

LE STRUTTURE ED IL LORO COMPORTAMENTO SISMICO: PREVENZIONE E SICUREZZA

17 Novembre 2016 – Sala AGORA' – Bologna

Roberto Nascimbene
Pavia
roberto.nascimbene@eucentre.it

Inquadramento generale

- Evoluzione della normativa sismica e dei principali eventi sismici sul territorio nazionale; analisi dei principali danni subiti dagli edifici in funzione del contesto storico/normativo.
- Normativa prestazionale; NTC 2008; metodi prestazionali di progetto, gerarchia delle resistenze; concetti di duttilità, resistenza, rigidità e dissipazione; analisi delle strutture dal punto di vista sismico.
- Sistemi di sicurezza da impiegare sulle strutture; prevenzione mediante sistemi di adeguamento/miglioramento.

Prestazione.....e norme !!

Le Norme possono essere divise, per grandi linee, in quattro classi a seconda della natura delle indicazioni in esse contenute.

Norme di **I generazione** (fino al 1960): norme puramente prescrittive;

Norme di **II generazione** (dal 1960 al 1980): norme prestazionali a singolo livello;

Norme di **III generazione** (dal 1980 al 2000): norme prestazionali a doppio livello;

Norme di **IV generazione** (successive al 2000): norme prestazionali multilivello.

L'**approccio prestazionale multilivello** rappresenta la naturale evoluzione della filosofia di progetto agli stati limite e scaturisce dalla necessità di definire, accanto agli stati limite di danno ed ultimo, una soglia di danneggiamento ammissibile anche per livelli intermedi dell'intensità sismica, in modo da combinare considerazioni di carattere economico a quelle di sicurezza e salvaguardia delle vite umane.

Regio Decreto del 10 gennaio 1907, emanato dall'allora Ministro competente le "Norme e condizioni per i materiali agglomerati idraulici e per le opere in cemento armato".

Evoluzione della zonazione sismica: nazionale



28-12-1908 ore 4:20:27 Terremoto di XI grado (**MCS**) a Reggio Calabria e Messina → 80.000 morti e 600 miliardi di lire di danni !!

Normativa tecnica di edilizia sismica + Classificazione del territorio = Riduzione del rischio sismico

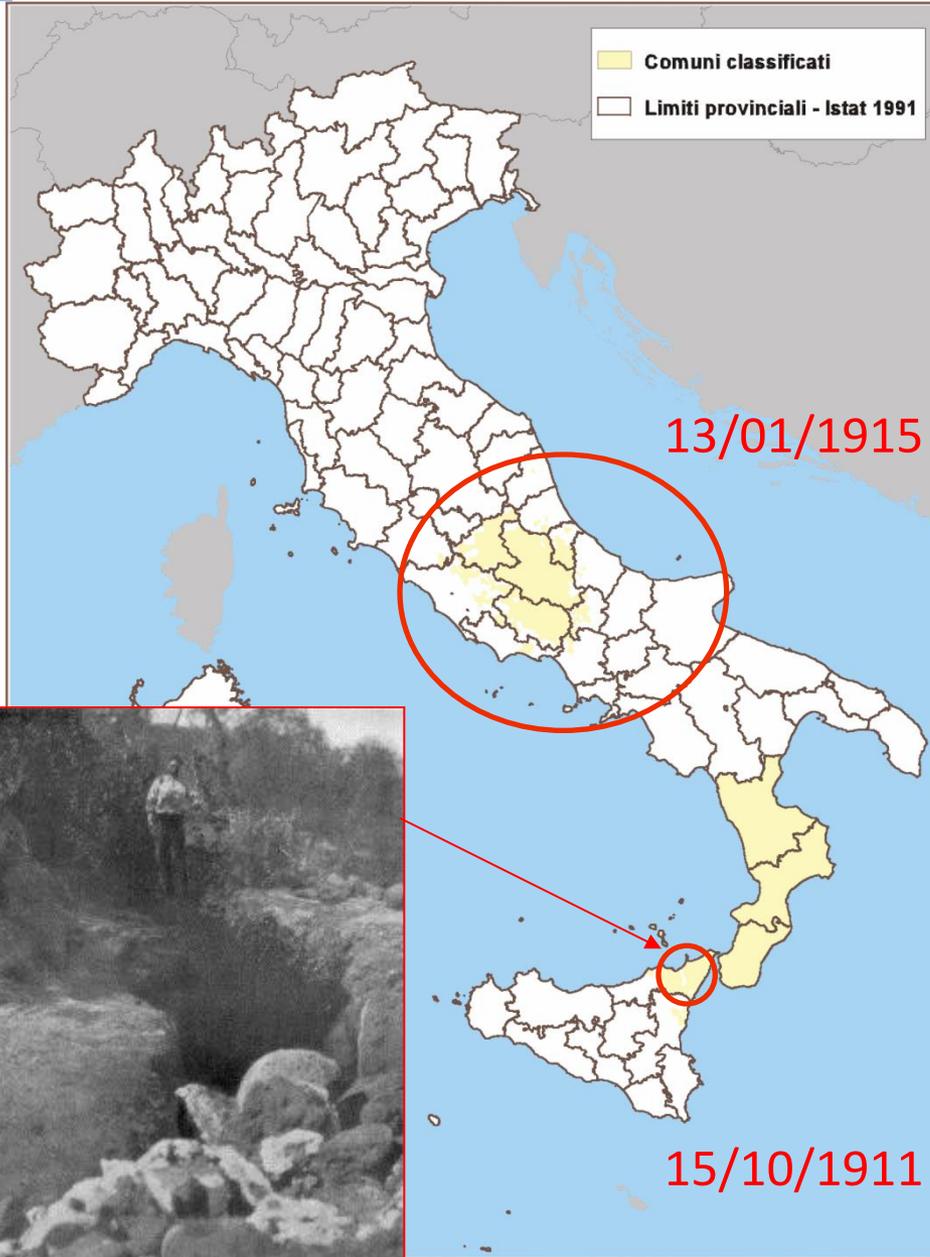
Cosa si emanò:

-Il **Regio Decreto 18-04-1909 n.193** contenente le norme tecniche obbligatorie per le riparazioni, ricostruzioni e nuove costruzioni degli edifici pubblici e privati e l'elenco dei Comuni sottoposti all'osservanza di dette norme.

-Il **Regio Decreto 15-07-1909 n.542** che inserisce nuovi Comuni negli elenchi.

- Escludevano la possibilità di edificare su siti inadatti (paludosi, franosi);
- Imponevano il rispetto di dettagliate regole costruttive (cordoli, sbalzi);
- Limitavano l'altezza degli edifici e il numero dei piani (a seconda delle tecnologie);
- Prescrivevano di adottare forze statiche orizzontali e verticali proporzionali ai pesi;
- Definiscono la larghezza minima delle strade e degli spazi tra gli edifici.

Evoluzione della zonazione sismica: nazionale



1915 l'Italia entra in guerra:

- 15-10-1911 terremoto in area etna (X MCS);

“Maggiori danni a Giarre. I danni più gravi sono stati registrati a Fondo Macchia, Baglio, Rondinella e Mangano, dove si è verificato il completo collasso di molte strutture. Il terremoto ha causato circa un centinaio di feriti, provocando una temporanea crisi nell'economia della regione.” **[Corriere]**

- 13-01-1915 terremoto nella Marsica (XI MCS)

→ 30000 morti !!

Cosa si emanò:

-Inserimento di nuovi comuni nelle liste;
-Aggiornamento della normativa tecnica.

FAGLIA NORTH ANATOLIAN

Faulting at Golcuk Naval Base (offset of about 2 m)
(Terremoto in Turcchia del 17 Agosto 1999 - Ms=7.4)



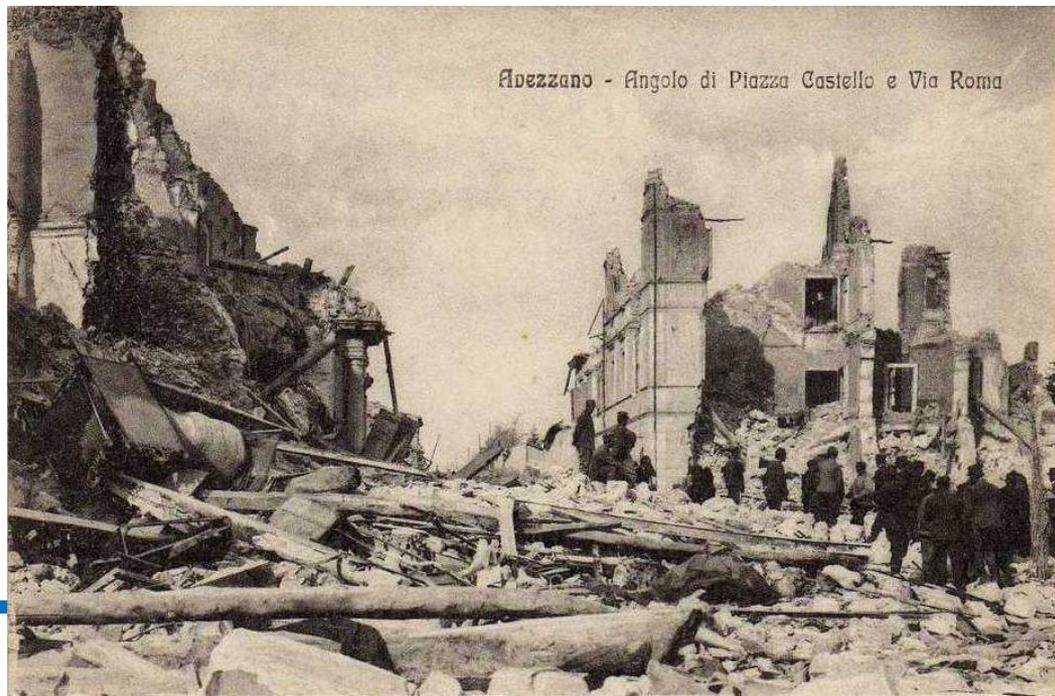
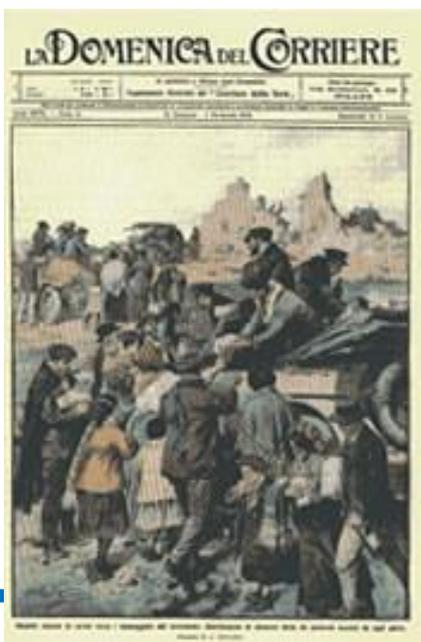




CHIESA DI S. MARIA PRIMA DEL TERREMOTO DEL 1915



CHIESA DI S. MARIA DOPO IL TERREMOTO DEL 1915

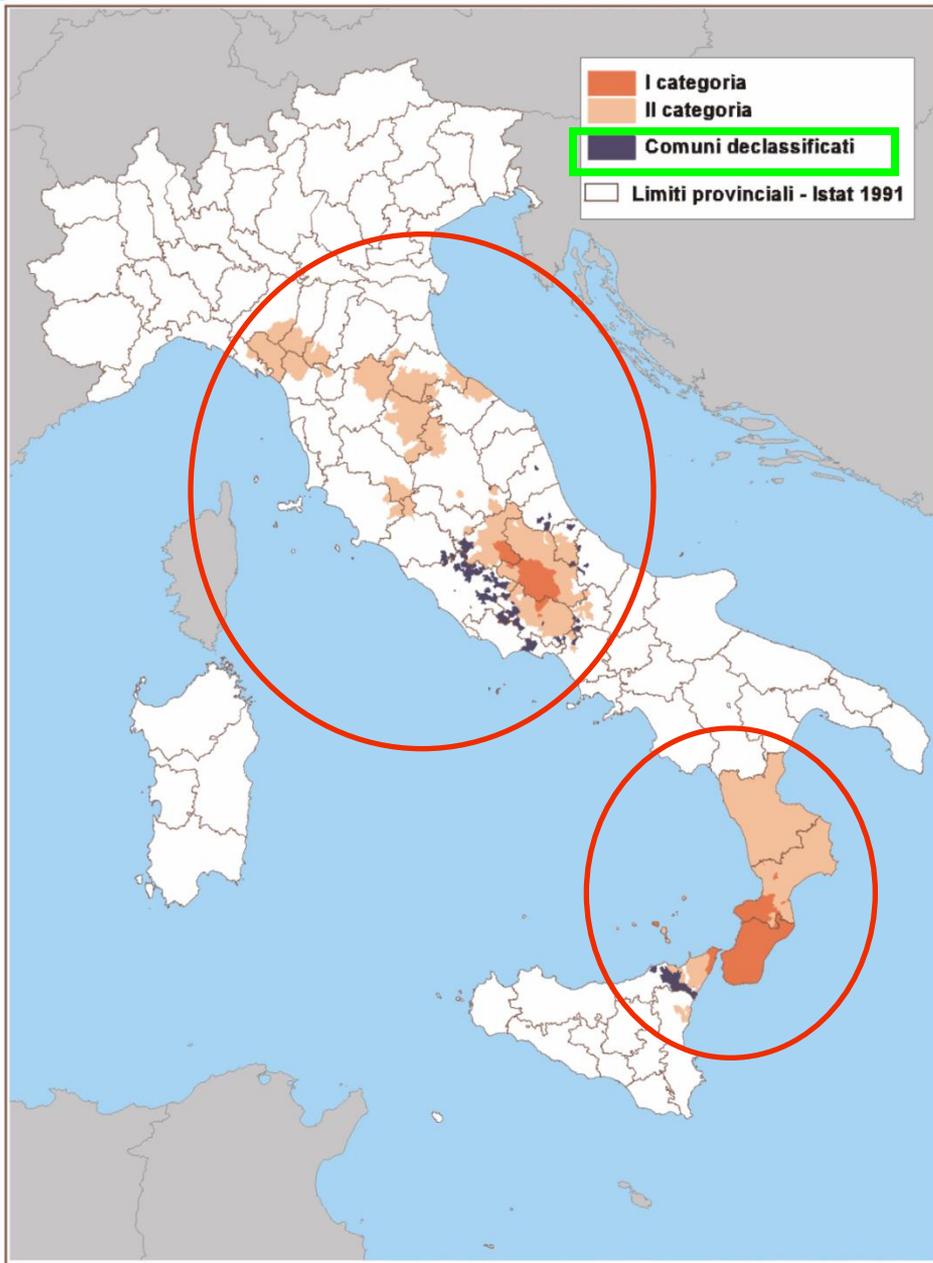


Aiezzano - Angolo di Piazza Castello e Via Roma

Evoluzione della zonazione sismica: nazionale



Evoluzione della zonazione sismica: nazionale



1919 inizia il primo dopoguerra:

- 17-05-1916 Alto Adriatico (VIII)
- 16-08-1916 Riminese (VIII)
- 26-04-1917 Val Tiberina (IX-X)
- 10-11-1918 Appenn. Romagnolo (VIII)
- 16-08-1919 Mugello (IX)
- 10-09-1919 Toscana merid. (VIII)
- 7-09-1920 Garfagnana (X)



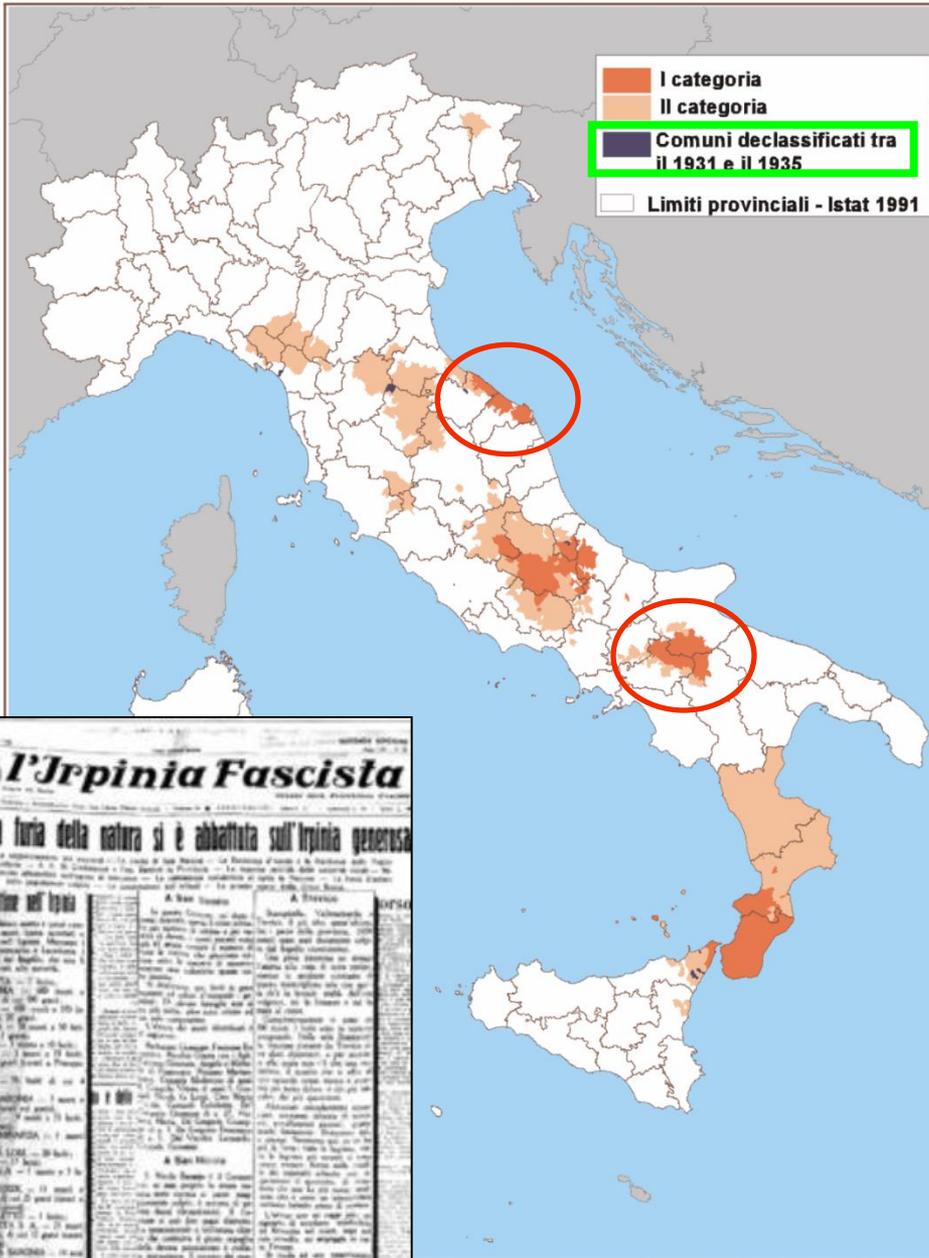
Cosa si emanò:

- Il **D.L. 1526 del 1916** che quantifica le forze sismiche e la loro distribuzione lungo l'altezza dell'edificio. (Le **azioni statiche**, dovute al peso proprio ed al sovraccarico, aumentate del 50% in modo da simulare l'effetto delle vibrazioni sussultorie (incremento di forze verticali); le **azioni dinamiche** dovute al moto sismico ondulatorio, simulate con accelerazioni applicate orizzontalmente alle masse del fabbricato nelle due direzioni (forze orizzontali).

-Il **Regio Decreto n.2089 del 1924**: stabilisce che le forze sismiche orizzontali e verticali non agiscono contemporaneamente ed impone la progettazione da parte di un ingegnere o architetto.

- Il **Regio Decreto n.431 del 1927**: introdusse **due categorie** sismiche (la I° e la II°) a differente pericolosità.

Evoluzione della zonazione sismica: nazionale



Tra il 1930 e il 1935:

- 23-07-1930 Irpinia (X)
- 30-10-1930 Marche settentrionali (VIII-IX)
- 19-02-1932 Monte Baldo (VIII)
- 26-09-1933 Maiella (IX)

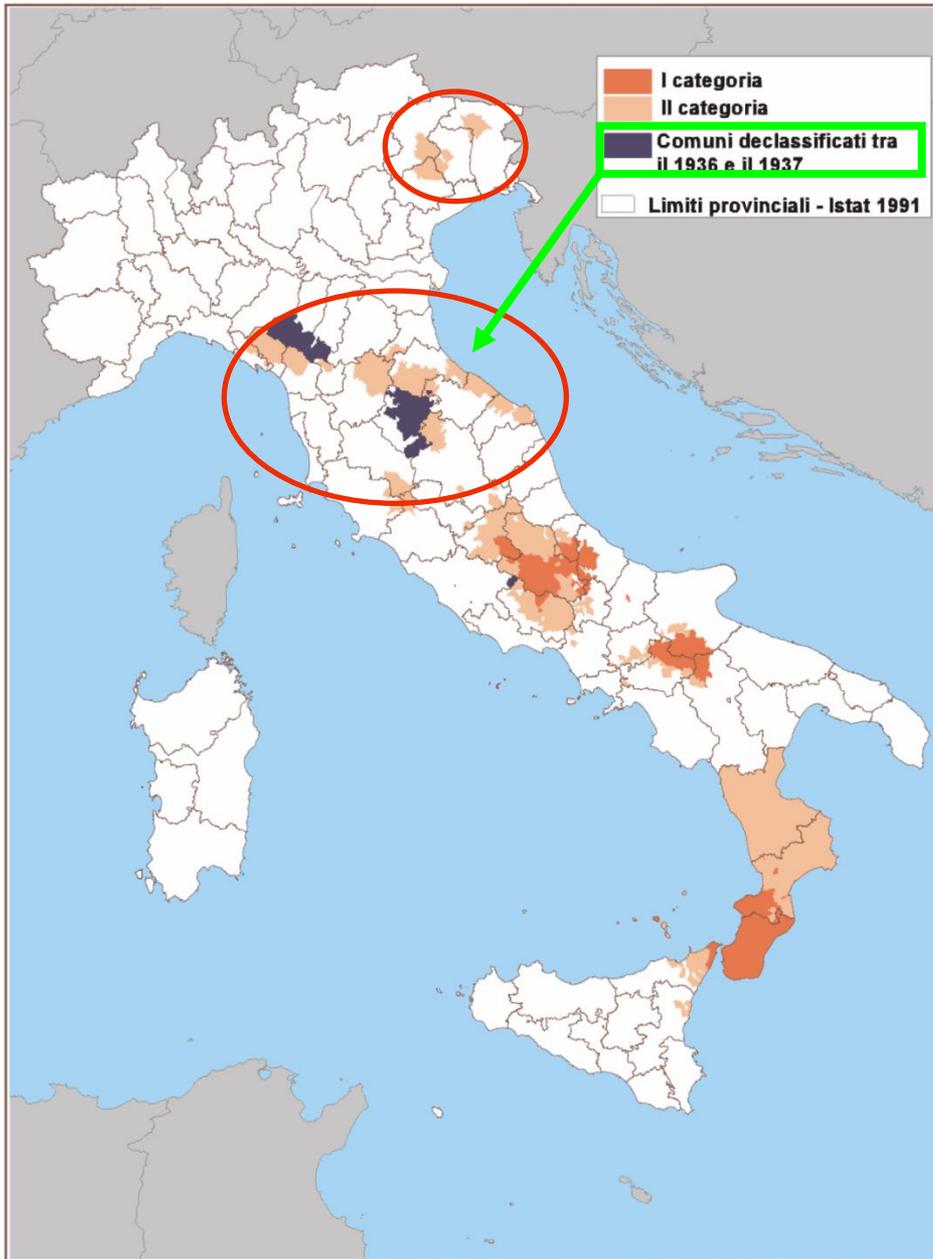


Cosa si emanò:

- Con il **Regio Decreto n.640 del 1935** ci fu un deciso passo avanti con l'emanazione di specifiche direttive tecniche e con l'obbligo per i Comuni di approntare propri **regolamenti edilizi**:

1. Limitazione delle altezze degli edifici in funzione della larghezza delle strade;
2. Innalzamento delle altezze massime permesse in funzione delle tecnologie costruttive;
3. Dimensionamento delle strutture in cemento armato;
4. Variazione dell'entità delle forze sismiche globali (coefficiente di riduzione dei sovraccarichi).

Evoluzione della zonazione sismica: nazionale



Tra il 1935 e il 1937:

- 18-10-1936 Alpage-Cansiglio (IX)

Cosa si emanò:

- Con il **Regio Decreto n.2125 del 22-11-1937** vennero definite le norme del buon costruire anche per i Comuni non classificati.

- Le norme nei Comuni classificati non si discostano sostanzialmente da quelle del 1935.



Evoluzione della zonazione sismica: nazionale

Tranne l'inclusione nelle liste dei Comuni delle province di Ascoli Piceno e Teramo conseguente al sisma del 03-10-43. **Si declassifica!!**

la richiesta si basa sulla considerazione che i danni prodotti in quella zona dal terremoto del 1915 furono minimi ed imputabili, più che altro, alla cattiva costruzione delle case, e che, d'altra parte, l'assoggettamento a tali norme costituisce un notevole intralcio allo sviluppo di quella zona eminentemente turistica; ... (Terminillo 1938)

... e che, d'altra parte, l'assoggettamento delle norme del decreto citato costituisce un notevole intralcio allo sviluppo edilizio di quella zona, di cui vari centri sono importanti stazioni balneari... (Provincia di Pesaro Urbino 1941)

... e che d'altra parte l'assoggettamento a tali norme sismiche costituisce un notevole intralcio alla costruzione di nuovi fabbricati e anche alla ricostruzione di quelli distrutti dalla guerra in un momento in cui maggiormente è sentito il bisogno di nuovi alloggi;... (Vittorio Veneto 1947)

Tra il 1937 e il 1948 dal fascismo alla fine della II guerra mondiale:

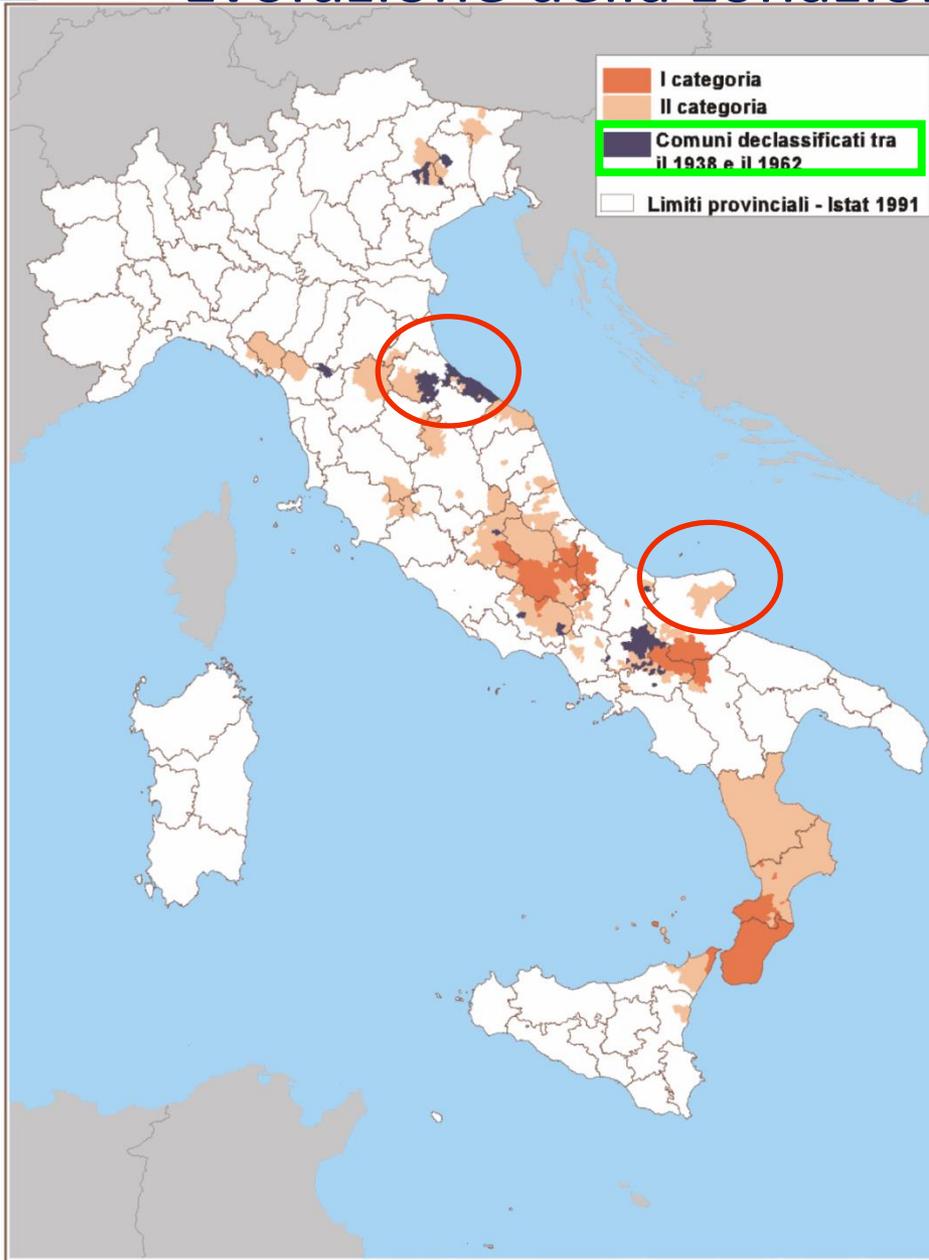
- 15-01-1940 Golfo di Palermo (VIII)
- 03-10-1943 Marche meridionali e Abruzzo (IX)
- 11-05-1947 Calabria Centrale (IX)

Cosa si emanò:

- Continuano ad essere in vigore le norme del **Regio Decreto n.2125 del 22-11-1937** senza modifiche.

Successivamente, con Regio Decreto n. 2229 del 16 novembre 1939, vennero emanate le **“Norme per la esecuzione delle opere in conglomerato cementizio semplice od armato”**.
Con detto decreto veniva imposto il controllo e l'approvazione dei calcoli statici e del progetto da parte dei **Geni Civili e delle Prefetture**.

Evoluzione della zonazione sismica: nazionale



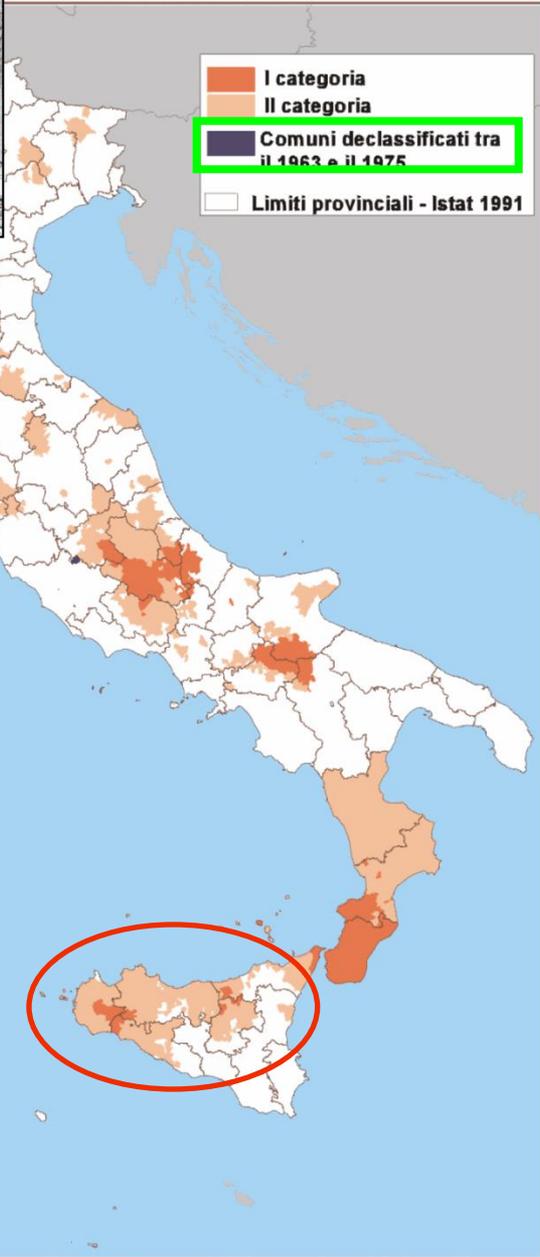
Tra il 1948 nascita Repubblica e il 1962:

- 26-04-1959 Carnia (VIII)
- 31-10-1961 Valle del Velino (VII)
- 21-08-1962 Irpinia (IX)



Cosa si emanò:

- La **Legge n.1684 del 25-11-1962** non apportò sostanziali modifiche e le strutture venivano ancora calcolate per forze statiche orizzontali.



Tra il 1962 e il 1975:

- 31-10-1967 Monti Nebrodi (VIII)
- 15-01-1968 Valle del Belice (X)
- 06-02-1971 Tuscania (VIII-IX)

Anni 70 decentramento amministrativo alle regioni anche per le competenze in materia urbanistica.

La **legge n.64 del 2.2.1974** stabilisce il nuovo quadro di riferimento per la normativa tecnica ed in particolare quella sismica:

1. per seguire meglio il progredire delle conoscenze **si demanda a decreti ministeriali dei LL.PP. (e non più leggi!)** l'aggiornamento della normativa tecnica;
2. si stabiliscono esattamente i campi in cui tali decreti dovranno essere emanati (edifici, ponti, dighe,...);
3. anche per la classificazione viene stabilita una procedura analoga;
4. la classificazione sismica del territorio italiano doveva procedere **sulla base di comprovate motivazioni tecnico scientifiche.**

Nuovi criteri geotecnici per le opere di fondazione (in riferimento alla circolare Min. LL.PP. 3797 del 1967).

Nuovi limiti per le altezze massime ed il numero di piani (per edifici in muratura, a pannelli portanti od in legno), altezza illimitata per le costruzioni in cemento armato o acciaio.

Possibilità di eseguire analisi sismica statica o dinamica. Nuovi coefficienti di proporzionalità e di distribuzione delle forze sismiche, e nuovi coefficienti di riduzione dei sovraccarichi.

Progetti e calcoli devono essere firmati da professionisti a seconda delle proprie competenze.

Concomitante emanazione delle norme per il cemento armato (normale e precompresso) e per l'acciaio.

Settimanale L'Unità - N. 16 - 1974

PER DIPENDERE LE ISTITUZIONI REPUBBLICANE: INCHIESTA PARLAMENTARE

Affannosi tentativi del governo per arginare la portata delle rivelazioni sul Luglio 1964

L'Unità

TERREMOTO IN SICILIA: 500 morti? Interi paesi non esistono più E' STATA UNA STRAGE

500 quintali di generi alimentari sottratti dalla Cooperativa

Con legge n. 1086 del 5 novembre 1971 “**Nuova norma tecnica sulle opere in cemento armato, cemento armato precompresso ed acciaio**”, vennero inseriti aspetti fortemente innovativi quali: il fattore probabilistico per la sicurezza delle opere; l’obbligatorietà del riscontro delle caratteristiche meccaniche; la possibilità che la verifica della sicurezza, oltre che con i **metodi elastici**, fosse fatta anche con l’utilizzazione del **calcolo a rottura**.

Alla fine degli anni 70 si avvertì la necessità di razionalizzare la zonazione sismica del territorio nazionale.

COME?

Il progetto **Finalizzato Geodinamica (PFG)** del CNR nel **1979** realizzò le carte di scuotibilità del territorio italiano sulle quali, per quantificare il livello di esposizione del paese al terremoto, venivano valutati tre parametri:

1. Massima intensità macrosismica per ciascun sito (periodo di osservazione dal 1000 d.c. all’attuale);
2. L’intensità osservata all’interno di un periodo di tempo (per valori assegnati di 50,100,200,500 e 1000 anni);
3. Il valore del coefficiente C utilizzato nella normativa sismica per la verifica progettuale delle costruzioni.

QUINDI?

Evoluzione della zonazione sismica: nazionale

Tra il 1976 e il 1984:

- 06-05-1976 Friuli (X)
- 15-09-1976 Friuli (VIII-IX)
- 11-03-1978 Calabria meridionale (VIII)
- 15-04-1978 Golfo di Patti (VIII)
- 19-09-1979 Valnerina (VIII-IX)
- 23-11-1980 Irpinia Basilicata (X)

Con il **Decreto Ministeriale del 03-06-1981 n.515** viene introdotta la zona sismica di **terza categoria** (a minor sismicità rispetto alle altre) e per essa vengono fissati i corrispondenti limiti e coefficienti in accordo con la legge del 1975.

Coefficiente sismico:

C= 0.1	I categoria (1975)
C= 0.07	II categoria (1975)
C= 0.04	III categoria (1981)

Con il **Decreto Ministeriale del 19-06-1984**, tra l'altro si introduceva la differenziazione del livello di protezione sismica per particolari categorie di edifici (opere strategiche - carichi sismici + 40% e opere a particolare rischio d'uso - carichi sismici +20%).

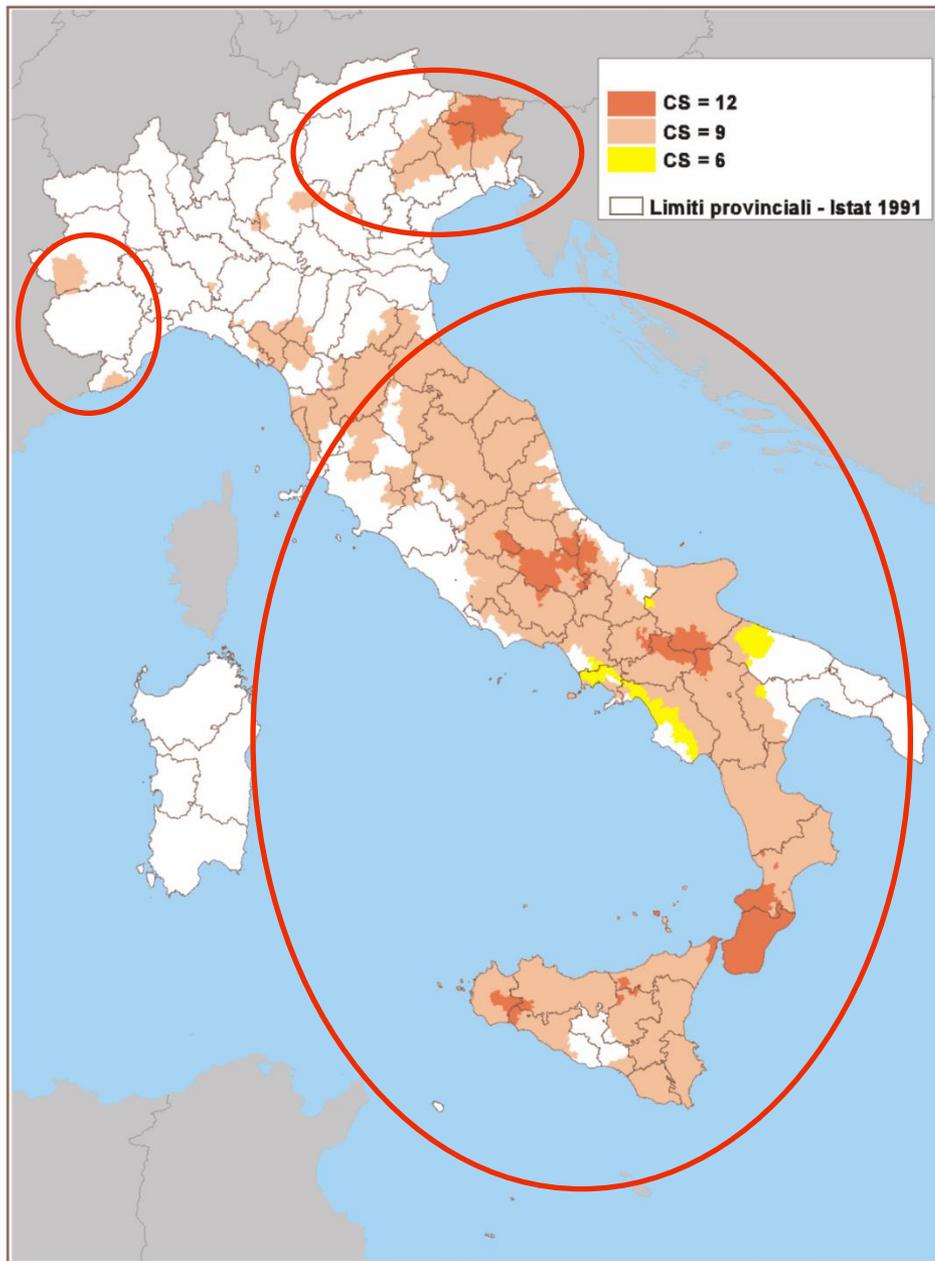
FRIULI , 1976, M = 6.5, 922 VITTIME



IRPINIA E BASILICATA, 1980, M = 6.9, 2800 VITTIME



Evoluzione della zonazione sismica: nazionale



Fu istituita presso il Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici la [Commissione per la Riclassificazione Sismica](#). COSA FECE?

COSA FECE?

Per poter trasferire i risultati delle carte di scuotibilità in una proposta di riclassificazione del territorio, la commissione definì un metodo di scelta dei valori di soglia da assegnare a ciascuno dei tre parametri descritti in precedenza (che portasse a risultati in qualche modo rapportabili con la distribuzione della classificazione già in vigore), e di iscrivere negli elenchi di classificazione tutti quei comuni che superavano la soglia prefissata perlomeno per uno dei tre parametri e ..

Utilizzando questi criteri, (validi per tutto il territorio nazionale) il Ministero dei LL.PP. tra il 1979 e il 1984 ha emanato una serie di decreti (di concerto con il Ministero per l'Interno sentite le Regioni interessate) con i quali sono stati [ridisegnati i limiti della classificazione sismica](#).

Evoluzione della zonazione sismica: nazionale

Da qui come è evoluta la situazione?

Il **DM 16-01-96** introduce alcune modifiche rispetto alle precedenti norme sismiche:

1. Non si fa più riferimento al numero di piani di un edificio ma alla sua altezza massima;
2. Anche nelle zone sismiche è possibile adottare il metodo di verifica agli stati limite oltre quello delle tensioni ammissibili;
3. Vengono limitati i danneggiamenti alle parti non strutturali ed agli impianti attraverso il controllo degli spostamenti.

La **Circolare n. 65/AA.GG. del 10.04.1997** richiama in vari punti le specifiche riportate nell'Eurocodice EC8.

UMBRIA E MARCHE, 1997 M = 5.9, 11 VITTIME



MOLISE, 2002 M = 5.6, 34 VITTIME (31 Ottobre 2002)



CRONOLOGIA

20 marzo 2003 Ordinanza PCM 3274.

OPCM

Evoluzione normativa

CRONOLOGIA

1. **20 marzo 2003 Ordinanza PCM 3274.**
2. Roma, 17 aprile 2003: relazione.
3. Mappe regionali della nuova classificazione dal sito del SSN.
4. Nota esplicativa dell'Ufficio Servizio Sismico Nazionale (4 giugno 2003).
5. **Errata Corrigé (Ordinanza 3316 del 2 ottobre 2003).**
6. Decreto 21 ottobre 2003.
7. Normative regionali di recepimento.
8. Documenti di studio del Consiglio superiore LL.PP.
9. **Ordinanza PCM n° 3333 del 23 gennaio 2004.**
10. Costituzione della Commissione per la redazione del "Testo Unico della Normativa Tecnica".
11. Costituzione del Gruppo di Lavoro per l'aggiornamento della 3274.
12. Convenzione tra ANIDIS e Dipartimento Protezione Civile.
13. Nuova nota esplicativa dell'Ufficio Sismico nazionale (29 marzo 2004).
14. Nuova mappa di pericolosità sismica del territorio italiano.
15. **Decreto-Legge 28 Maggio 2004 n°136.**
16. **Proposte di modifica all.2 e 3 Ordinanza 3274 (settembre 2004).**
17. **L'ordinanza 3379 di proroga dell'entrata in vigore della 3274.**
18. Conclusione dei lavori del "tavolo tecnico ristretto delle Regioni".
19. **"Modifiche ed integrazioni alla normativa tecnica per le costruzioni in zona sismica di cui all'OPCM 3274/2003". Comunicazione alla regione Abruzzo da parte della Protezione Civile.**
20. Conferenza dei Presidenti delle Regioni e delle Province Autonome del 3 febbraio 2005
21. Riunione tecnica del 17 marzo 2005
22. **Ordinanza di proroga 3431 (fino all'8/8/05)**
23. Riunione tecnica di Conferenza Unificata del 19 luglio 2005
24. Conferenza delle Regioni e delle Province autonome - Riunione della Commissione Ambiente e Protezione Civile del 26 Luglio 2005
25. **Ordinanza di proroga 3452**
26. **Ordinanza 3519 (28 aprile 2006)**
27. **Decreto 14/01/2008 del Ministero delle Infrastrutture (GU n.29 del 04/02/2008)**

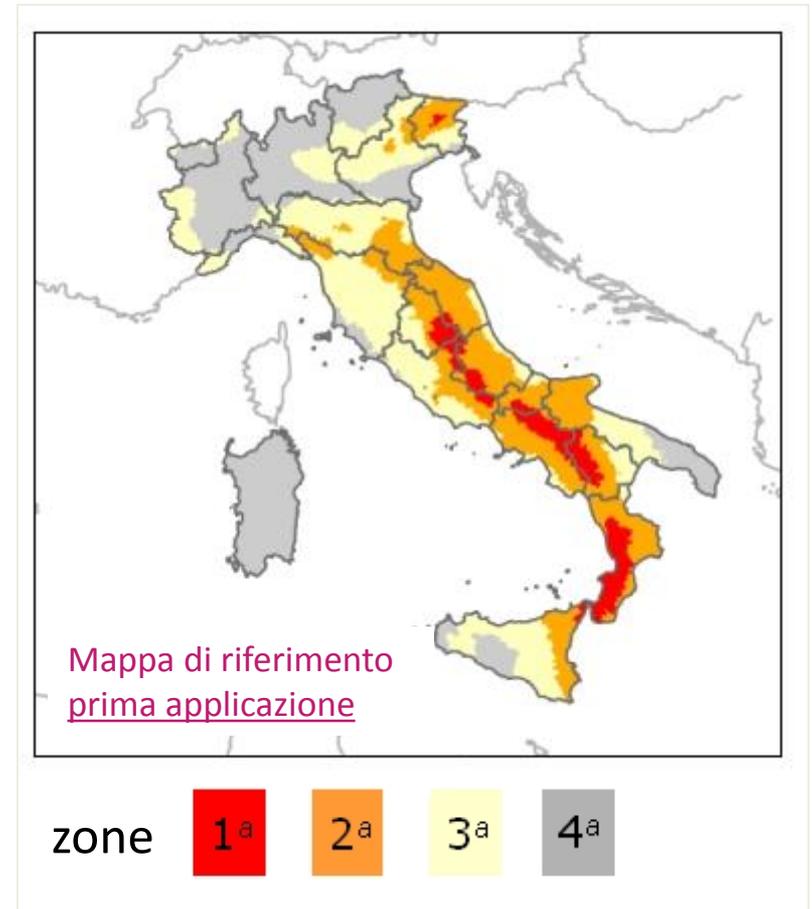
Evoluzione della zonazione sismica: nazionale

Pericolosità sismica a scala nazionale

probabilità di superamento di 0.10 in
50 anni (= periodo di ritorno 475 anni)

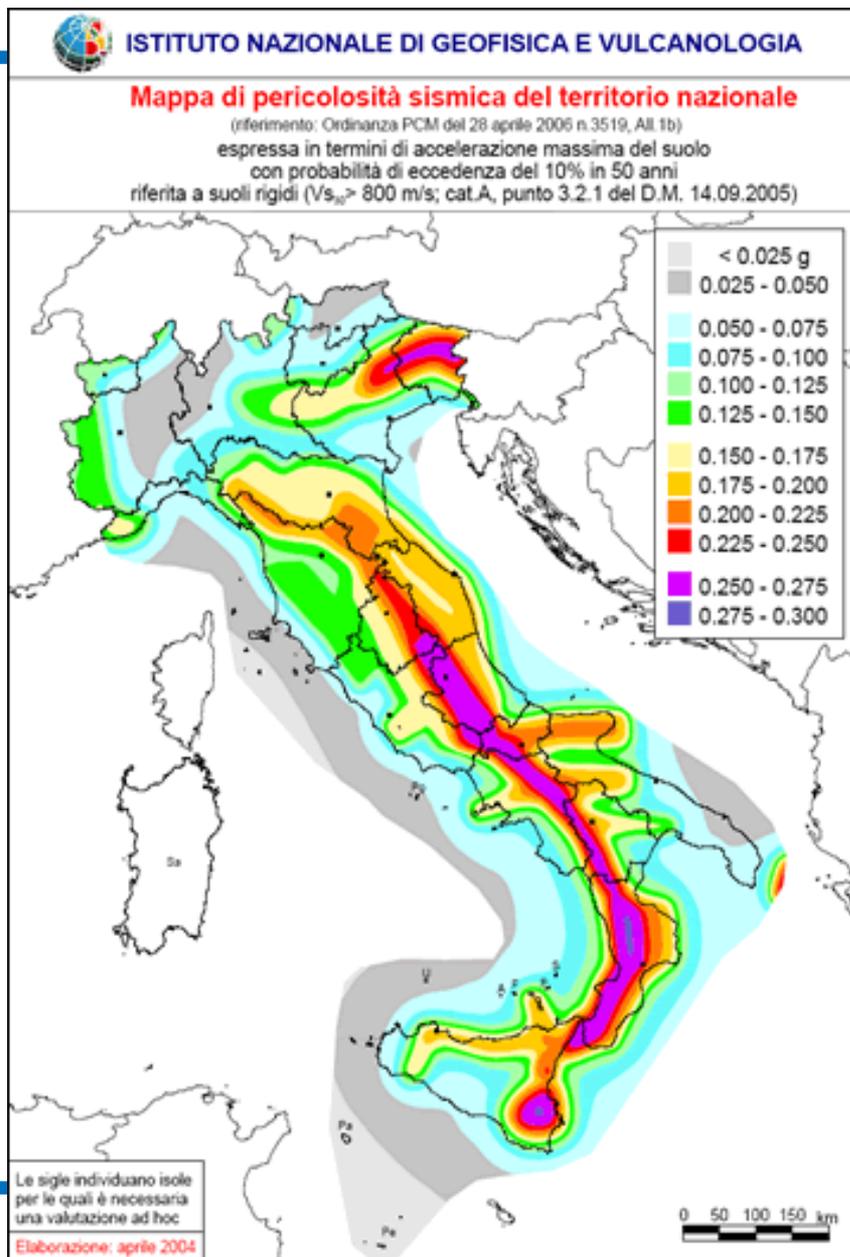


ZONA	a_g
1	0.35g
2	0.25g
3	0.15g
4	0.05g



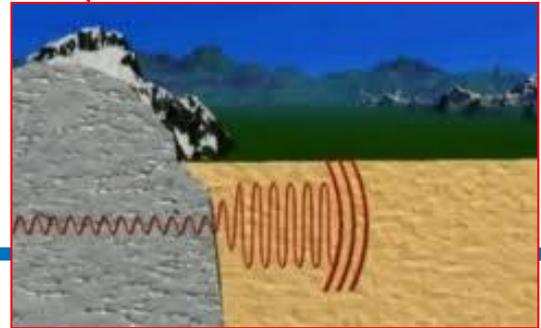
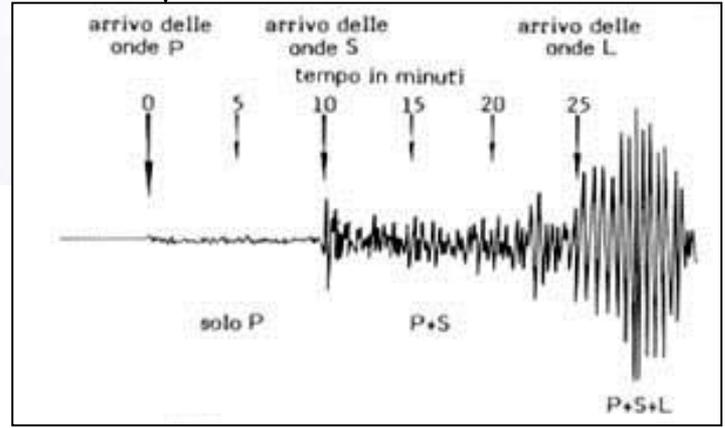
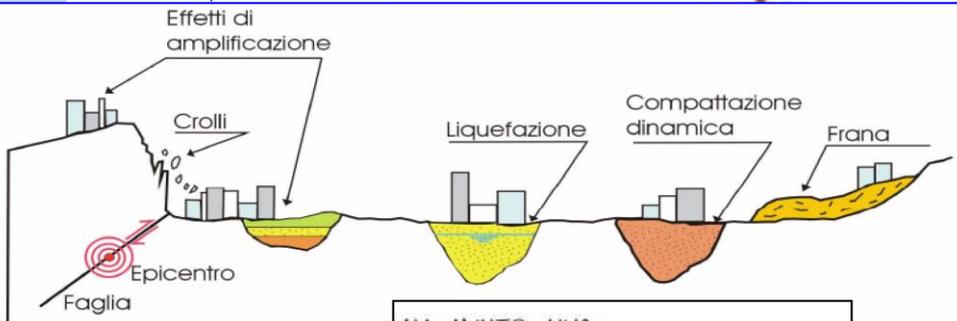
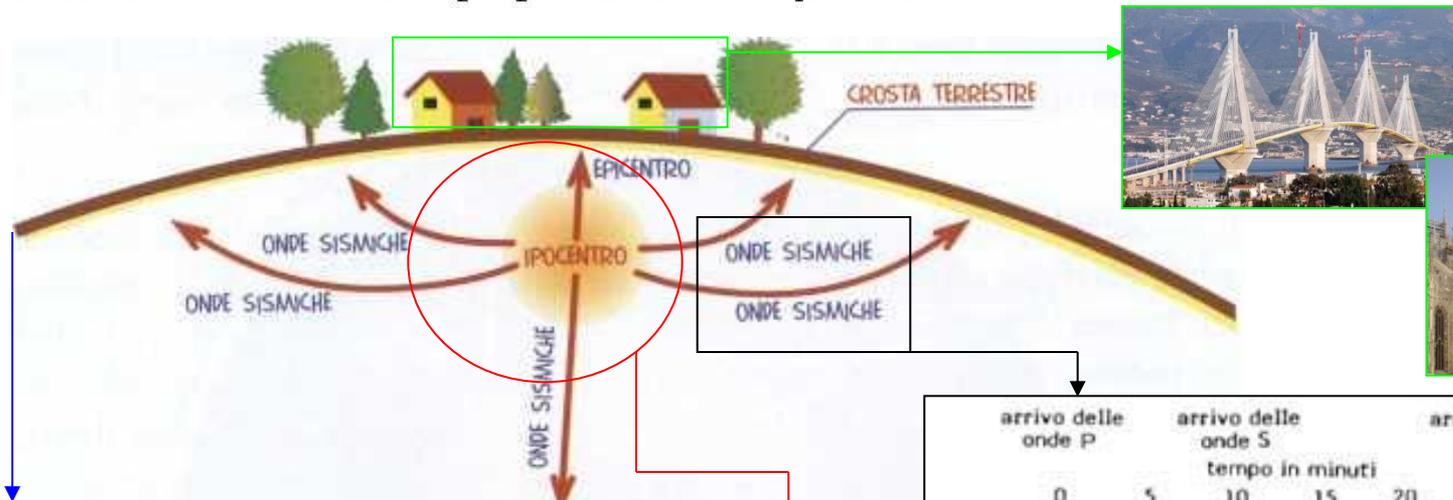
(dal sito dell'INGV <http://zonesismiche.mi.ingv.it/>)

Evoluzione della zonazione sismica: nazionale



Inquadramento generale: filosofia prestazionale

229. Qualora un costruttore costruisca una casa per qualcuno, e non la costruisca debitamente e la casa che costruì cada ed uccida il proprietario, allora quel costruttore sarà messo a morte.



Analisi sismica completa: equazione generale

Punto 7.3.4.2

DM. 14/01/2008

L'analisi non lineare dinamica consiste nel calcolo della risposta sismica della struttura mediante integrazione delle equazioni del moto, utilizzando un modello non lineare della struttura e gli accelerogrammi definiti al § 3.2.3.6. Essa ha lo scopo di valutare il comportamento dinamico della struttura in campo non lineare,

ACCELERAZIONE OUTPUT

VELOCITA'

SPOSTAMENTO

ACCELEROGRAMMA

(periodo, spettro di risposta, suolo)

IRREGOLARITA'

$$M\ddot{U} + C\dot{U} + K(U)U = -MR\ddot{x}_g$$

MASSA

RIGIDEZZA
(smorzamento isteretico – legame del materiale)

CURVA DI CAPACITA'

SMORZAMENTO VISCOSO

MODI DI VIBRARE

$$M\ddot{U} + C\dot{U} + K(U)U = -MR\ddot{x}_g$$

Masse strutturali



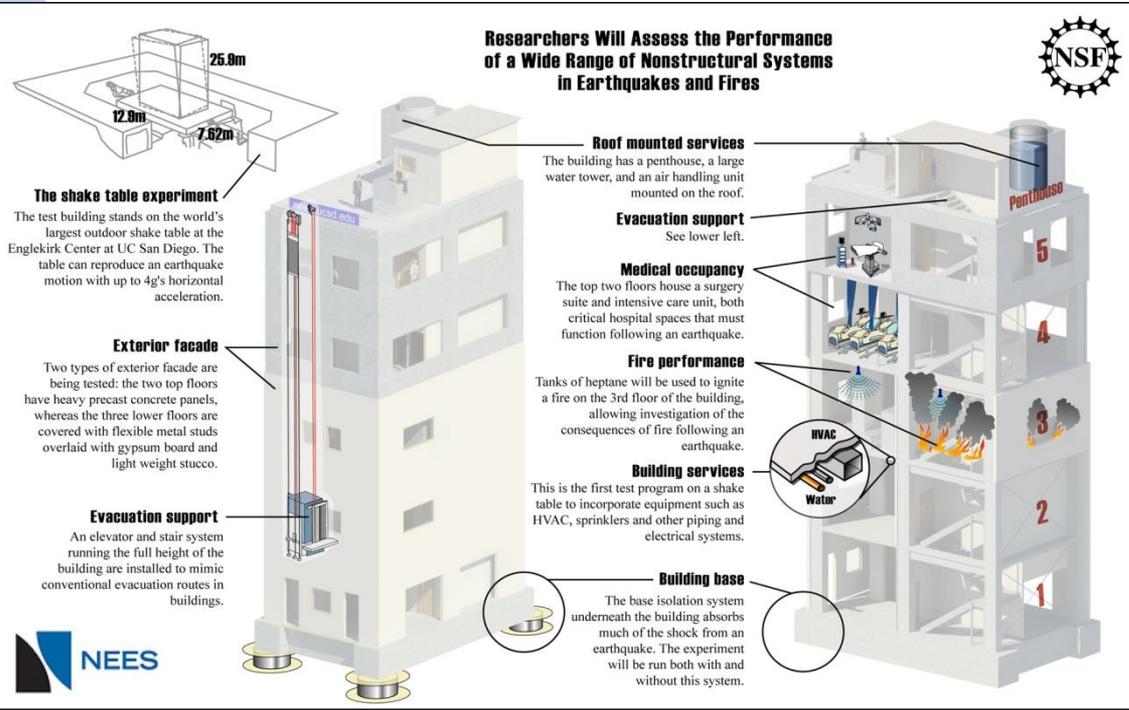
$$M\ddot{U} + C\dot{U} + K(U)U = -MR\ddot{x}_g$$

Masse strutturali

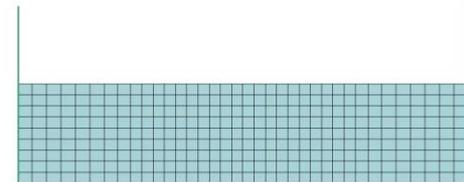


$$M\ddot{U} + C\dot{U} + K(U)U = -MR\ddot{x}_g$$

Masse non strutturali



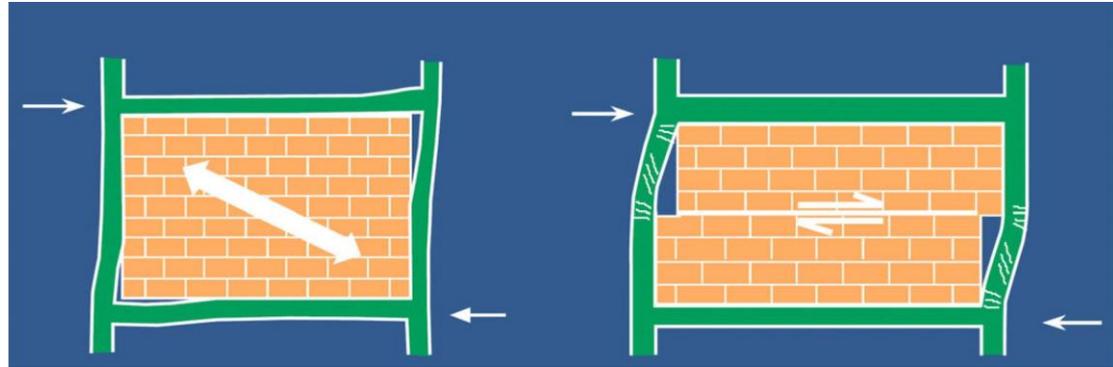
LS-DYNA keyword deck by LS-Prepost
Time = 0



z
x

$$M\ddot{U} + C\dot{U} + K(U)U = -MR\ddot{x}_g$$

Masse non strutturali



$$M\ddot{U} + C\dot{U} + K(U)U = -MR\ddot{x}_g$$

Rigidezza: come risponde la struttura?

STRUTTURA
RIGIDA

Arena di Verona



Tende a spostarsi con il terreno

STRUTTURA
FLESSIBILE

CN Tower - Toronto



Tende a deformarsi molto
rispetto al terreno

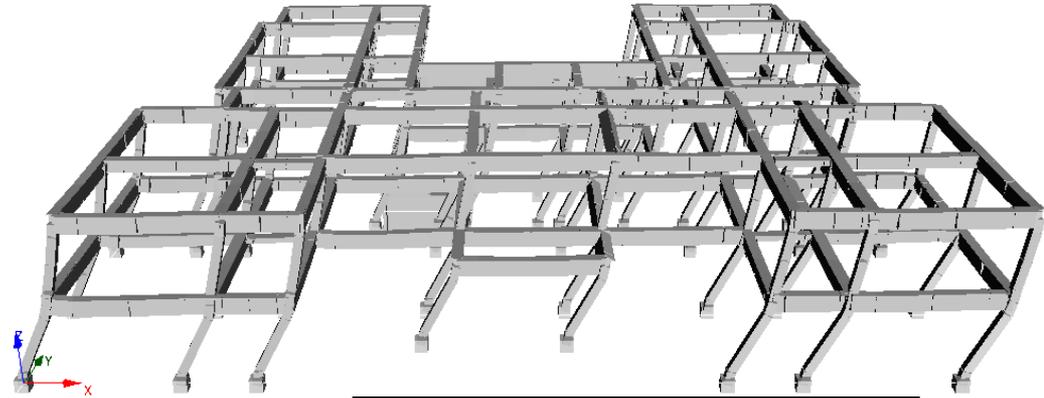
$M\ddot{U} + C\dot{U} + K(U)U = -MR\ddot{x}_g$ Rigidezza: particolari costruttivi?



Cemento armato ordinario



Izmit earthquake (Turkey), 19th August 1999



Modello a fibre

Loma Prieta earthquake (USA), 17th October 1999, San Francisco



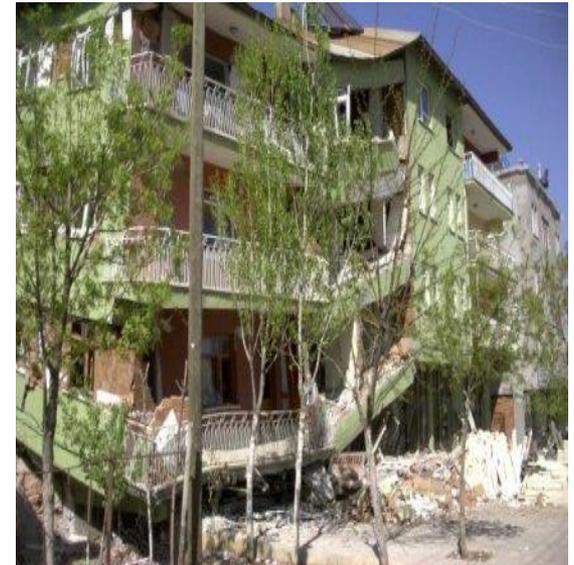
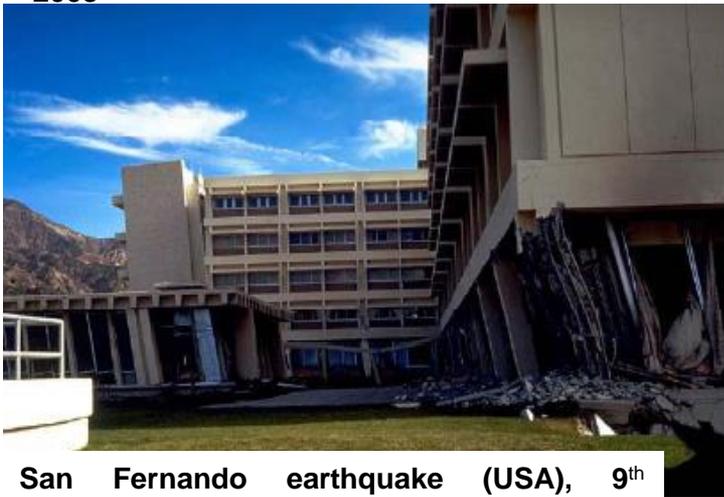
Cemento armato ordinario



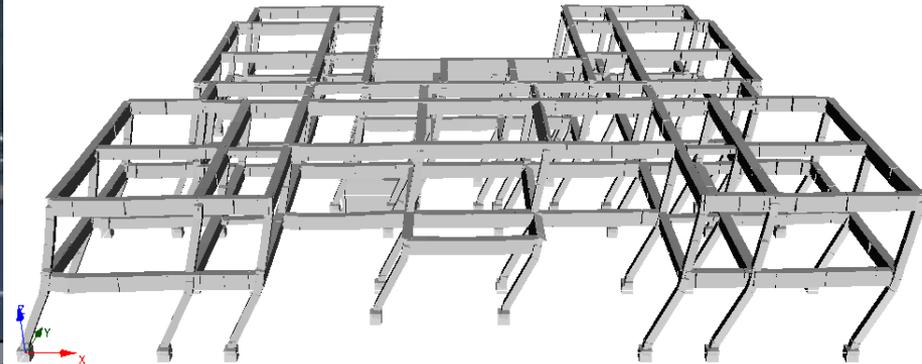
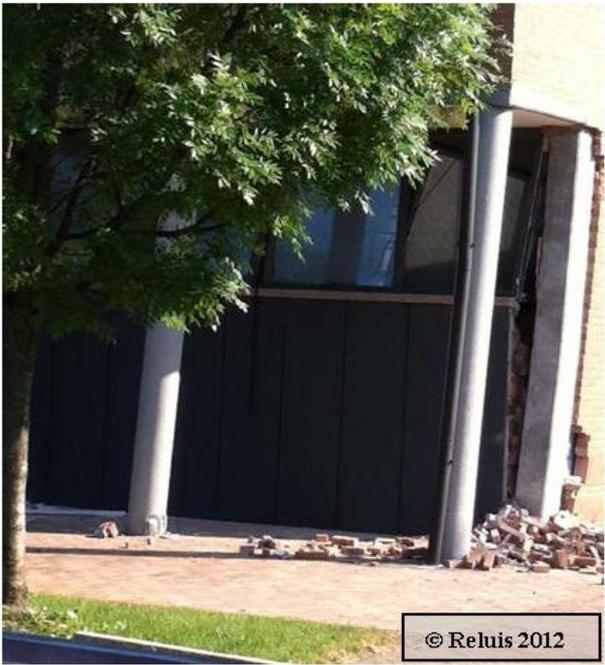
Boumerdes earthquake (Algeria), 21st May 2003



Bingol earthquake (Turkey), 1st May 2003



San Fernando earthquake (USA), 9th February 1971 (Olive View Hospital)



Grandi strutture



Kobe earthquake, 2005

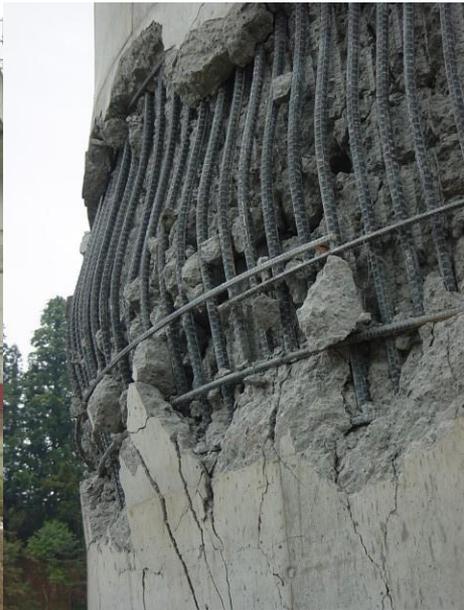
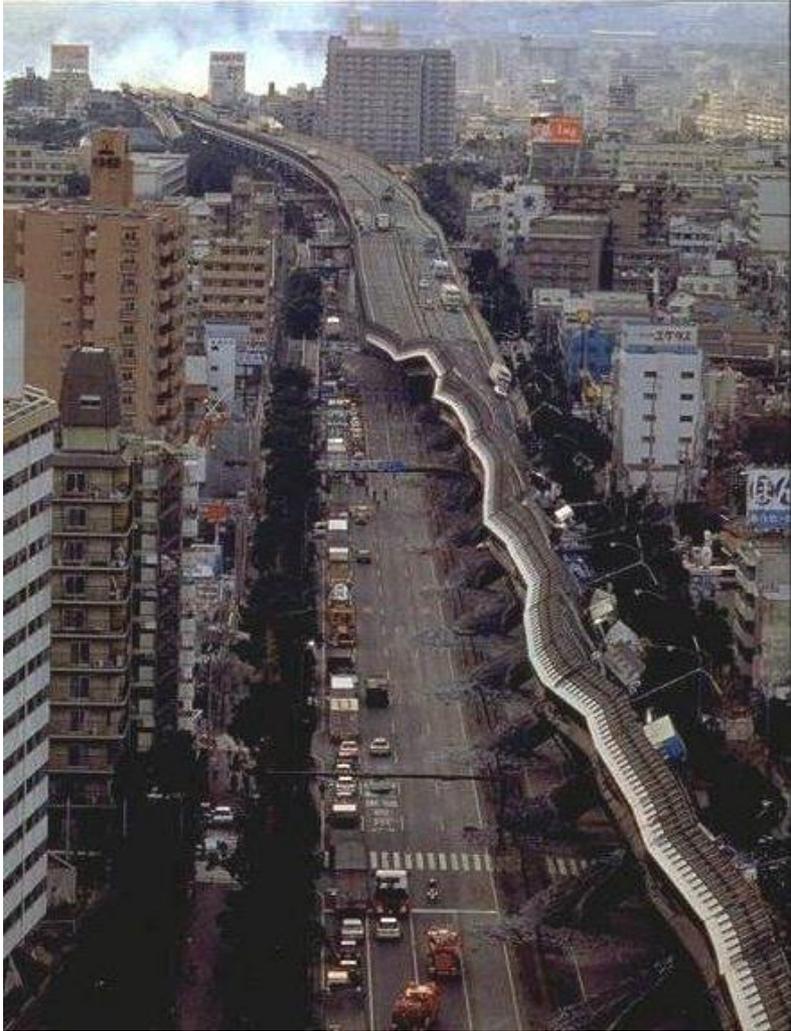








Figura 2 ➤ Perdita di appoggio della trave principale a sezione variabile in un edificio monopiano prefabbricato con trave principale trasversale di non recente costruzione a causa della crisi a taglio del pilastro di appoggio, reso tozzo dalla configurazione del pannello di tamponatura



D. Lgs. 81/2008 e s.m.i. riguarda la responsabilità del titolare dell'attività produttiva in merito alla sicurezza strutturale dei luoghi di lavoro.

Art. 17, c. 1: *“Il datore di lavoro deve effettuare la valutazione di TUTTI i rischi”*

Art. 29, c. 3: *“la valutazione dei rischi deve essere immediatamente rielaborata...a seguito di infortuni significativi (lavoratori morti sotto i crolli...). A seguito di tale rielaborazione... il documento di valutazione dei rischi deve essere rielaborato...nel termine di 30 giorni dalle rispettive causali”.*

Art. 63, comma 1

“I luoghi di lavoro devono essere conformi ai requisiti indicati nell'Allegato IV”

Allegato IV, punto 1.1.1

“Gli edifici che ospitano i luoghi di lavoro o qualunque altra opera e struttura presente nel luogo di lavoro devono essere stabili e possedere una solidità che corrisponda al loro tipo d'impiego ed alle caratteristiche ambientali (quindi anche il SISMA)”.

Art. 64 comma 1, lettera c)

“Il datore di lavoro provvede affinché i luoghi di lavoro ...vengano sottoposti a regolare manutenzione tecnica e vengano eliminati, quanto più rapidamente possibile, i difetti rilevati che possano pregiudicare la sicurezza e la salute dei lavoratori



ZONA MILITARE
LIMITE
INVOLABILE