

Corso di Laurea in Ingegneria Edile-Architettura

Progetto di costruzioni in zona sismica
A.A. 2024/2025

03 – OBIETTIVI DELLA PROGETTAZIONE ANTISISMICA E NORMATIVA

Edoardo M. Marino, Università degli Studi di Catania

Progettazione antisismica

Terremoti con basso periodo di ritorno

Poiché questi avvengono con frequenza, è importante evitare danni eccessivi ed interruzioni troppo lunghe dell'uso

(l'entità del danno tollerabile dipende dall'importanza dell'edificio)

D

Terremoti con alto periodo di ritorno

Non è economico progettare la struttura in modo da evitare danni – l'importante è che non crolli

C1

Bisogna garantire maggior sicurezza a strutture "importanti" (per la protezione civile, ecc.)

C2

Progettazione antisismica

Terremoti con basso periodo di ritorno



Terremoti con alto periodo di ritorno



Più in generale:

Bisogna imporre alla struttura «prestazioni» diverse in funzione del periodo di ritorno del terremoto e dell'importanza dell'edificio



Eventi sismici, classificazione sismica e normativa

La normativa sismica si è evoluta nel tempo, quasi sempre con nuove norme emesse subito dopo un forte evento sismico

Evento sismico



Nuova classificazione delle zone sismiche



Nuova norme sismiche

Prime norme sismiche in Italia

Fine '700 ed '800:

Norme che fornivano prescrizioni costruttive e limitazioni all'altezza degli edifici

C1

Problematica

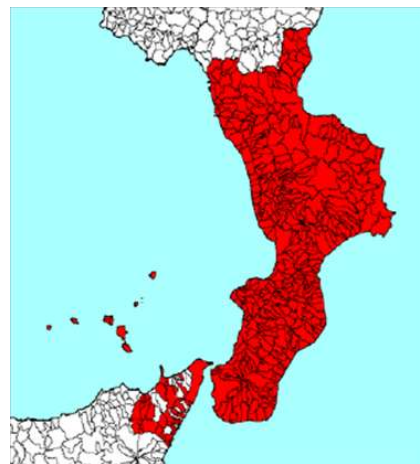
Per terremoti con alto periodo di ritorno non è economico progettare la struttura in modo da evitare danni – l'importante è che non crolli

Classificazione sismica e normativa: 1909

Terremoto: Messina (1908)
80000 morti e 600 miliardi di lire (di allora) di danni



Regio Decreto n. 193/1909
Regio Decreto n. 542/1909



Classificazione sismica e normativa: 1909

Terremoto: Messina (1908)
80000 morti e 600 miliardi di lire (di allora) di danni



R.D. 18 aprile 1909, n.193

Impone di tener conto, nei calcoli di resistenza delle costruzioni, di “azioni dinamiche dovute al moto sismico ondulatorio, rappresentandole con accelerazioni applicate alle masse del fabbricato”.

Le accelerazioni vanno ridotte rispetto alle massime previste.

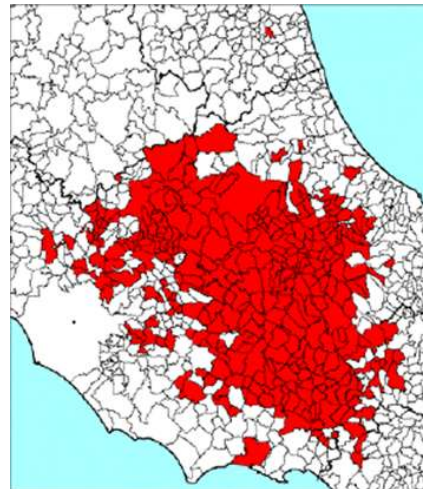
C1

Classificazione sismica e normativa: 1909-1915

Terremoti: Area etnea (1911), Avezzano (1915)
 oltre 30000 morti

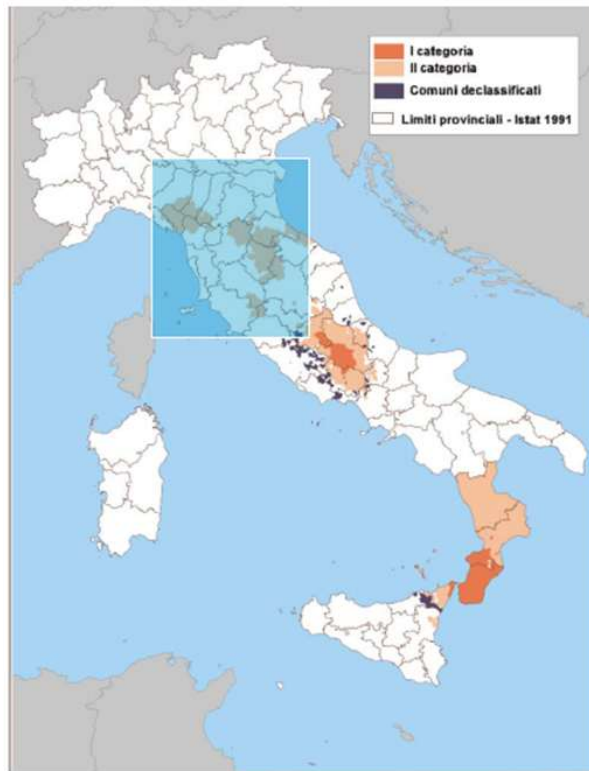


Regio Decreto n. 573/1915



Classificazione sismica e normativa: 1916-1927

Terremoti: Alto Adriatico, Riminese (1916), Val Tiberina (1917)
 Appennino Romagnolo (1918), Mugello, Toscana
 meridionale (1919), Garfagnana (1920)



Decreto Legge n. 1526/1916

Regio Decreto n. 2089/1924

Regio Decreto n. 431/1927

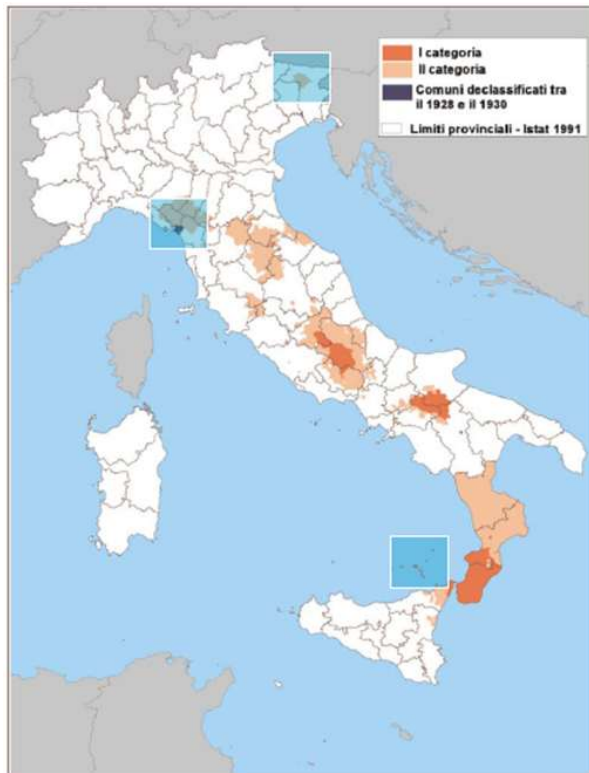


Viene introdotta la zona sismica di seconda
categoria

... si assiste anche alla declassificazione di alcune
zone sismiche

Classificazione sismica e normativa: 1927-1930

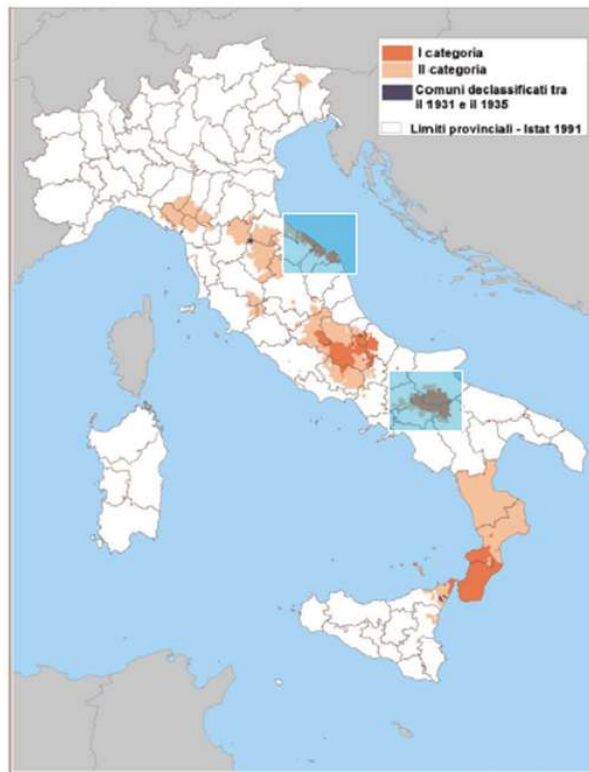
Terremoti: Colli Albani (1927), Friuli (1928), Bolognese (1929)



Vengono ulteriormente
ampliate le zone sismiche

Classificazione sismica e normativa: 1930-1935

Terremoti: Irpinia, Marche settentrionali (1930), Monte Baldo (1932),
Maiella (1933)



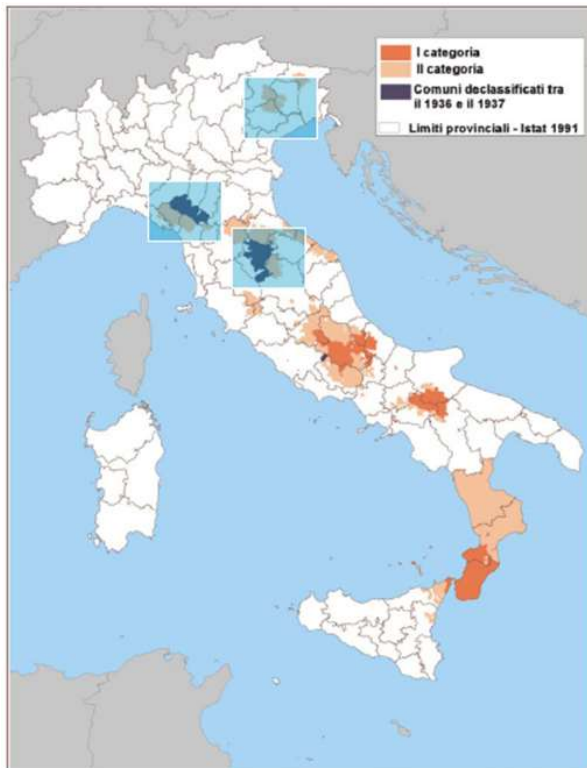
R.D. 25 marzo 1935, n. 640

Impone azioni di entità analoga a quelle utilizzate fino a fine XX secolo (ma con accelerazione uguale a tutti i piani)

Impone l'uso di cordoli in c.a. per edifici in muratura

Classificazione sismica e normativa: 1935-1937

Terremoto: Alpago-Cansiglio (1936)



Regio Decreto Legge
n. 2125/1937

Classificazione sismica e normativa: 1937-1962

Terremoti: Golfo di Palermo (1940), Marche meridionali e Abruzzo (1943), Calabria centrale (1947), Carnia (1959), Valle della Velina (1961), Irpinia (1962)



1937-42:

Inclusione di comuni delle province di Ascoli Piceno e Teramo, declassificazione di altri comuni

Classificazione sismica e normativa: 1962-1975

Terremoti: Monti Nebrodi (1967), Valle del Belice (1968), Tuscania (1971)



Legge n. 64/1974

Legge antisismica italiana
(ancora vigente)

D.M. 3 marzo 1975

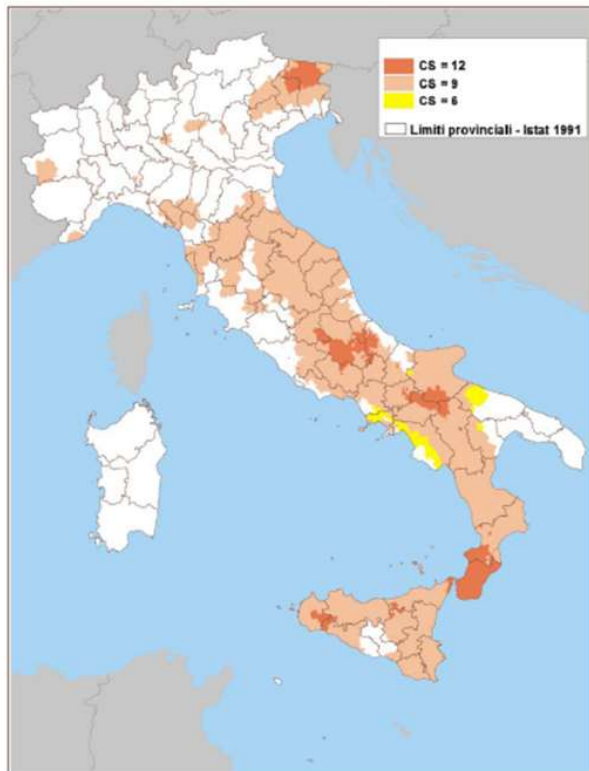
Le forze corrispondono ad una
accelerazione crescente col piano

Introduce un “coefficiente
di struttura”

Consente l’analisi dinamica lineare
(modale)

Classificazione sismica e normativa: 1976-1996

Terremoti: Friuli (1976), Calabria meridionale, golfo di Patti (1978),
Valnerina (1979), Irpinia-Basilicata (1980)



D.M. 3 giugno 1981 n. 515

Viene introdotta la zona sismica di terza categoria

D.M. 2 luglio 1981, n. 593

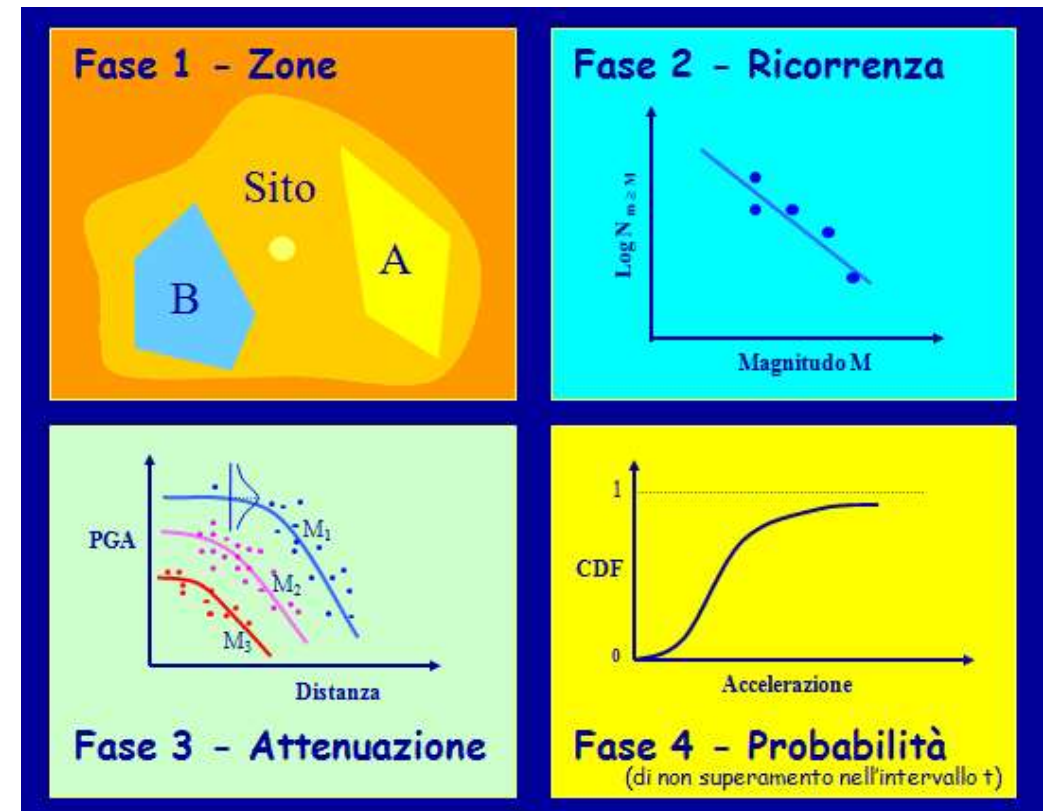
Fornisce indicazioni per riparazione e rafforzamento di edifici danneggiati dal sisma del 1980

Introduce il calcolo anche per gli edifici in muratura

Classificazione sismica e normativa: anni finali del '900

Dopo il terremoto del Friuli (1976)
parte il Progetto Finalizzato
Geodinamica (CNR)

Partendo dallo studio geologico,
dall'individuazione delle faglie, dalla
ricorrenza degli eventi sismici e dalla
attenuazione delle onde sismiche con la
distanza si valuta **la probabilità di avere
assegnate accelerazioni in ciascun sito**



Relazione tra periodo di ritorno T_r e probabilità di superamento P_{VR}

È fornita dalla relazione:

$$T_r = -\frac{V_R}{\ln(1-P_{VR})} \cong \frac{V_R}{P_{VR}}$$

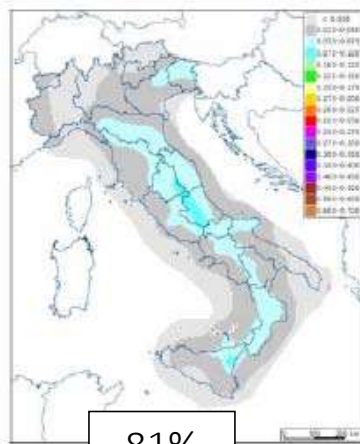
Esempio:

probabilità di superamento del 10% in 50 anni

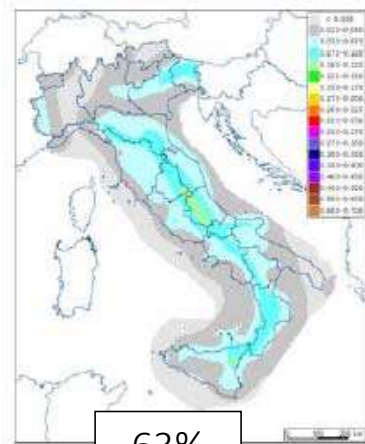
Il periodo di ritorno è:

$$T_r = -\frac{50}{\ln(1-0.10)} = 474.6 \cong 475 \text{ anni}$$

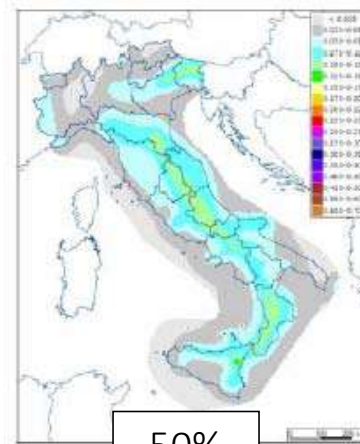
Carte di pericolosità sismica (PGA) per diverse probabilità di superamento in 50 anni



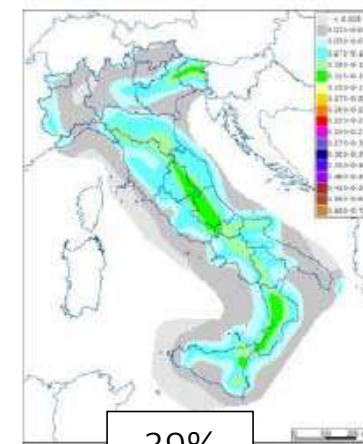
81%



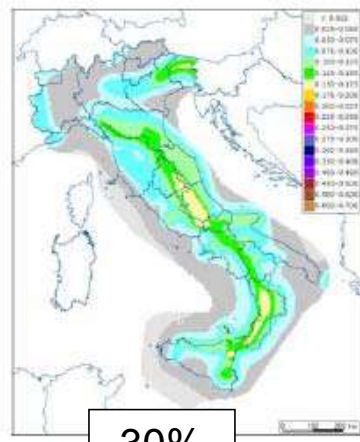
63%



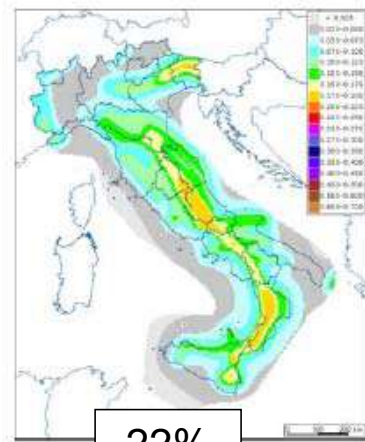
50%



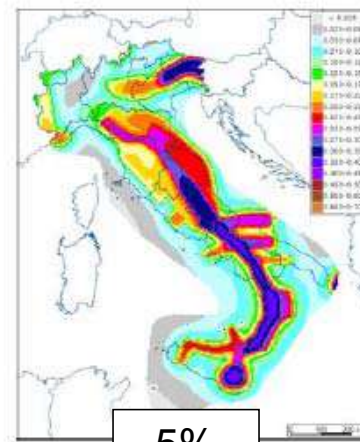
39%



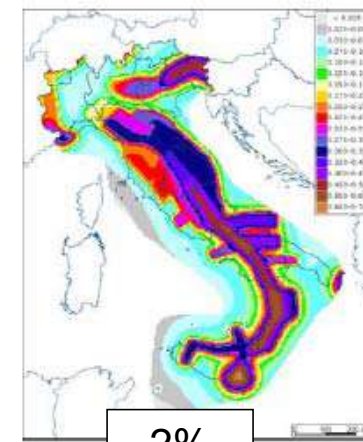
30%



22%



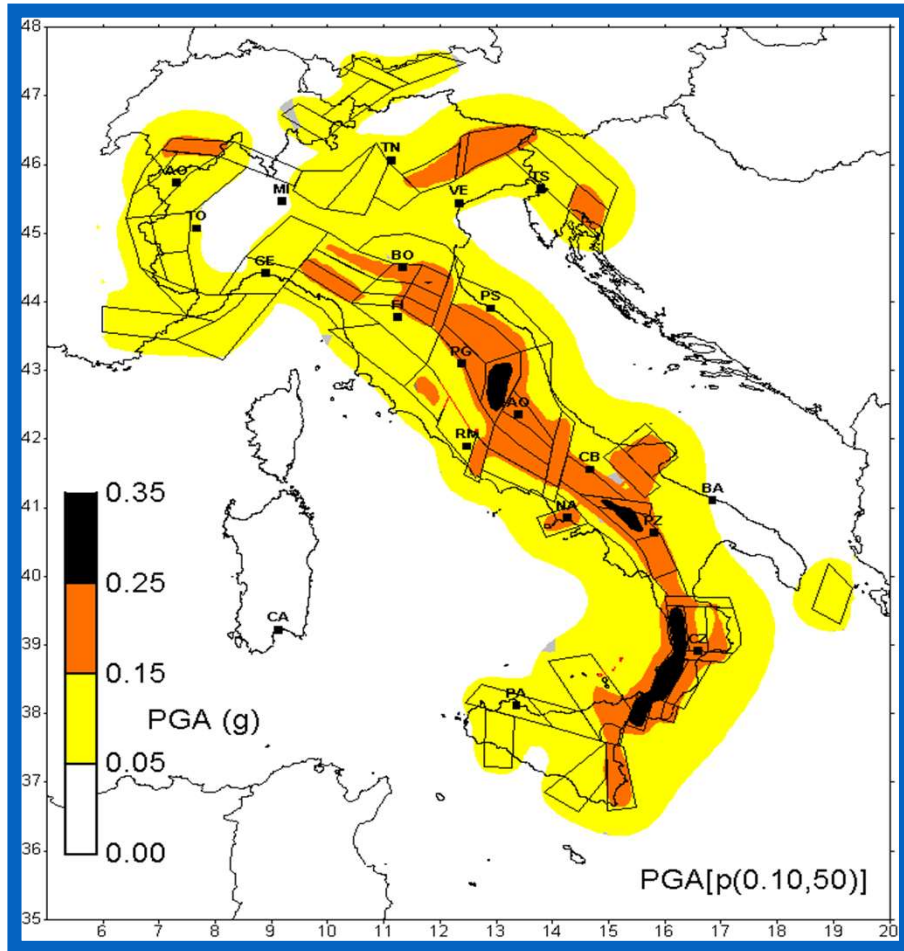
5%



2%

Manca la più importante ...

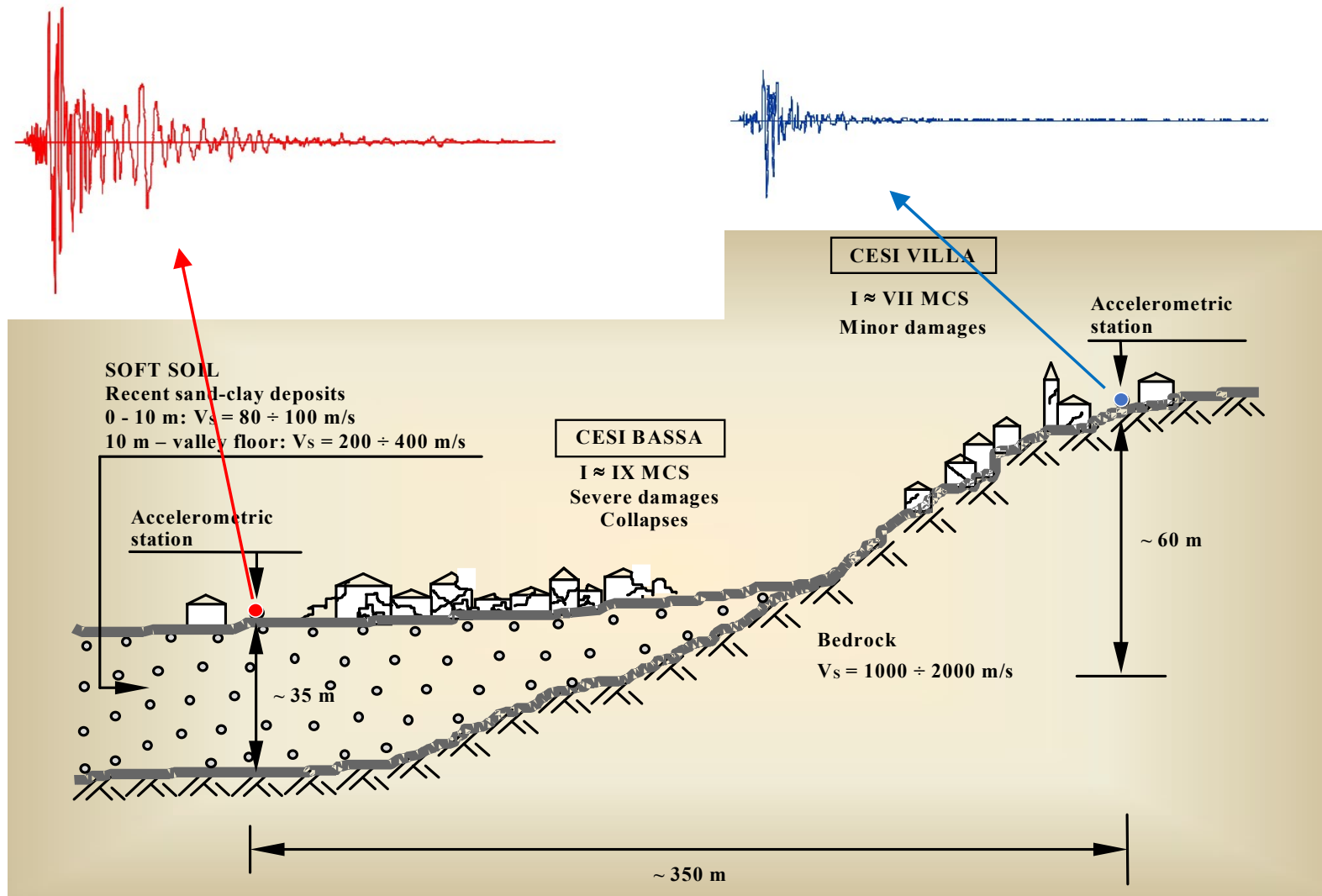
Carte di pericolosità sismica per $P_{VR} = 10\%$ in 50 anni



Corrisponde ad un periodo di ritorno T_r di 475 anni

Questo è il livello di eccitazione sismica utilizzato come base per il progetto antisismico di molti edifici

Influenza del terreno e microzonazione



Le PGA delle mappe sismiche vanno modificate in funzione delle caratteristiche del terreno

Normativa: anni finali del '900

D.M. 24 gennaio 1986

Introduce un “coefficiente di importanza”

C2

Bisogna garantire maggior sicurezza a strutture “importanti” (per la protezione civile, ecc.)

D.M. 16 gennaio 1996

Consente la verifica col metodo degli stati limite

Introduce limiti agli spostamenti di interpiano

D

Per terremoti con basso periodo di ritorno:

poiché questi avvengono con frequenza, è importante evitare danni eccessivi ed interruzioni troppo lunghe dell'uso

Classificazione sismica e normativa: 1997-2003

Terremoti: Umbro-Marchigiano 1997, zona etnea (Santa Venerina) 2001,
Molise (San Giuliano di Puglia) 2002

Dal 2003 partono una serie di norme, che
modificano radicalmente il panorama
normativo

Classificazione sismica e normativa: 1997-2003

Ordinanza 3274 del 20 marzo 2003

Ordinanza 3431 del 3 maggio 2005

Impone la verifica col metodo degli stati limite

Consente altre modalità di analisi (statica non lineare, dinamica non lineare)

Gerarchia delle resistenze

Chiarisce meglio tutte le problematiche di base (SLU-SLD, fattore di struttura, ecc.)

Introduce il concetto di “regolarità strutturale”

D.M. 14 settembre 2005 (annullato dal D.M. 14/1/08)

Recepisce le Ordinanze

Normativa sismica in Italia oggi

Eurocodice 8

È la base da cui è stata tratta l'Ordinanza 3274-3431

Ad esso si allineano quasi perfettamente le NTC 08

D.M. 14 gennaio 2008 – Norme Tecniche per le Costruzioni

Sostanzialmente in linea con gli Eurocodici

Prime basi di “Performance based design”

D.M. 7 gennaio 2018 – Norme Tecniche per le Costruzioni

Piccoli aggiustamenti, senza variazioni rilevanti

Cambiano alcuni termini molto usati

Evoluzione del concetto di protezione sismica

Prime normative:

Unico obiettivo

- Evitare perdite di vite umane
- nel caso di terremoto
con periodo di ritorno molto alto

Evoluzione del concetto di protezione sismica

Normative pre-moderne:

Doppio livello di protezione

- Evitare perdite di vite umane nel caso di terremoto con periodo di ritorno molto alto
- Limitare i danni nel caso di terremoto con periodo di ritorno più basso

Normativa italiana, a partire dal 1996

Normativa europea (Eurocodice 8)

Evoluzione del concetto di protezione sismica

Performance based design

Tendenza della normativa:

Più livelli di prestazione

- Evitare il crollo
- Evitare perdite di vite umane
- Consentire un rapido ripristino dell'operatività
- Mantenere l'operatività

associati a diversi livelli di intensità sismica

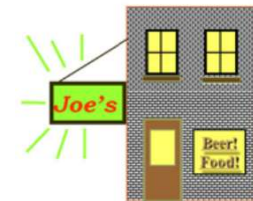
Norme Tecniche per le Costruzioni 2008, 20018

Livelli di prestazione (stati limite)

Stati Limite di Esercizio

Stato Limite di Operatività – SLO

Danni ad elementi strutturali, non strutturali e impianti talmente modesti da non creare interruzioni d'uso significative



Operational

Stato Limite di Danno – SLD

Danni ad elementi strutturali, non strutturali e impianti modesti, tali da non compromettere significativamente resistenza e rigidezza. L'opera dopo il sisma deve rimanere utilizzabile, pur se con limitazione d'uso di attrezzature



*Immediate
Occupancy*

Livelli di prestazione (stati limite)

Stati Limite Ultimi

Stato Limite di salvaguardia della Vita – SLV

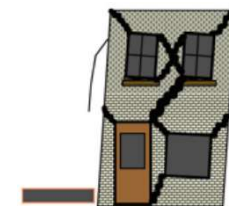
Rottura di elementi non strutturali e impianti, danni significativi agli elementi strutturali con perdita significativa di rigidezza nei confronti delle azioni orizzontali. Esiste ancora un margine di sicurezza nei confronti del collasso.



*Life
Safety*

Stato Limite di prevenzione del Collasso – SLC

Rottura di elementi non strutturali e impianti, danni molto gravi agli elementi strutturali. Esiguo margine di sicurezza nei confronti del collasso.



*Collapse
Prevention*

Livelli di intensità sismica

Sono legati alla “vita di riferimento” V_R della struttura

Livello	Probabilità di superamento	Periodo di ritorno *
Frequente	81% in V_R anni	30 anni
Occasionale	63% in V_R anni	50 anni
Raro	10% in V_R anni	475 anni
Estremamente raro	5% in V_R anni	975 anni

* Per $V_R = 50$ anni

Obiettivi prestazionali

Si ottengono associando un livello di prestazione ad ogni livello di intensità sismica

		Livelli di prestazione			
		SLO	SLD	SLV	SLC
Livelli di intensità sismica	Frequente				
	Occasionale				
	Raro				
	Estremamente raro				

Obiettivi prestazionali

Si ottengono associando un livello di prestazione ad ogni livello di intensità sismica

X → Obiettivi di base
secondo le NTC18

		Livelli di prestazione			
		SLO	SLD	SLV	SLC
Livelli di intensità sismica	Frequente				
	Occasionale		X		
	Raro			X	
	Estremamente raro				

Obiettivi prestazionali

Si ottengono associando un livello di prestazione ad ogni livello di intensità sismica

È possibile definire anche
obiettivi migliorati
(strutture strategiche)

		Livelli di prestazione			
		SLO	SLD	SLV	SLC
Livelli di intensità sismica	Frequente				
	Occasionale				
	Raro				
	Estremamente raro				

Obiettivi prestazionali

Si ottengono associando un livello di prestazione ad ogni livello di intensità sismica

Alcune combinazioni sono
invece inaccettabili

		Livelli di prestazione			
		SLO	SLD	SLV	SLC
Livelli di intensità sismica	Frequente				
	Occasionale				
	Raro				
	Estremamente raro				

Intensità sismica

L'intensità sismica è espressa misurata dall'accelerazione di picco al suolo PGA (Peak Ground Acceleration) o a_g

L'accelerazione di picco dipende da:

- Sito (collocazione geografica, tipo di terreno, ecc.)
- Periodo di ritorno T_r dell'evento che interessa

Il periodo di ritorno T_r del sisma, che è legato alla vita di riferimento V_R .

La vita di riferimento dipende da:

- Vita nominale V_N
- Classe d'uso

Vita nominale V_N

È il numero di anni nel quale la struttura, purché soggetta alla manutenzione ordinaria, deve potere essere usata per lo scopo al quale è destinata

	TIPI DI COSTRUZIONE	Vita nominale V_N
1	Opere provvisorie – Opere provvisionali - Strutture in fase costruttiva	≤ 10 anni
2	Opere ordinarie, ponti, opere infrastrutturali e dighe di dimensioni contenute o di importanza normale	≥ 50 anni
3	Grandi opere, ponti, opere infrastrutturali e dighe di grandi dimensioni o di importanza strategica	≥ 100 anni

Classe d'uso

È legata alle conseguenze di una interruzione di operatività o di un eventuale collasso in presenza di azioni sismiche

TIPI DI COSTRUZIONE	Classe d'uso
Costruzioni con presenza solo occasionale di persone, edifici agricoli	I
Costruzioni il cui uso preveda normali affollamenti, senza contenuti pericolosi per l'ambiente e senza funzioni pubbliche e sociali essenziali	II
Costruzioni il cui uso preveda affollamenti significativi	III
Costruzioni con funzioni pubbliche o strategiche importanti, anche con riferimento alla gestione della protezione civile in caso di calamità	IV

Vita di riferimento V_R

Dipende da:

- Vita nominale V_N
- Classe d'uso

$$V_R = V_N \times C_U \geq 35 \text{ anni}$$

Il coefficiente d'uso C_U dipende dalla classe d'uso

Classe d'uso	I	II	III	IV
C_U	0.7	1.0	1.5	2.0

Vita di riferimento V_R

$$V_R = V_N \times C_U \geq 35 \text{ anni}$$

Vita nominale \ Classe d'uso	I	II	III	IV
10				
50		50		
100				

Esempio: edificio per abitazione di nuova realizzazione

Opera ordinaria, $V_N = 50$ anni

Normale affollamento, $C_U = 1.0$

Vita di riferimento V_R

$$V_R = V_N \times C_U \geq 35 \text{ anni}$$

Vita nominale \ Classe d'uso	I	II	III	IV
10	35	35	35	35
50	35	50	75	100
100	70	100	150	200

Classe d'uso	I	II	III	IV
C_U	0.7	1.0	1.5	2.0

Periodo di ritorno T_r

Possiamo calcolarlo in funzione di V_R e P_{VR}

$$T_r = -\frac{V_R}{\ln(1 - P_{VR})} \cong \frac{V_R}{P_{VR}}$$

Periodo di ritorno T_r (in anni)

Stato limite	P_{VR}	$V_R=35$ anni	$V_R=50$ anni	$V_R=75$ anni	$V_R=100$ anni
SLO	81%	21	30	45	60
SLD	63%	35	50	75	100
SLV	10%	332	475	712	950
SLC	5%	682	975	1462	1950

Relazione tra accelerazione di picco e periodo di ritorno

- Non esiste una relazione rigorosa
- Approssimativamente si può ritenere che l'accelerazione di picco vari con la radice quadrata del periodo di ritorno

Esempio:

per un periodo di ritorno $T_r=475$ anni si ha $a_g=0.25$ g

per un periodo di ritorno $T_r=950$ anni si ha

$$a_g \cong 0.25 \times \sqrt{\frac{950}{475}} = 1.41 \times 0.25 = 0.35 \text{ g}$$

Classe d'uso e intensità sismica

Le norme forniscono il coefficiente d'uso C_U che, moltiplicato per la vita nominale V_N , dà la vita di riferimento V_R

- Per classe d'uso II si ha $C_U = 1$
quindi per verifica di resistenza di costruzioni usuali
 $V_R = 50$ anni, periodo di ritorno $T_r = 475$ anni
si ha, ad esempio, $a_g = 0.25 g$
- Per classe d'uso III (edifici con affollamento) $C_U = 1.5$
quindi per verifica di resistenza di costruzioni usuali
 $V_R = 50 \times 1.5$ anni, periodo di ritorno $T_r = 475 \times 1.5$ anni
si ha $a_g \cong 0.25 \times \sqrt{1.5} = 1.22 \times 0.25 g$
- Per classe d'uso IV (edifici strategici) $C_U = 2$
si ha $a_g \cong 0.25 \times \sqrt{2} = 1.41 \times 0.25 g$

Normativa europea

L'Eurocodice 8 prevede solo due obiettivi prestazionali:

- Requisito di non-collasso
 - Equivale a SLV
 - È riferito ad una probabilità di superamento del 10% in 50 anni, ovvero a un periodo di ritorno di 475 anni
- Requisito di limitazione del danno
 - Equivale a SLD
 - È riferito ad una probabilità di superamento del 10% in 10 anni, ovvero a un periodo di ritorno di 95 anni

Per edifici ordinari

Per classi d'uso diverse si utilizza il coefficiente di importanza γ_i

Coefficiente d'importanza

- L'accelerazione di picco valutata per edifici ordinari va moltiplicata per il coefficiente d'importanza γ_I
- Il coefficiente d'importanza γ_I dipende dalla classe d'importanza (è l'equivalente della classe d'uso):
 - Per costruzioni minori (classe I), $\gamma_I = 0.8$
 - Per costruzioni ordinarie (classe II), $\gamma_I = 1.0$
 - Per edifici con affollamento (classe III), $\gamma_I = 1.2$... era 1.22 per NTC18
 - Per edifici strategici (classe IV), $\gamma_I = 1.4$... era 1.41 per NTC18

Non cambia molto rispetto alle NTC