto devastante su alcune tipologie di strutture da parte di recenti eventi sismici e la necessità di definire, oltre ai due stati limite (SLV, SLD), dei livelli intermedi, ha portato alla nascita di una nuova generazione di norme, dette di **multi-livello**.

Questa necessità nasce dal combinare considerazioni di carattere di sicurezza e salvaguardia delle vite umane con quelle di carattere economico.

Tra queste norme troviamo:

- Norme Tecniche per le Costruzioni NTC 2008 e NTC 2018
- Eurocodice n. 8 EC8 (2003)
- FEMA 273 (1995) per edifici nuovi ed esistenti
- ATC 40 (1995)
- SEAOC-Vision (1995) per edifici di nuova costruzione

NORME DI QUARTA GENERAZIONE

Queste norme basano il progetto sismico sul perseguimento di obiettivi puramente prestazionali (**Performance Based Design, PBD**)

Abbandono totale del carattere convenzionale e prescrittivo dei metodi tradizionali a favore di un'impostazione esplicitamente prestazionale, nella quale gli obiettivi della progettazione che la norma si prefigge vengono dichiarati, ed i metodi utilizzati allo scopo vengono singolarmente giustificati.

Questa impostazione fornisce al progettista la consapevolezza delle finalità e del rilievo di ogni singola operazione e consente di graduare le prestazioni richieste all'opera che si sta progettando in base ad esigenze di natura sociale ed economica.

NORME DI QUARTA GENERAZIONE

I quattro livelli di prestazione tipici sono:

- 1.Operational** (completamente operativo, SLO)
- 2.Immediate Occupancy** (operativo e funzionale, SLD)
- 3.Life Safety** (salvaguardia della vita umana, SLV)
- 4.Collapse Prevention** (prossimo al collasso, non riparabile, SLC)

I livelli di accelerazione sismica sono legati al periodo di ritorno del sisma e corrispondono ad un evento:

- 1.Frequente** (periodo di ritorno dai 25 ai 72 anni)
- 2.Occasionale** (periodo di ritorno dai 72 ai 225 anni)
- 3.Raro** (periodo di ritorno di 475 anni)
- 4.Molto raro** (periodo di ritorno variabile da 800 a 2500 anni)

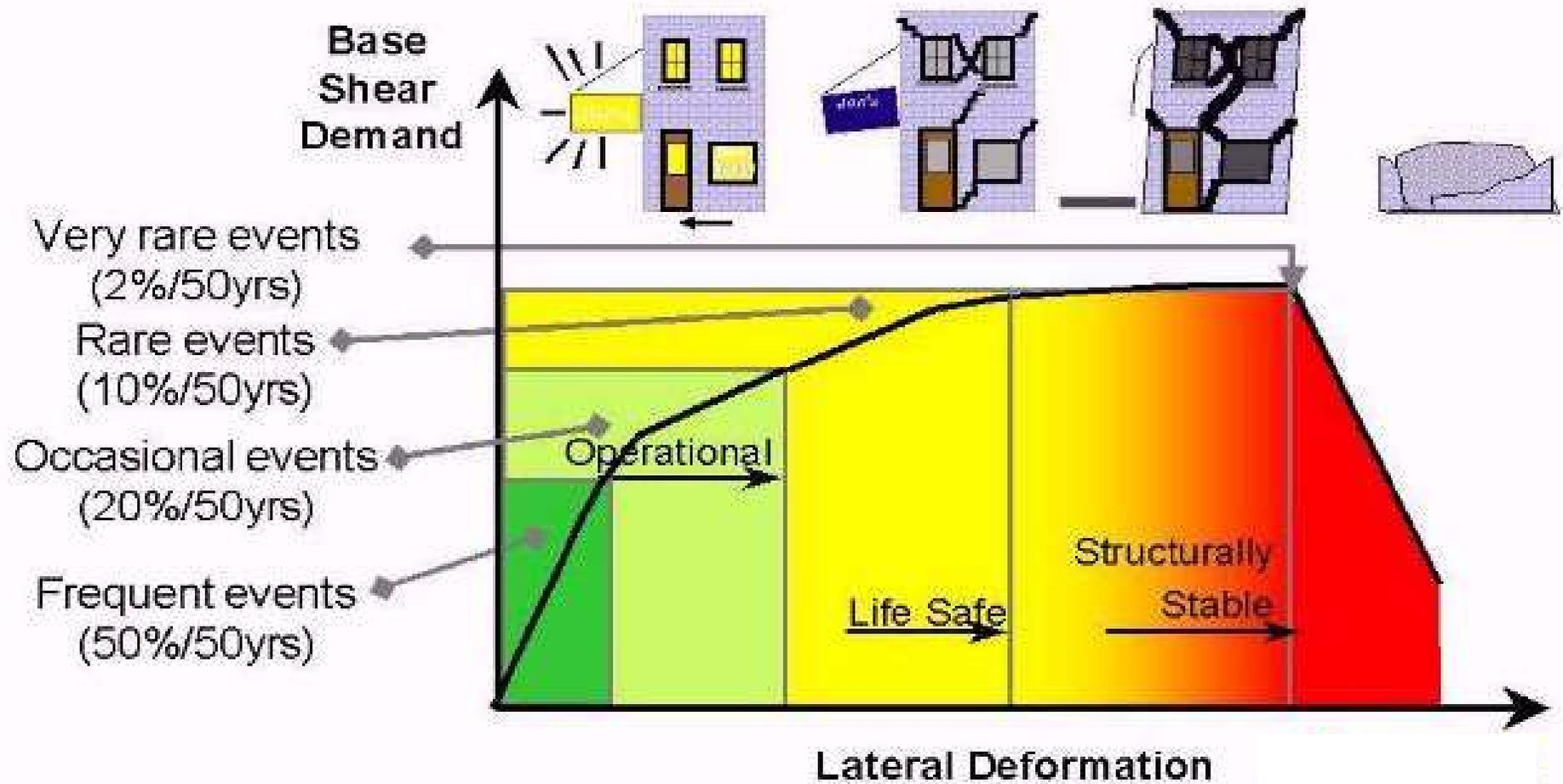
STATI LIMITE DI ESERCIZIO:

- **Stato Limite di Operatività (SLO):** a seguito del terremoto la costruzione nel suo complesso, includendo gli elementi strutturali, quelli non strutturali, le apparecchiature rilevanti alla sua funzione, non deve subire danni ed interruzioni d'uso significativi;
- **Stato Limite di Danno (SLD):** a seguito del terremoto la costruzione nel suo complesso, includendo gli elementi strutturali, quelli non strutturali, le apparecchiature rilevanti alla sua funzione, subisce danni tali da non mettere a rischio gli utenti e da non compromettere significativamente la capacità di resistenza e di rigidità nei confronti delle azioni verticali ed orizzontali, mantenendosi immediatamente utilizzabile pur nell'interruzione d'uso di parte delle apparecchiature.

STATI LIMITE ULTIMI:

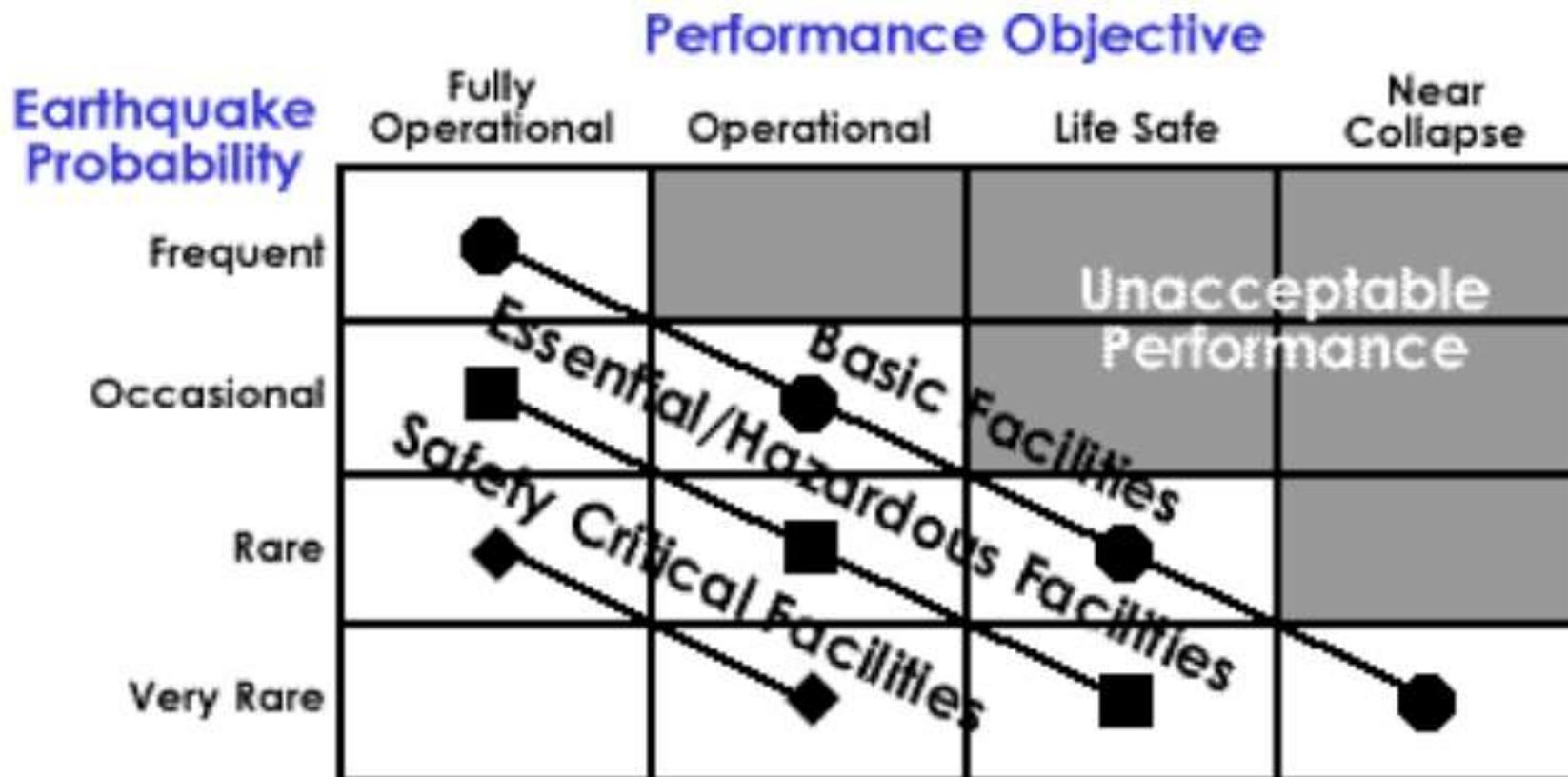
- **Stato Limite di salvaguardia della Vita (SLV):** a seguito del terremoto la costruzione subisce rotture e crolli dei componenti non strutturali ed impiantistici e significativi danni dei componenti strutturali cui si associa una perdita significativa di rigidità nei confronti delle azioni orizzontali; la costruzione conserva invece una parte della resistenza e rigidità per azioni verticali e un margine di sicurezza nei confronti del collasso per azioni sismiche orizzontali;
- **Stato Limite di prevenzione del Collasso (SLC):** a seguito del terremoto la costruzione subisce gravi rotture e crolli dei componenti non strutturali ed impiantistici e danni molto gravi dei componenti strutturali; la costruzione conserva ancora un margine di sicurezza per azioni verticali ed un esiguo margine di sicurezza nei confronti del collasso per azioni orizzontali.

NORME DI QUARTA GENERAZIONE



NORME DI QUARTA GENERAZIONE

L'approccio prestazionale





I dati *online* della pericolosità sismica in Italia

Mappe dinamiche

-  [Mappe interattive della pericolosità sismica \(WebGis\)](#)
-  [Interactive Maps of Seismic Hazard \(WebGis\)](#)

Mappe statiche e download dati

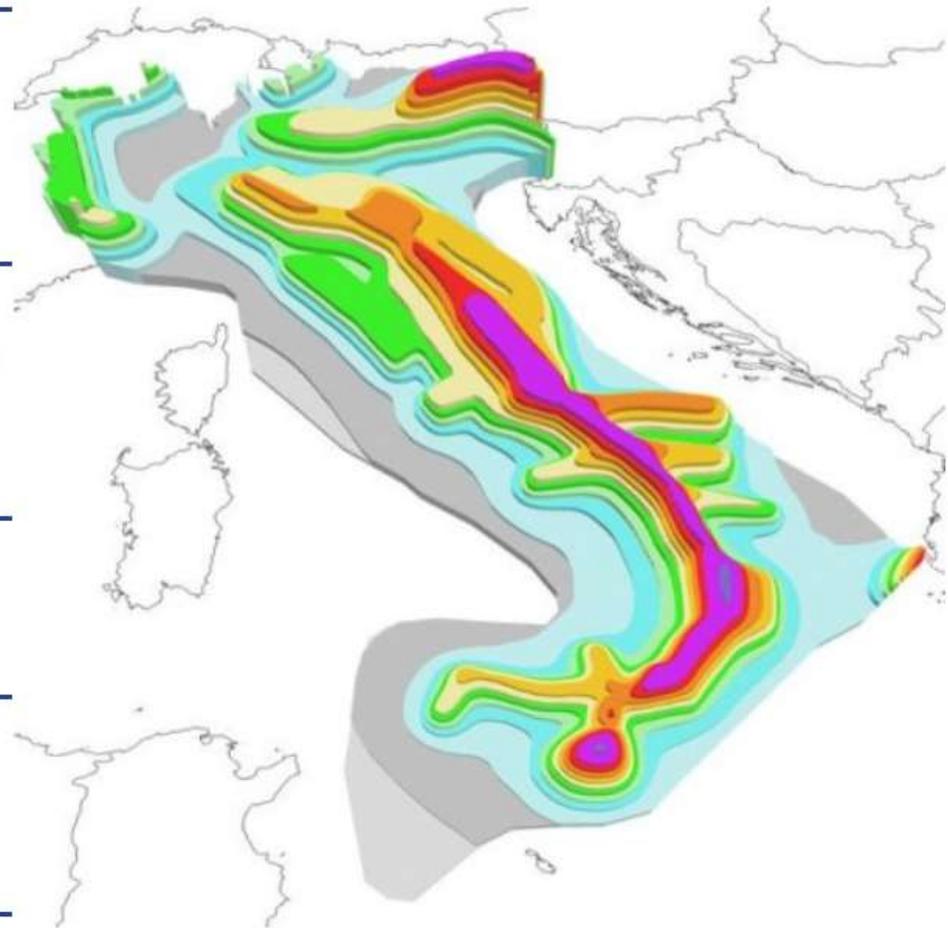
- [PGA per varie probabilità di eccedenza in 50 anni](#)
- [Accelerazioni spettrali per varie probabilità di eccedenza in 50 anni](#)

Norme Tecniche per le Costruzioni

- [DM 14/01/2008 - Allegato A](#)

Links

- [Progetto INGV-DPC S1](#)
 - zonesismiche.mi.ingv.it
-



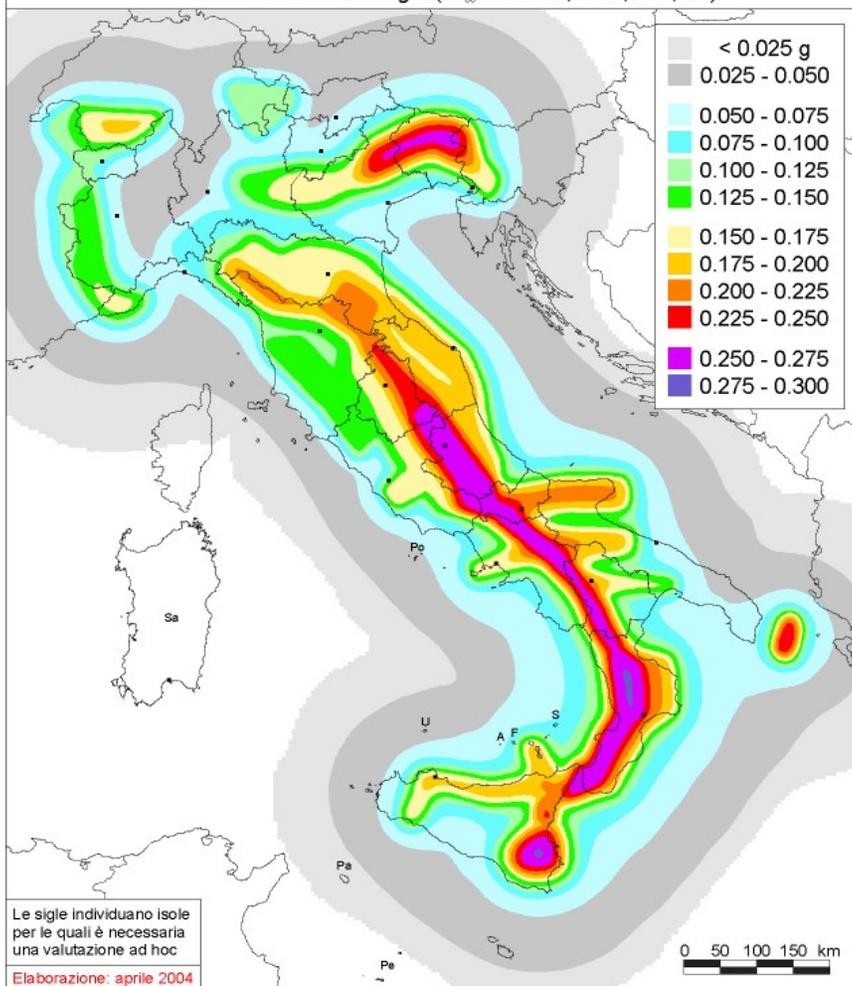
MAPPA DI PERICOLOSITA' SISMICA (OPCM 3519)



ISTITUTO NAZIONALE DI GEOFISICA E VULCANOLOGIA

Mappa di pericolosità sismica del territorio nazionale

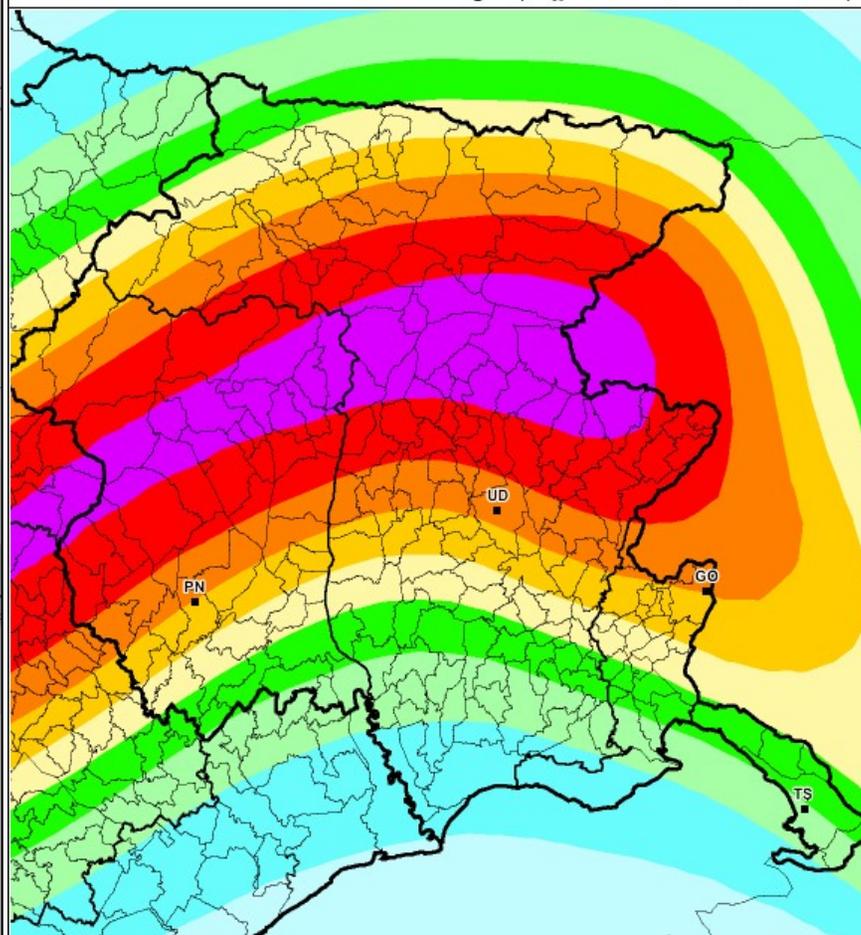
(riferimento: Ordinanza PCM del 20 marzo 2003 n.3274, All.1)
 espressa in termini di accelerazione massima del suolo (a_{max})
 con probabilità di eccedenza del 10% in 50 anni
 riferita a suoli molto rigidi ($V_{s30} > 800$ m/s; cat.A, All.2, 3.1)



ISTITUTO NAZIONALE DI GEOFISICA E VULCANOLOGIA

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 ($V_{s30} > 800$ m/s; cat.A, All.2, 3.1)



Selezione Mappa

Visualizza punti della griglia riferiti a:

Parametro dello scuotimento:

Probabilità in 50 anni:

Percentile:

Periodo spettrale (sec.):

Ridisegna mappa

Navigazione

Scala:
(Valori consentiti: 50.000 - 5.000.000)

Scala:

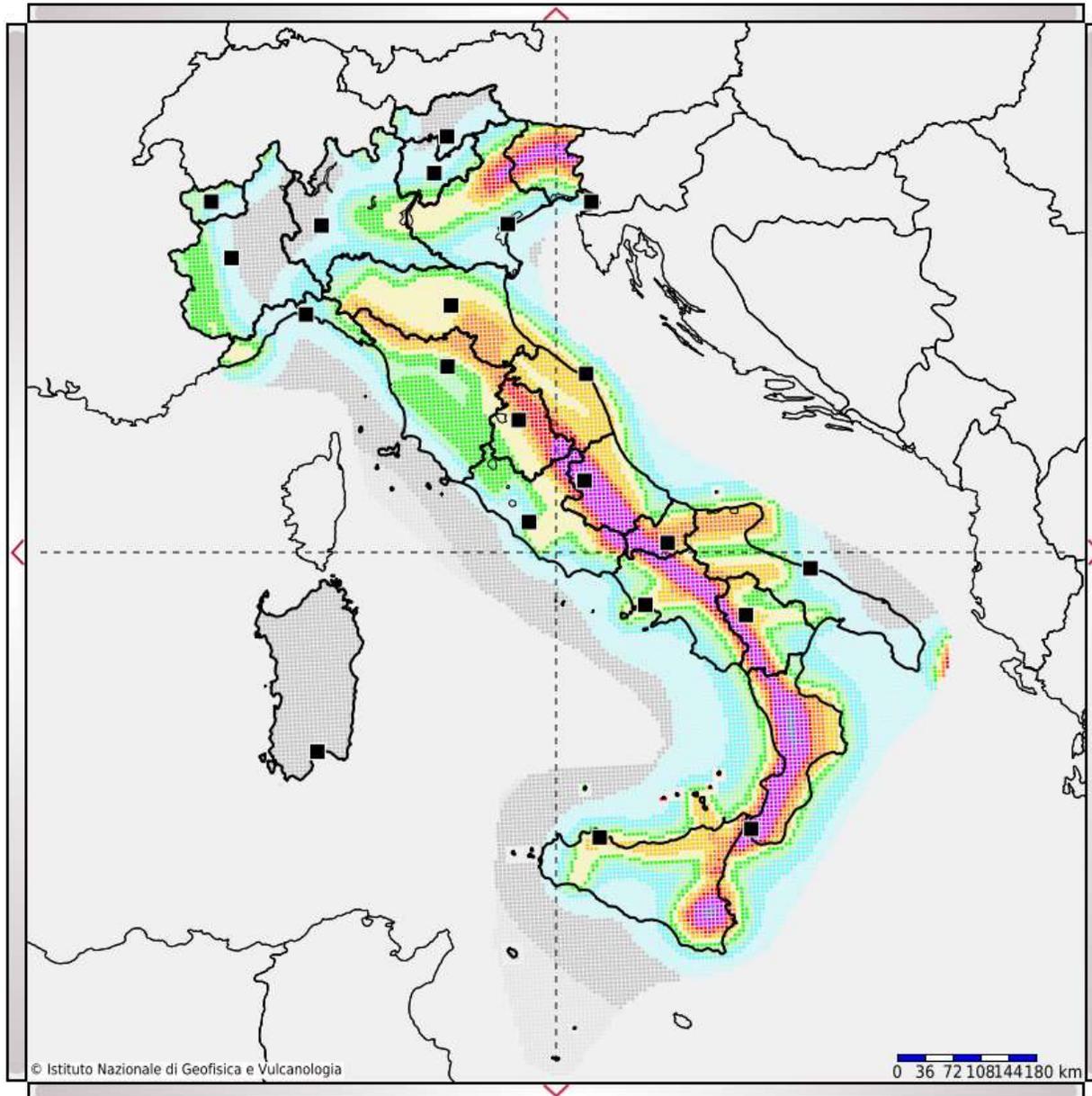
Coordinate del centro della mappa

Lat.:

Long.:

Ricerca Comune

Il nome contiene:



Legenda

| | |
|--|-------------|
| | < 0.025g |
| | 0.025-0.050 |
| | 0.050-0.075 |
| | 0.075-0.100 |
| | 0.100-0.125 |
| | 0.125-0.150 |
| | 0.150-0.175 |
| | 0.175-0.200 |
| | 0.200-0.225 |
| | 0.225-0.250 |
| | 0.250-0.275 |
| | 0.275-0.300 |
| | 0.300-0.350 |
| | 0.350-0.400 |
| | 0.400-0.450 |
| | 0.450-0.500 |
| | 0.500-0.600 |
| | 0.600-0.700 |
| | 0.700-0.800 |
| | 0.800-0.900 |
| | 0.900-1.000 |
| | 1.000-1.250 |
| | 1.250-1.500 |
| | 1.500-1.750 |
| | 1.750-2.000 |

Copyright



Selezione Mappa

Visualizza punti della griglia riferiti a:

Parametro dello scuotimento:

Probabilità in 50 anni:

Percentile:

Periodo spettrale (sec.):

Ridisegna mappa

Navigazione

Scala:
(Valori consentiti: 50.000 - 5.000.000)

Scala:

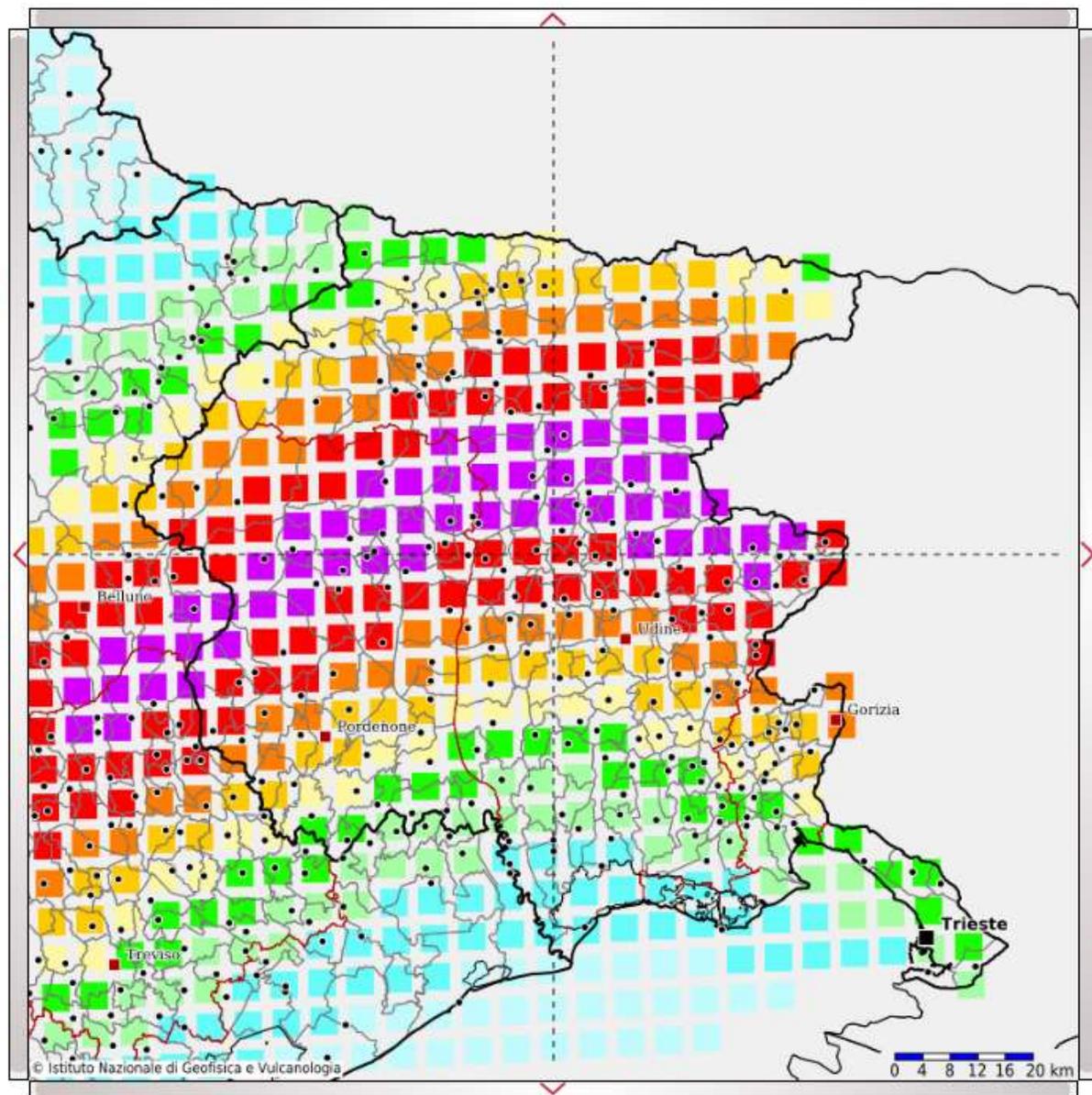
Coordinate del centro della mappa

Lat.:

Long.:

Ricerca Comune

Il nome contiene:



Legenda

| | |
|--|-------------|
| | < 0.025g |
| | 0.025-0.050 |
| | 0.050-0.075 |
| | 0.075-0.100 |
| | 0.100-0.125 |
| | 0.125-0.150 |
| | 0.150-0.175 |
| | 0.175-0.200 |
| | 0.200-0.225 |
| | 0.225-0.250 |
| | 0.250-0.275 |
| | 0.275-0.300 |
| | 0.300-0.350 |
| | 0.350-0.400 |
| | 0.400-0.450 |
| | 0.450-0.500 |
| | 0.500-0.600 |
| | 0.600-0.700 |
| | 0.700-0.800 |
| | 0.800-0.900 |
| | 0.900-1.000 |
| | 1.000-1.250 |
| | 1.250-1.500 |
| | 1.500-1.750 |
| | 1.750-2.000 |

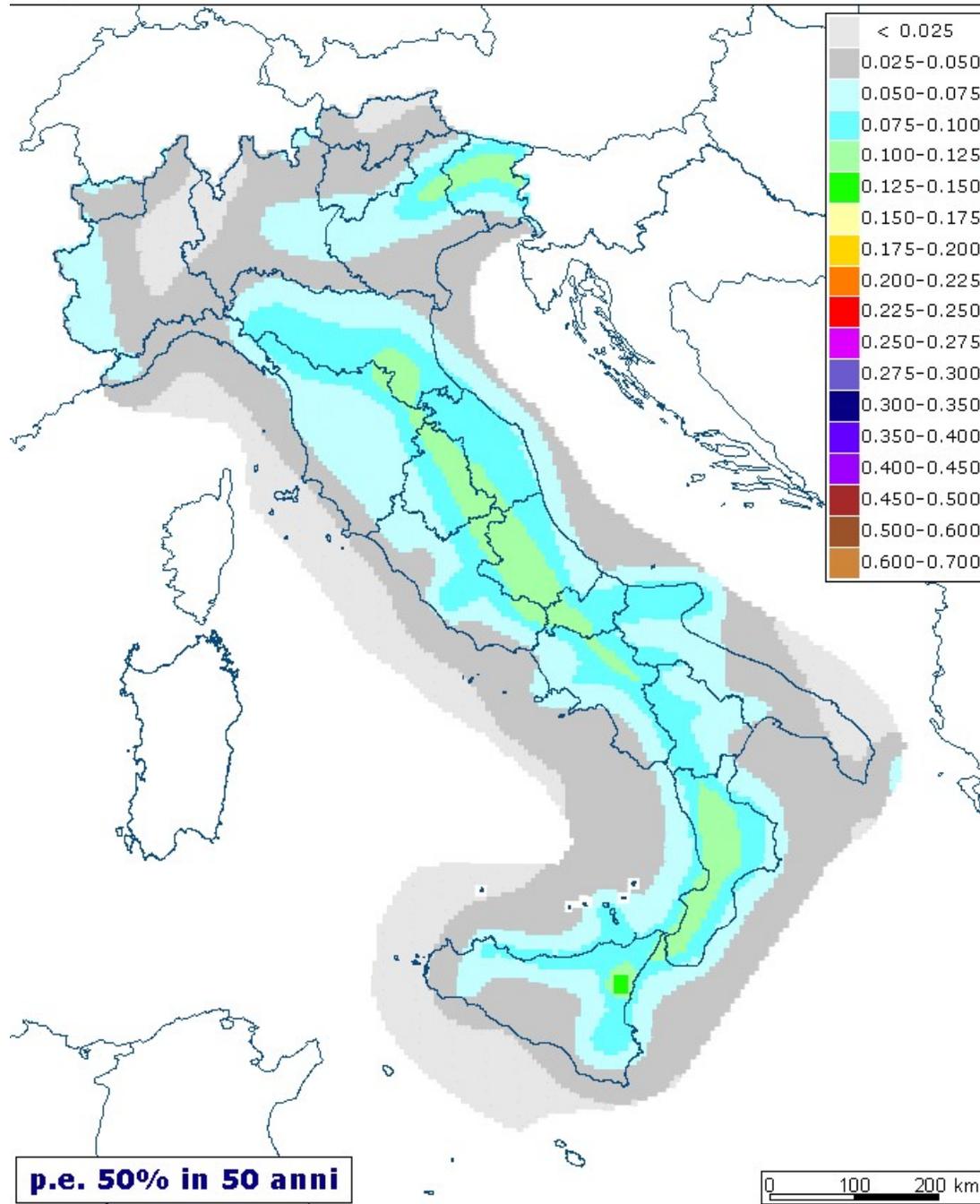
Copyright





**Mappa
relativa alle
PGA con
probabilità
del 50% di
verificarsi nei
50 anni**

$T_R=72$ anni



VALORI DEI PARAMETRI SPETTRALI RELATIVI AI VARI PUNTI DEL TERRITORIO NAZIONALE

I valori si ricavano dal DM 14/01/2008 – Allegato A – Tabella parametri spettrali

| ID | LON | LAT | T _R =30 | | | T _R =50 | | | T _R =72 | | | T _R =101 | | | T _R =140 | | | T _R =201 | | | T _R =475 | | | T _R =975 | | | T _R =2475 | | |
|-------|--------|--------|--------------------|----------------|----------------|--------------------|----------------|----------------|--------------------|----------------|----------------|---------------------|----------------|----------------|---------------------|----------------|----------------|---------------------|----------------|----------------|---------------------|----------------|----------------|---------------------|----------------|----------------|----------------------|----------------|----------------|
| | | | a _g | F _o | T _c | a _g | F _o | T _c | a _g | F _o | T _c | a _g | F _o | T _c | a _g | F _o | T _c | a _g | F _o | T _c | a _g | F _o | T _c | a _g | F _o | T _c | a _g | F _o | T _c |
| 13111 | 6.5448 | 45.134 | 0.263 | 2.50 | 0.18 | 0.340 | 2.51 | 0.21 | 0.394 | 2.55 | 0.22 | 0.469 | 2.49 | 0.24 | 0.545 | 2.50 | 0.24 | 0.640 | 2.49 | 0.25 | 0.943 | 2.44 | 0.27 | 1.267 | 2.42 | 0.27 | 1.767 | 2.43 | 0.29 |
| 13333 | 6.5506 | 45.085 | 0.264 | 2.49 | 0.18 | 0.341 | 2.51 | 0.21 | 0.395 | 2.55 | 0.22 | 0.469 | 2.49 | 0.24 | 0.543 | 2.50 | 0.24 | 0.636 | 2.50 | 0.25 | 0.935 | 2.44 | 0.27 | 1.254 | 2.42 | 0.28 | 1.751 | 2.44 | 0.29 |
| 13555 | 6.5564 | 45.035 | 0.264 | 2.50 | 0.18 | 0.340 | 2.51 | 0.20 | 0.393 | 2.55 | 0.22 | 0.466 | 2.50 | 0.24 | 0.540 | 2.51 | 0.24 | 0.630 | 2.51 | 0.25 | 0.923 | 2.45 | 0.27 | 1.237 | 2.43 | 0.28 | 1.729 | 2.44 | 0.29 |
| 13777 | 6.5621 | 44.985 | 0.263 | 2.50 | 0.18 | 0.338 | 2.52 | 0.20 | 0.391 | 2.55 | 0.22 | 0.462 | 2.51 | 0.24 | 0.535 | 2.51 | 0.24 | 0.621 | 2.52 | 0.25 | 0.909 | 2.46 | 0.27 | 1.217 | 2.44 | 0.28 | 1.703 | 2.44 | 0.29 |
| 12890 | 6.6096 | 45.188 | 0.284 | 2.46 | 0.19 | 0.364 | 2.51 | 0.21 | 0.431 | 2.50 | 0.22 | 0.509 | 2.48 | 0.24 | 0.585 | 2.50 | 0.24 | 0.695 | 2.47 | 0.25 | 1.006 | 2.44 | 0.27 | 1.338 | 2.43 | 0.27 | 1.844 | 2.44 | 0.29 |
| 13112 | 6.6153 | 45.139 | 0.286 | 2.46 | 0.19 | 0.366 | 2.51 | 0.21 | 0.433 | 2.50 | 0.22 | 0.511 | 2.48 | 0.24 | 0.586 | 2.50 | 0.25 | 0.695 | 2.47 | 0.25 | 1.005 | 2.45 | 0.27 | 1.336 | 2.43 | 0.27 | 1.841 | 2.44 | 0.29 |
| 13334 | 6.621 | 45.089 | 0.288 | 2.46 | 0.19 | 0.367 | 2.51 | 0.21 | 0.434 | 2.50 | 0.22 | 0.511 | 2.49 | 0.24 | 0.586 | 2.51 | 0.25 | 0.694 | 2.48 | 0.25 | 1.001 | 2.45 | 0.27 | 1.332 | 2.43 | 0.27 | 1.835 | 2.44 | 0.29 |
| 13556 | 6.6268 | 45.039 | 0.288 | 2.46 | 0.19 | 0.367 | 2.51 | 0.21 | 0.433 | 2.51 | 0.22 | 0.510 | 2.49 | 0.24 | 0.584 | 2.51 | 0.25 | 0.691 | 2.48 | 0.25 | 0.996 | 2.45 | 0.27 | 1.325 | 2.44 | 0.28 | 1.828 | 2.44 | 0.29 |
| 13778 | 6.6325 | 44.989 | 0.288 | 2.46 | 0.19 | 0.366 | 2.52 | 0.21 | 0.430 | 2.51 | 0.22 | 0.507 | 2.50 | 0.24 | 0.580 | 2.51 | 0.25 | 0.686 | 2.49 | 0.25 | 0.989 | 2.45 | 0.27 | 1.318 | 2.44 | 0.28 | 1.819 | 2.44 | 0.29 |
| 14000 | 6.6383 | 44.939 | 0.286 | 2.47 | 0.19 | 0.363 | 2.52 | 0.21 | 0.426 | 2.52 | 0.22 | 0.502 | 2.50 | 0.24 | 0.576 | 2.52 | 0.24 | 0.679 | 2.49 | 0.25 | 0.981 | 2.45 | 0.27 | 1.307 | 2.44 | 0.28 | 1.807 | 2.44 | 0.29 |
| 14222 | 6.6439 | 44.889 | 0.284 | 2.47 | 0.19 | 0.360 | 2.53 | 0.21 | 0.421 | 2.53 | 0.22 | 0.497 | 2.50 | 0.24 | 0.570 | 2.52 | 0.24 | 0.671 | 2.50 | 0.25 | 0.970 | 2.45 | 0.27 | 1.294 | 2.44 | 0.28 | 1.792 | 2.44 | 0.29 |
| 12891 | 6.6803 | 45.192 | 0.306 | 2.43 | 0.20 | 0.389 | 2.50 | 0.21 | 0.467 | 2.47 | 0.23 | 0.544 | 2.49 | 0.23 | 0.625 | 2.50 | 0.25 | 0.736 | 2.47 | 0.26 | 1.049 | 2.46 | 0.27 | 1.374 | 2.46 | 0.28 | 1.875 | 2.46 | 0.29 |
| 10228 | 6.6826 | 45.794 | 0.283 | 2.42 | 0.20 | 0.364 | 2.46 | 0.22 | 0.430 | 2.46 | 0.24 | 0.505 | 2.44 | 0.25 | 0.577 | 2.48 | 0.26 | 0.679 | 2.48 | 0.26 | 0.992 | 2.43 | 0.27 | 1.335 | 2.38 | 0.28 | 1.924 | 2.30 | 0.30 |
| 13113 | 6.686 | 45.143 | 0.309 | 2.43 | 0.20 | 0.391 | 2.51 | 0.21 | 0.470 | 2.47 | 0.23 | 0.546 | 2.49 | 0.23 | 0.627 | 2.50 | 0.25 | 0.737 | 2.48 | 0.26 | 1.048 | 2.46 | 0.27 | 1.373 | 2.46 | 0.28 | 1.873 | 2.46 | 0.29 |
| 10450 | 6.6885 | 45.745 | 0.278 | 2.44 | 0.20 | 0.356 | 2.48 | 0.22 | 0.415 | 2.50 | 0.23 | 0.485 | 2.47 | 0.25 | 0.553 | 2.49 | 0.26 | 0.639 | 2.50 | 0.27 | 0.913 | 2.49 | 0.28 | 1.242 | 2.37 | 0.29 | 1.742 | 2.33 | 0.30 |
| 13335 | 6.6915 | 45.093 | 0.310 | 2.43 | 0.20 | 0.392 | 2.51 | 0.21 | 0.470 | 2.48 | 0.23 | 0.546 | 2.50 | 0.23 | 0.626 | 2.51 | 0.25 | 0.736 | 2.48 | 0.26 | 1.046 | 2.46 | 0.27 | 1.370 | 2.46 | 0.28 | 1.870 | 2.46 | 0.29 |
| 10672 | 6.6942 | 45.695 | 0.275 | 2.45 | 0.20 | 0.351 | 2.49 | 0.21 | 0.406 | 2.52 | 0.23 | 0.475 | 2.49 | 0.25 | 0.541 | 2.52 | 0.25 | 0.618 | 2.53 | 0.26 | 0.862 | 2.54 | 0.28 | 1.125 | 2.54 | 0.29 | 1.543 | 2.55 | 0.30 |
| 13557 | 6.6973 | 45.043 | 0.311 | 2.44 | 0.20 | 0.392 | 2.52 | 0.21 | 0.469 | 2.48 | 0.23 | 0.545 | 2.50 | 0.23 | 0.624 | 2.51 | 0.25 | 0.733 | 2.48 | 0.26 | 1.042 | 2.46 | 0.27 | 1.366 | 2.46 | 0.28 | 1.866 | 2.46 | 0.29 |
| 13779 | 6.7029 | 44.993 | 0.310 | 2.44 | 0.20 | 0.391 | 2.52 | 0.21 | 0.467 | 2.48 | 0.23 | 0.543 | 2.50 | 0.23 | 0.621 | 2.51 | 0.25 | 0.730 | 2.49 | 0.26 | 1.038 | 2.46 | 0.27 | 1.363 | 2.45 | 0.28 | 1.863 | 2.46 | 0.29 |
| 14001 | 6.7086 | 44.943 | 0.309 | 2.44 | 0.20 | 0.389 | 2.52 | 0.21 | 0.464 | 2.49 | 0.23 | 0.540 | 2.50 | 0.24 | 0.616 | 2.52 | 0.25 | 0.726 | 2.49 | 0.26 | 1.033 | 2.46 | 0.27 | 1.358 | 2.45 | 0.28 | 1.860 | 2.46 | 0.29 |
| 14223 | 6.7142 | 44.893 | 0.307 | 2.45 | 0.20 | 0.386 | 2.52 | 0.21 | 0.460 | 2.49 | 0.23 | 0.536 | 2.51 | 0.23 | 0.611 | 2.52 | 0.25 | 0.721 | 2.49 | 0.26 | 1.027 | 2.46 | 0.27 | 1.353 | 2.45 | 0.28 | 1.854 | 2.45 | 0.29 |
| 14445 | 6.7198 | 44.843 | 0.305 | 2.45 | 0.20 | 0.383 | 2.53 | 0.21 | 0.456 | 2.50 | 0.22 | 0.531 | 2.51 | 0.24 | 0.605 | 2.52 | 0.25 | 0.715 | 2.49 | 0.26 | 1.021 | 2.46 | 0.27 | 1.347 | 2.45 | 0.28 | 1.848 | 2.45 | 0.29 |
| 9785 | 6.7426 | 45.898 | 0.315 | 2.37 | 0.20 | 0.409 | 2.41 | 0.22 | 0.500 | 2.37 | 0.24 | 0.585 | 2.44 | 0.25 | 0.690 | 2.40 | 0.26 | 0.814 | 2.40 | 0.26 | 1.190 | 2.37 | 0.27 | 1.587 | 2.34 | 0.28 | 2.281 | 2.26 | 0.30 |
| 12670 | 6.7452 | 45.246 | 0.323 | 2.44 | 0.20 | 0.412 | 2.49 | 0.22 | 0.496 | 2.46 | 0.23 | 0.573 | 2.49 | 0.24 | 0.664 | 2.48 | 0.25 | 0.773 | 2.48 | 0.26 | 1.092 | 2.46 | 0.27 | 1.414 | 2.47 | 0.28 | 1.910 | 2.48 | 0.29 |
| 10007 | 6.7482 | 45.848 | 0.306 | 2.39 | 0.20 | 0.394 | 2.45 | 0.22 | 0.479 | 2.39 | 0.24 | 0.561 | 2.44 | 0.25 | 0.655 | 2.46 | 0.26 | 0.774 | 2.44 | 0.26 | 1.141 | 2.39 | 0.27 | 1.530 | 2.35 | 0.28 | 2.211 | 2.27 | 0.30 |