

Corsi di aggiornamento

# Progettiamo insieme

## Teoria e pratica della progettazione strutturale

### 1. Risposta sismica delle strutture

01b - Obiettivo della progettazione antisismica

Spoletto

18-19 marzo 2016

Aurelio Ghersi

# Problematiche:

per terremoti con basso periodo di ritorno

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



# Problematiche:

per 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 tener conto del differente comportamento delle strutture oltre il limite elastico (con "coefficienti di struttura")

C2

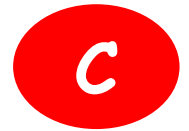
Bisogna garantire maggior sicurezza a strutture "importanti" (per la protezione civile, ecc.)

C3

Problematiche:  
per terremoti con basso periodo di ritorno



Problematiche:  
per 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 indicazioni della 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

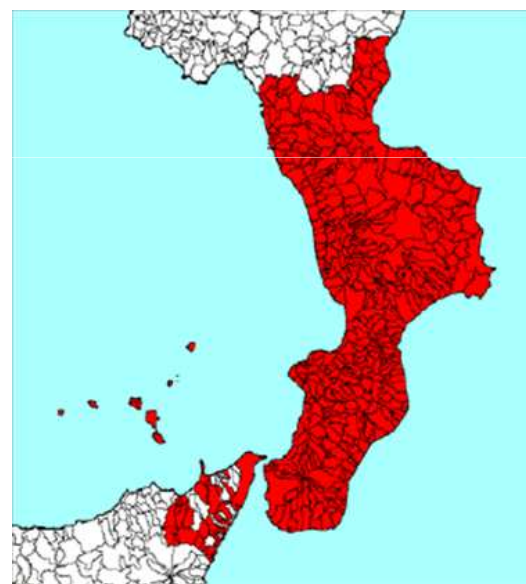
C1

# 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"

C1

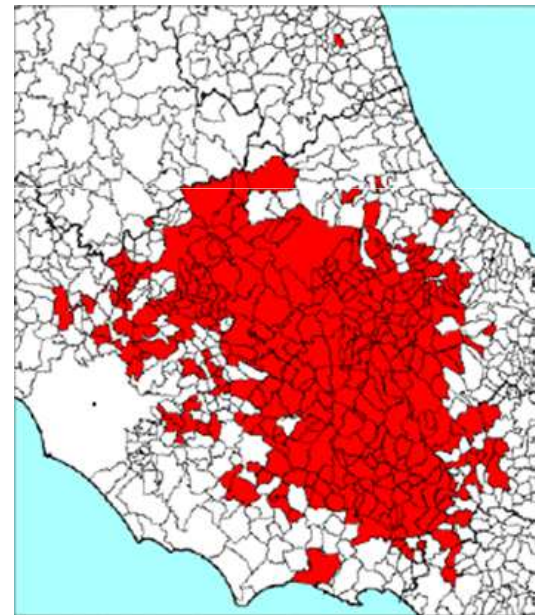


# Classificazione sismica e normativa 1909-1915

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

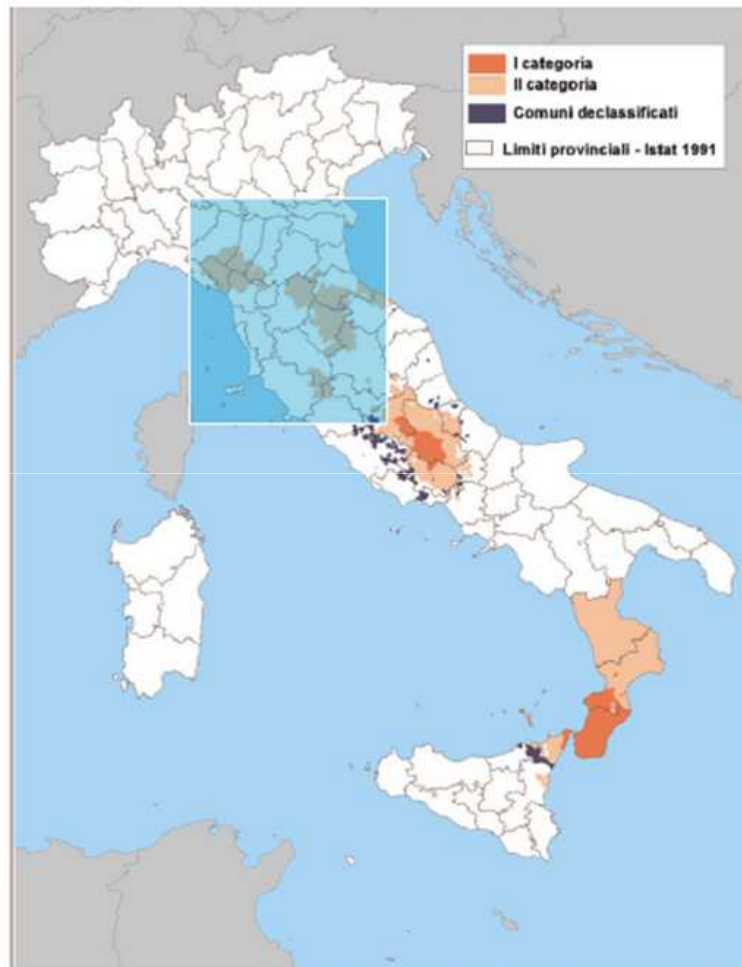


Regio Decreto n. 573/1915



# Classificazione sismica e normativa 1916-1927

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



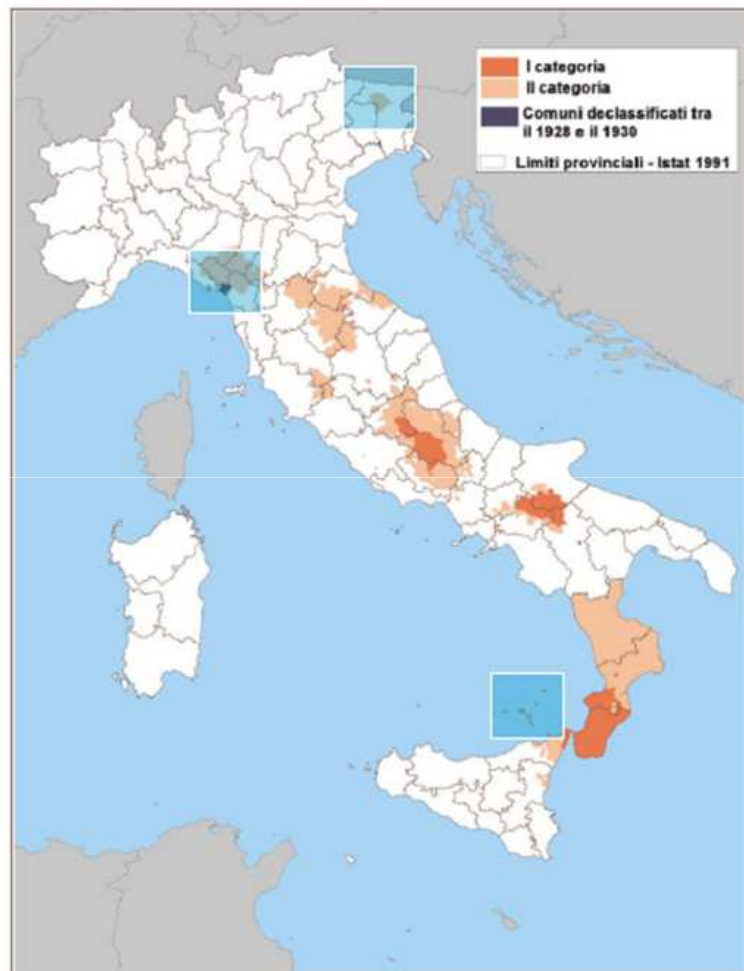
Decreto Legge n. 1526/1916  
Regio Decreto n. 2089/1924  
Regio Decreto n. 431/1927



Viene introdotta la zona  
sismica di seconda categoria

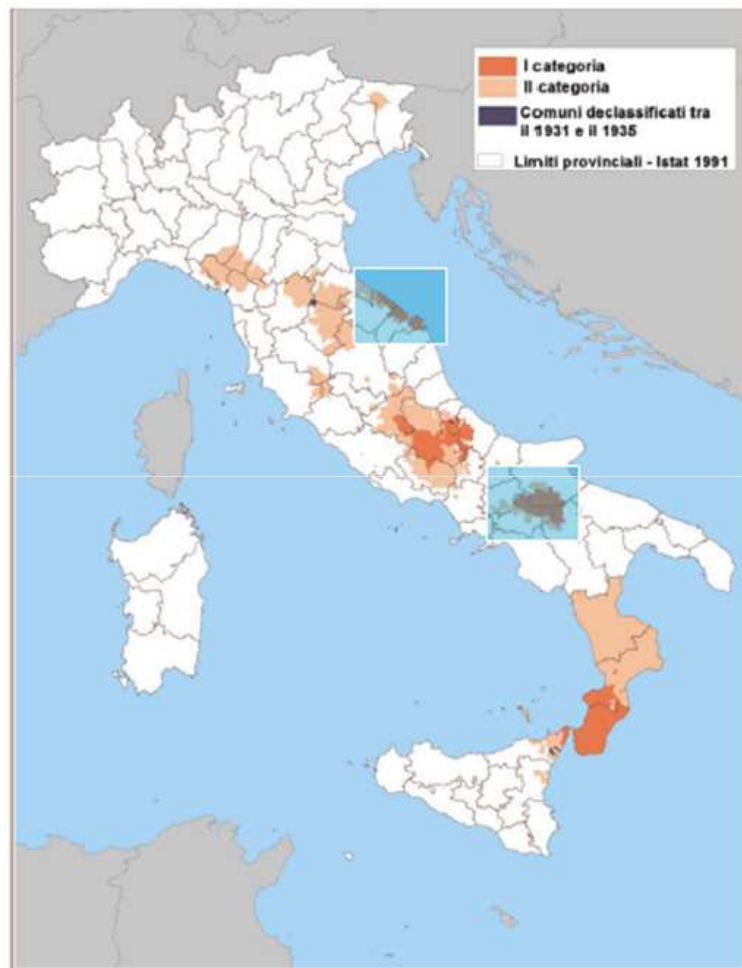
# Classificazione sismica e normativa 1927-1930

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



# Classificazione sismica e normativa 1930-1935

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

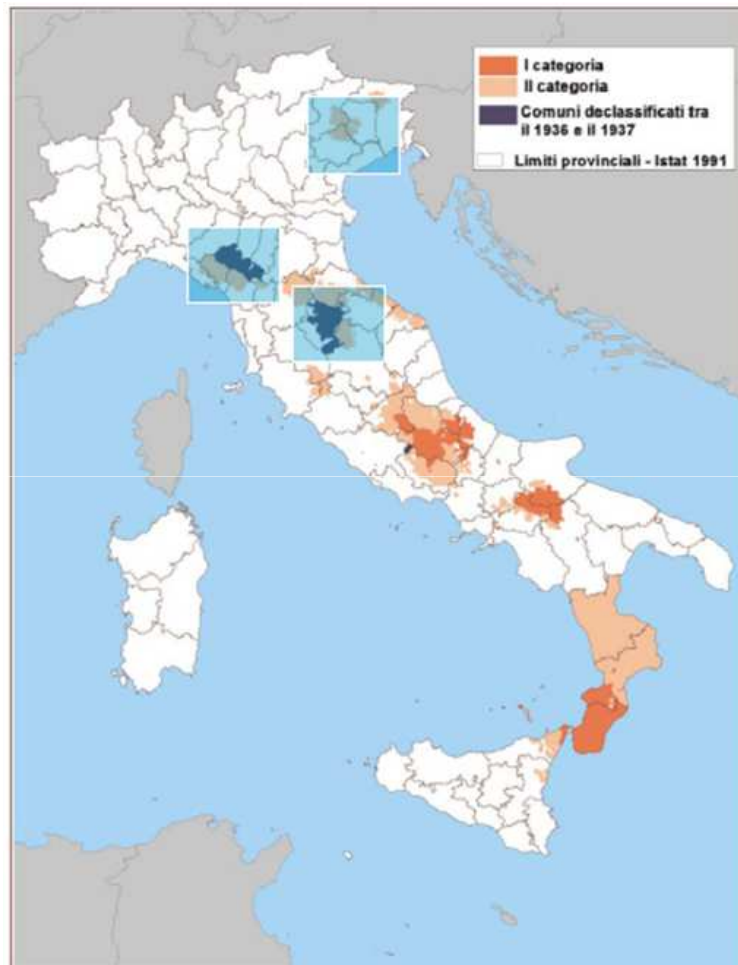


R.D. 25 marzo 1935, n. 640  
Impone azioni di entità analoga a  
quelle utilizzate fino a fine XX  
secolo (ma con accelerazione  
uguale a tutti i piani)  
Impone l'uso di cordoli in c.a. per  
edifici in muratura

C1

# 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:

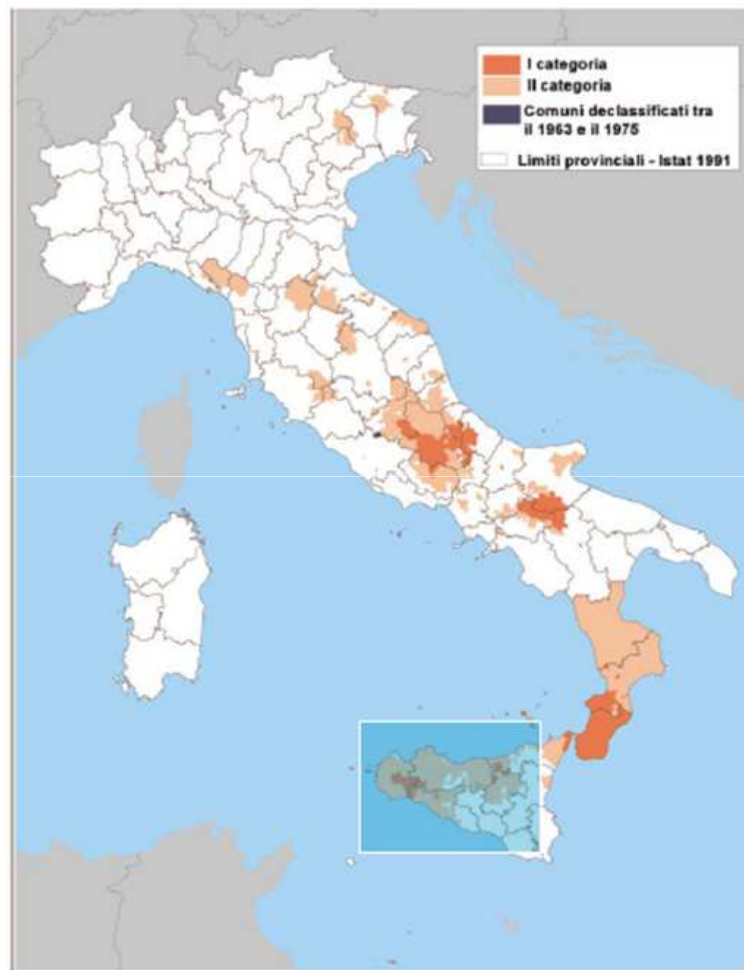
Inclusione di comuni delle province di Ascoli Piceno e Teramo, declassificazione di altri comuni

Legge 25 novembre 1962,  
n. 1684



# Classificazione sismica e normativa 1962-1975

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



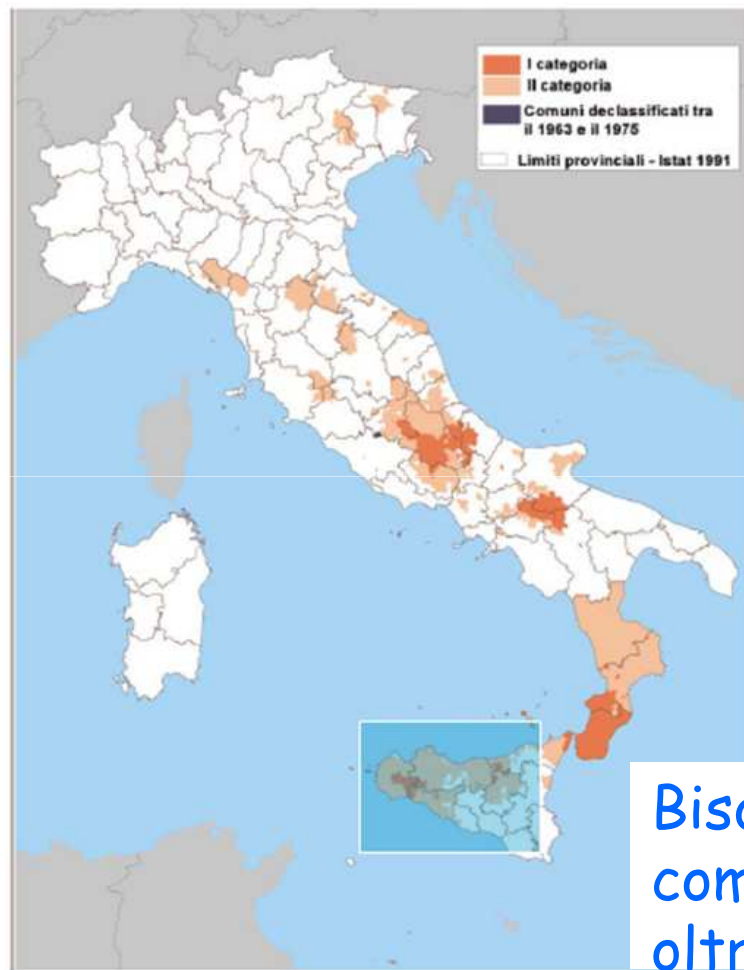
Legge n. 64/1974

D.M. 3 marzo 1975

Le forze corrispondono ad una  
accelerazione crescente col piano  
Introduce un "coefficiente  
di struttura"  
Consente l'analisi dinamica  
(modale)

# Classificazione sismica e normativa 1962-1975

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



Legge n. 64/1974

D.M. 3 marzo 1975

Le forze corrispondono ad una  
accelerazione crescente col piano  
Introduce un "coefficiente  
di struttura" → **C2**  
Consente l'analisi dinamica  
(modale)

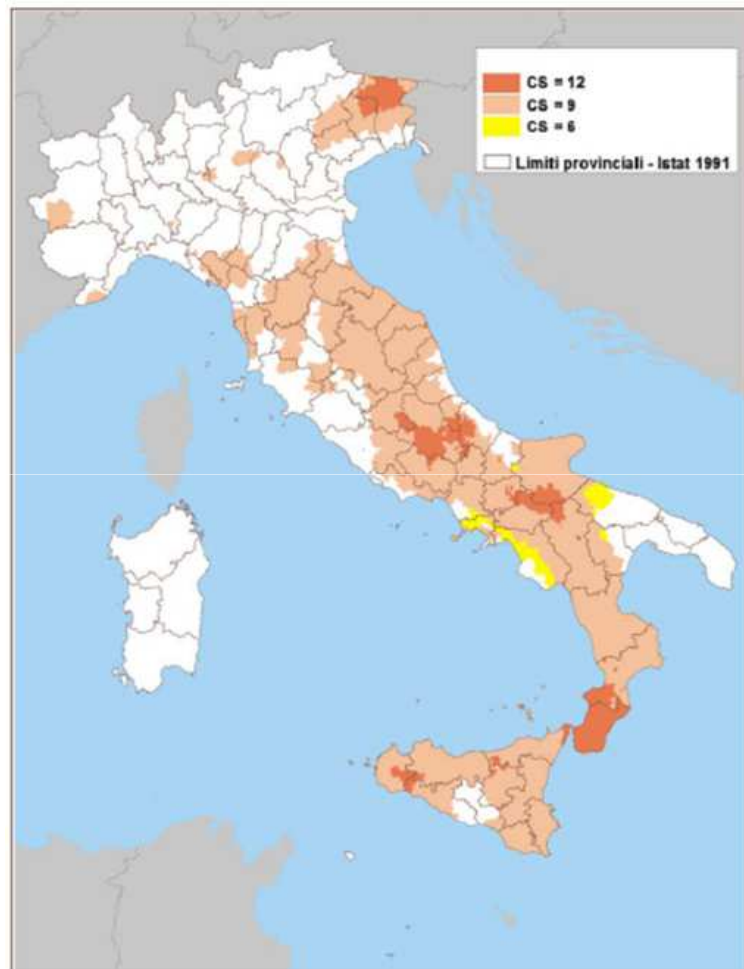
Bisogna tener conto del differente  
comportamento delle strutture  
oltre il limite elastico

**C2**



# 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

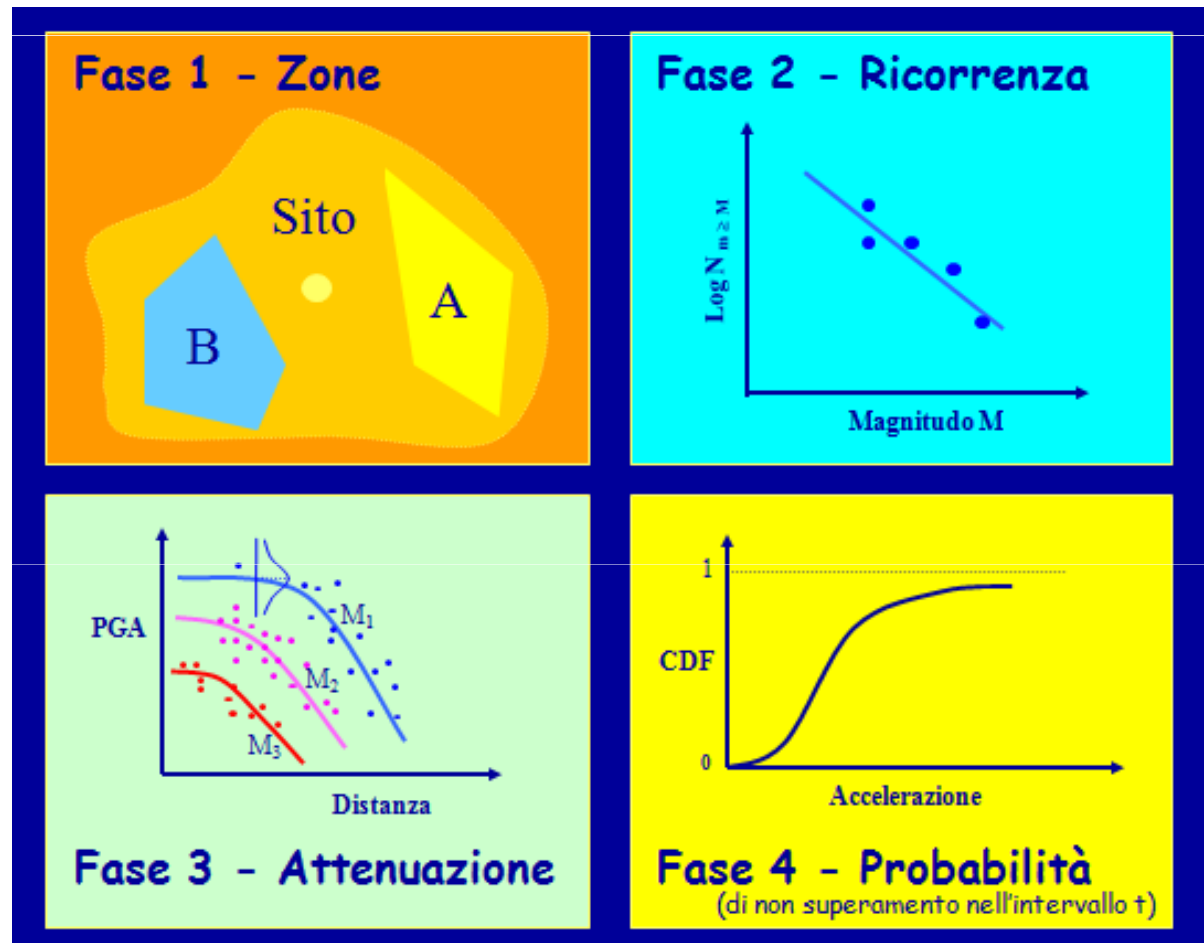
Fornisce indicazioni per riparazione e rafforzamento di edifici danneggiati dal sisma del 1980

Introduce il calcolo anche per gli edifici in muratura

# Evoluzione della classificazione sismica 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



# Evoluzione della classificazione sismica anni finali del '900

Valutazione probabilistica dell'intensità dei terremoti

Probabilità di superamento  $P_{VR}$  = probabilità che si verifichi un evento sismico di intensità maggiore di quella assegnata in un periodo di riferimento

Esempio: probabilità di superamento del 10%  
in 50 anni

oppure

Periodo di ritorno  $T_r$  = tempo medio che intercorre tra due eventi sismici di assegnata intensità

Esempio: periodo di ritorno di 475 anni

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

È fornita dalla relazione:

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

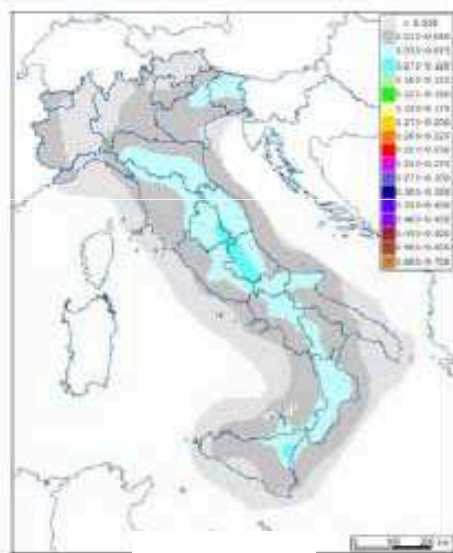
Esempio:

probabilità di superamento del 10% in 50 anni

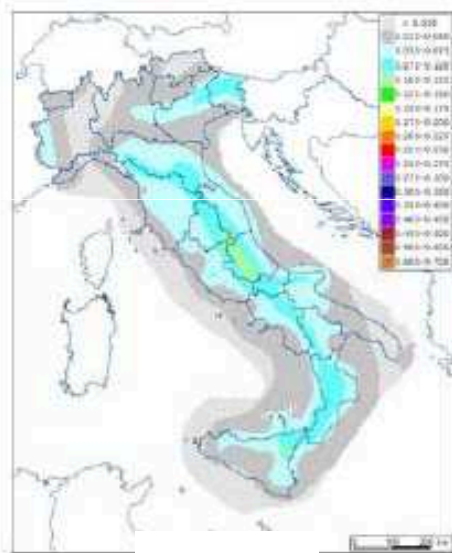
Il periodo di ritorno è:

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

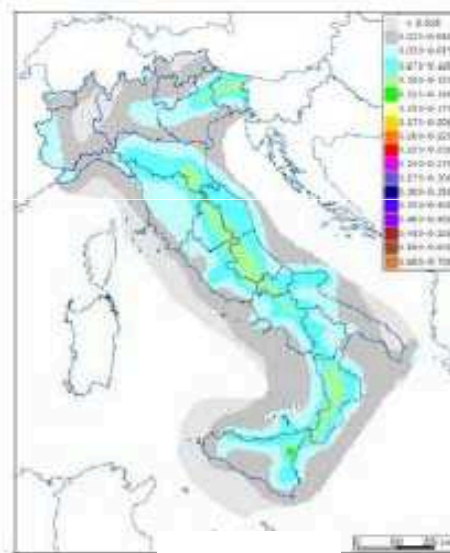
# Carte di pericolosità sismica per diverse probabilità di superamento in 50 anni



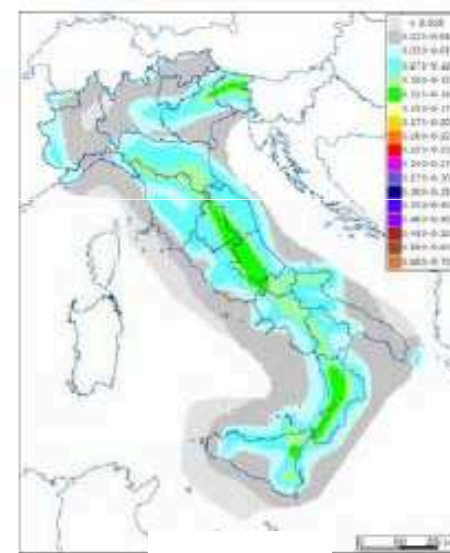
81%



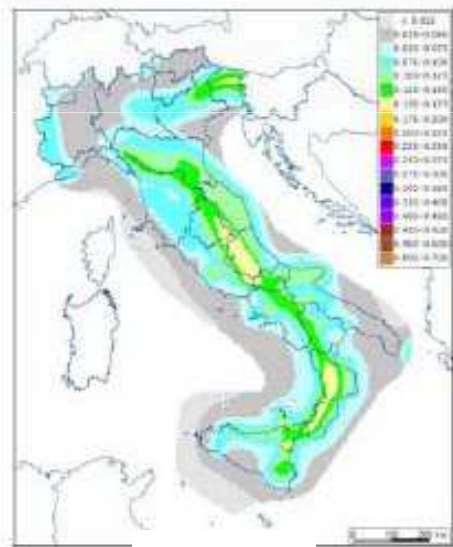
63%



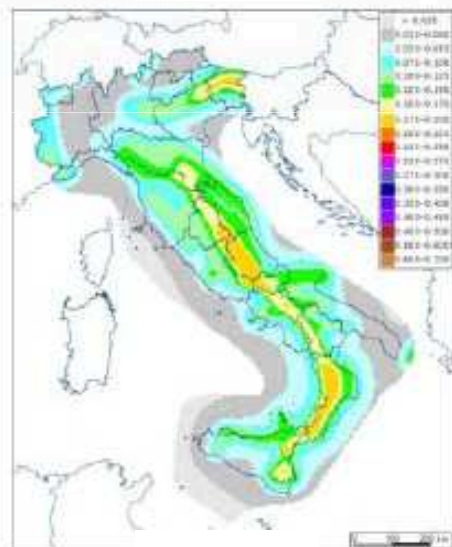
50%



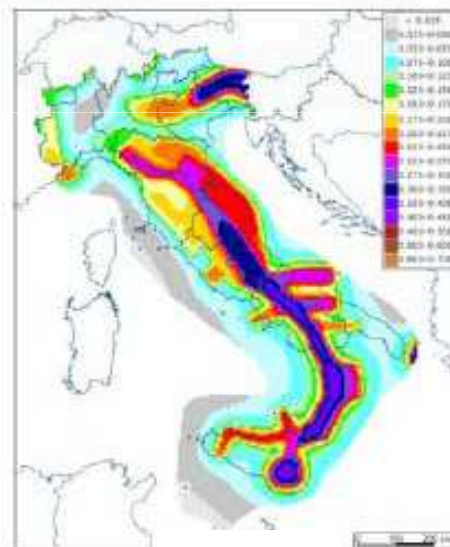
39%



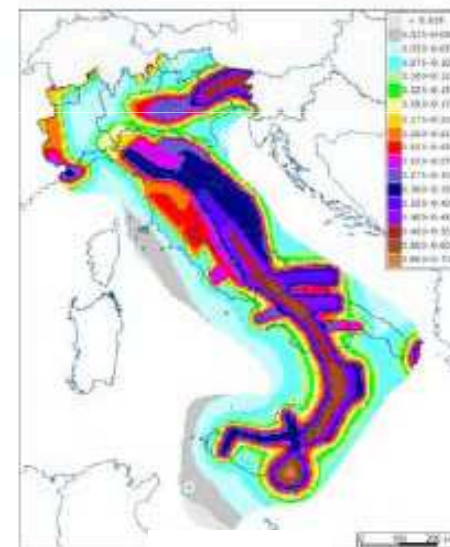
30%



22%



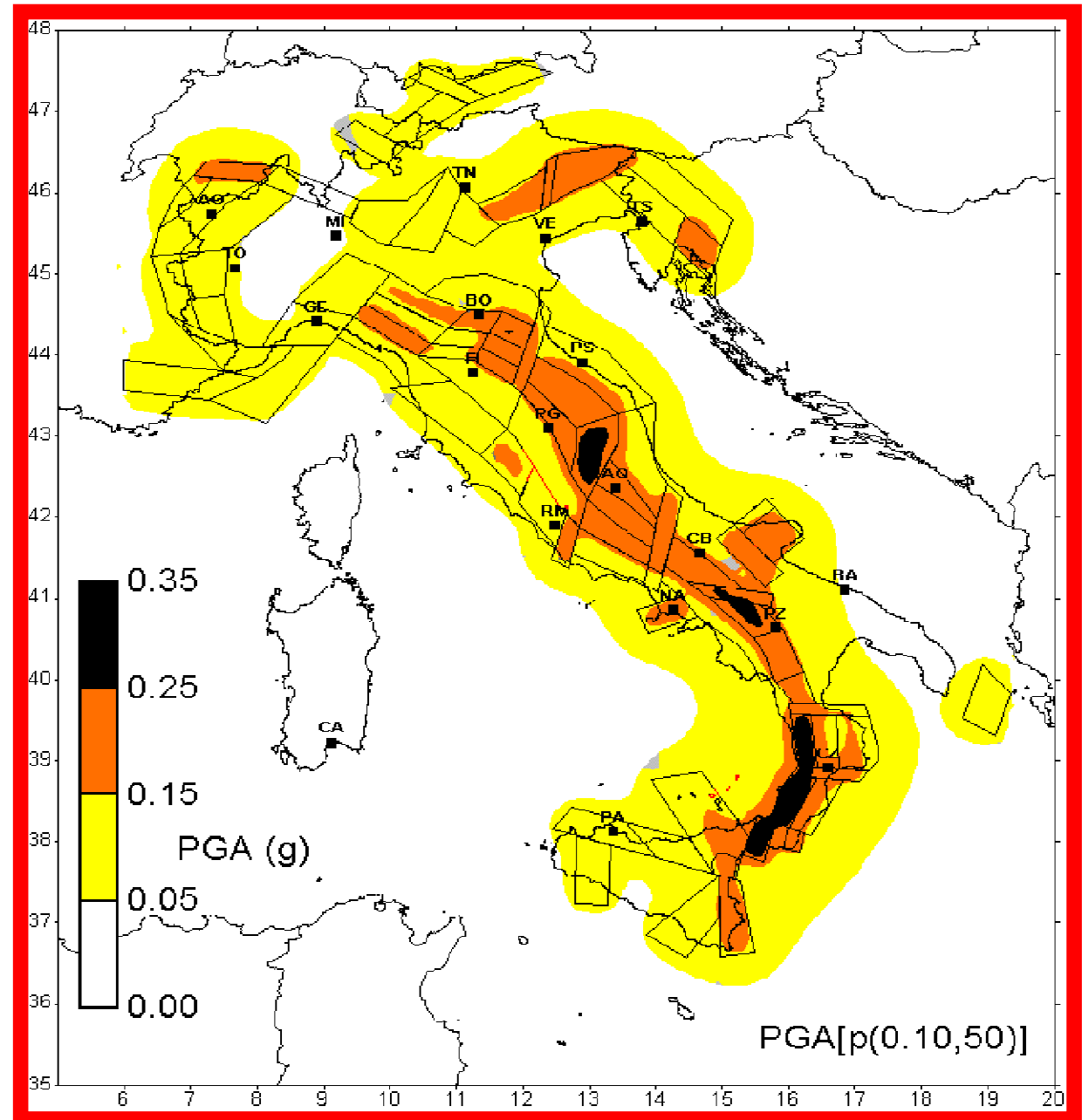
5%



2%

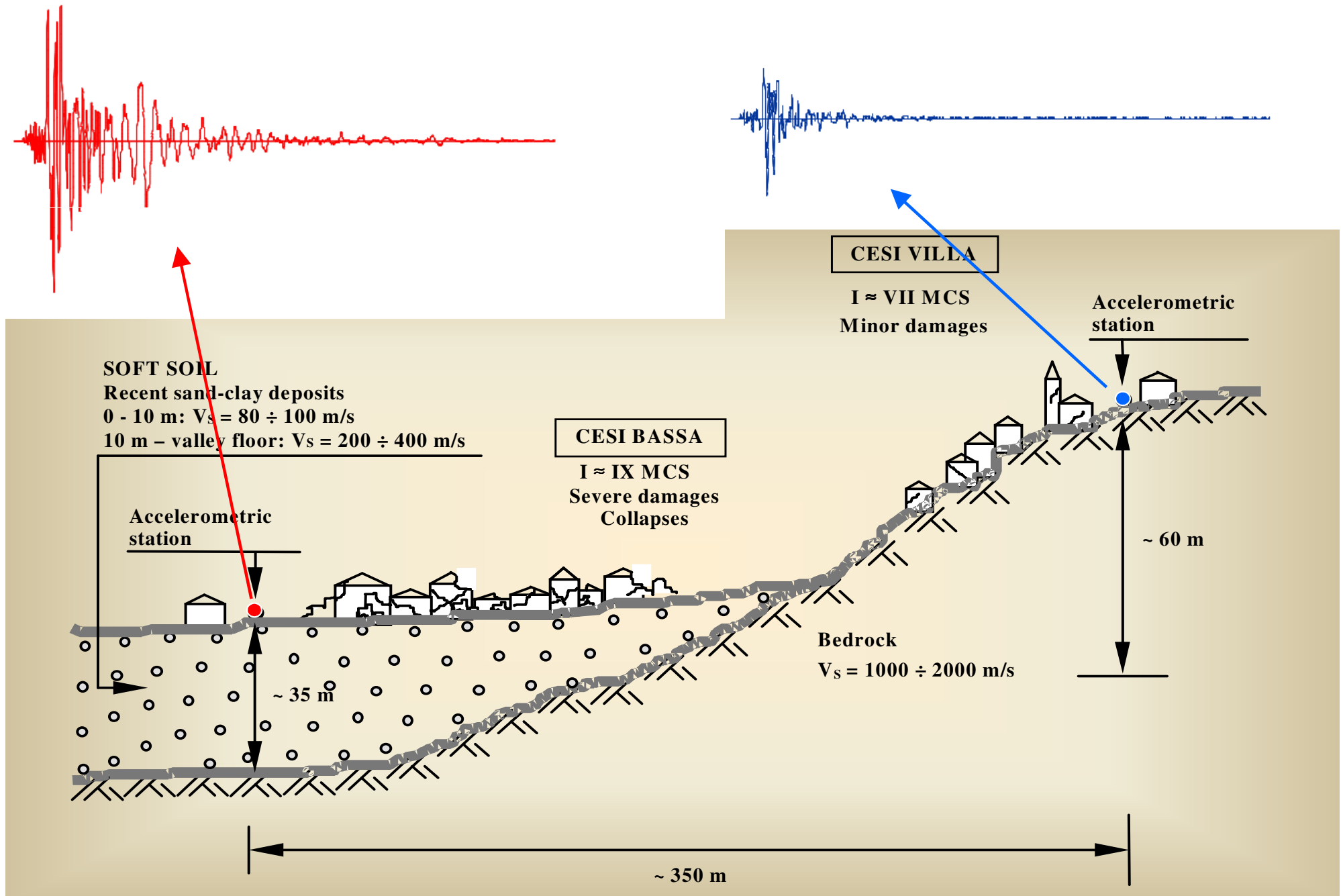
# Analisi di pericolosità

Classificazione  
del territorio  
in base alla  
probabilità di  
superamento  
di PGA del 10%  
in 50 anni  
( $T_r = 475$  anni)





# Influenza del terreno e microzonazione



# Anni finali del '900, Italia

D.M. 24 gennaio 1986

Introduce un "coefficiente di importanza" →

C3

## Problematica

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

C3

D.M. 16 gennaio 1996

Consente la verifica col metodo degli stati limite

Introduce limiti agli spostamenti di interpiano →

D

## Problematica

Per terremoti con basso periodo di ritorno:  
poiché questi avvengono con frequenza, è importante evitare  
danni eccessivi ed interruzioni troppo lunghe dell'uso

D



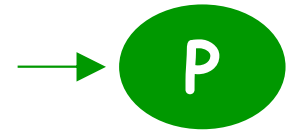
# Anni finali del '900, Stati Uniti

Norme americane FEMA

Introducono il concetto di "Performance based design" "

cioè

prestazione richiesta per un assegnato terremoto



## Problematica

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



# 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

# Inizio del XXI secolo, in Italia

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)

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

# 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"

P

Bozza Norme Tecniche per le Costruzioni (NTC15)

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 attuali:

## 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**

Normativa americana FEMA

Norme Tecniche per le Costruzioni 2008

# Livelli di prestazione

## Ovvero Stati Limite da rispettare

### 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

#### Stato Limite di Danno - SLD

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



# Livelli di prestazione

## Ovvero Stati Limite da rispettare

### 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 rigidità nei confronti delle azioni orizzontali. Esiste ancora un margine di sicurezza nei confronti del collasso.

#### 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.

# 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

# Obiettivi prestazionali e livelli di intensità sismica

	FEMA			
	SLO	SLD	SLV	SLC
Frequente (30 anni)			<b>Prestazioni non accettabili</b>	
Occasionale (50 anni)				
Raro (475 anni)	<i>Strutture critiche per la sicurezza</i>		<i>Obiettivi di base</i>	
Molto raro (975 anni)				

schema unico, la differenziazione  
si ottiene cambiando la relazione  
tra stato limite e intensità sismica

# Obiettivi prestazionali e livelli di intensità sismica

NTC 08

	SLO	SLD	SLV	SLC
Frequente (60 anni) ← (30 anni)				
Occasionale (100 anni) ← (50 anni)				
Raro (950 anni) ← (475 anni)				
Molto raro (1950 anni) ← (975 anni)				

**Prestazioni non accettabili**

**Obiettivi di base**

*Strutture critiche per la sicurezza*

la differenziazione si ottiene  
cambiando il periodo di riferimento  
dell'evento sismico