Workshop

Progetto di edifici antisismici con struttura in c.a.

Catania, aula IT del DAU

10-20 settembre 2013

04 – Obiettivi della progettazione antisismica

I terremoti

Cosa sono?

Quali effetti producono?

Qual è l'obiettivo della progettazione antisismica?

Problematiche:

per terremoti con basso periodo di ritorno

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

D

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

D

Problematiche:
per terremoti con alto periodo di ritorno

C

Più in generale

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

P

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

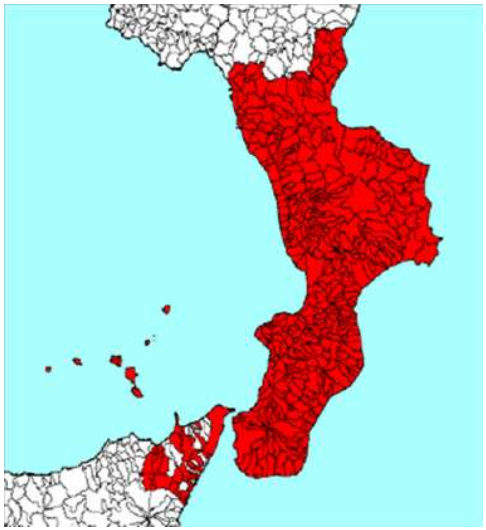
Per terremoti con alto periodo di ritorno:
non è economico progettare la struttura in modo da evitare danni – l'importante è che non crolli

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

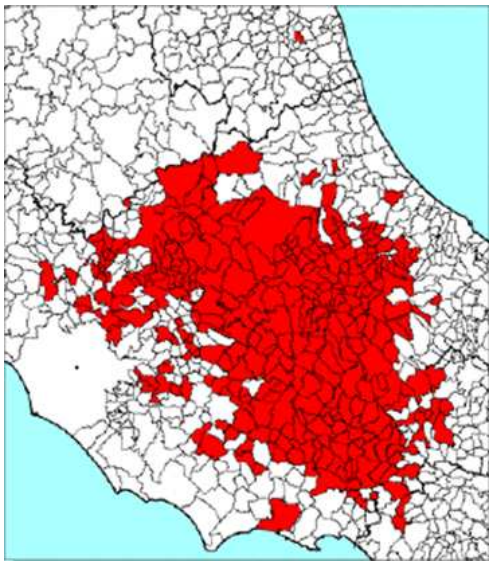
R.D. 18 aprile 1909, n.193
Impone di tener conto, nei calcoli di resistenza delle costruzioni, di "azioni dinamiche dovute al moto sismico ondulatorio, rappresentandole con accelerazioni applicate alle masse del fabbricato"

C1

Classificazione sismica e normativa
1909-1915

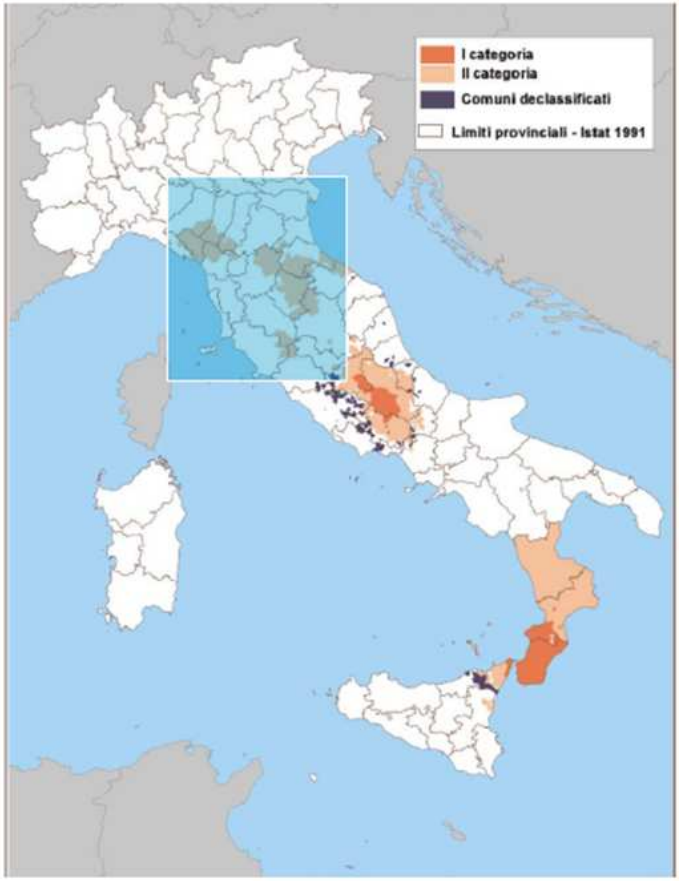
Terremoti: Area etnea (1911), Avezzano (1915)
oltre 30000 morti

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)

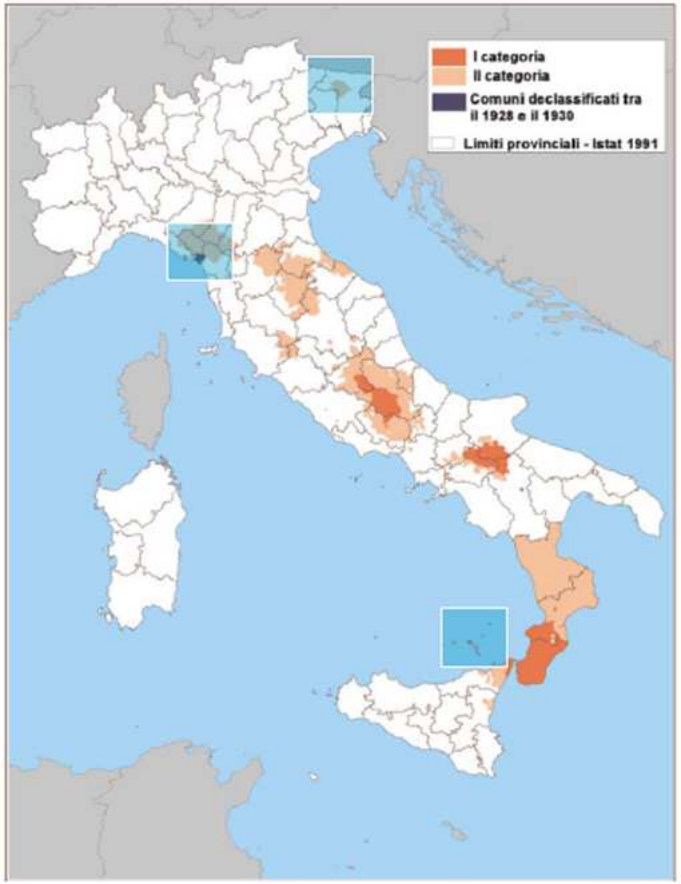


Decreto Legge n. 1526/1916
Regio Decreto n. 2089/1924
Regio Decreto n. 431/1927

Viene introdotta la zona sismica di seconda categoria

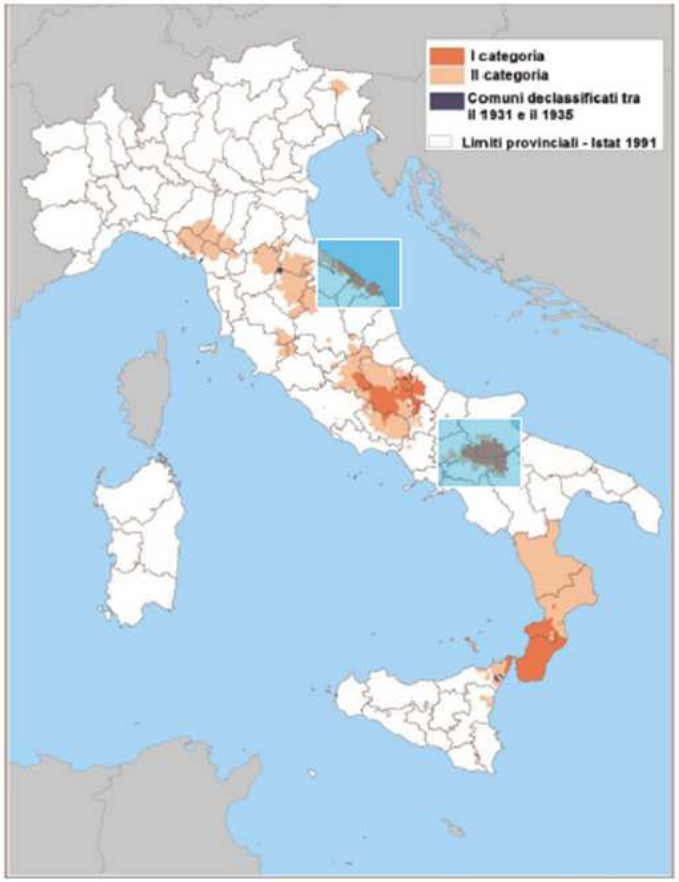
Classificazione sismica e normativa
1927-1930

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



Classificazione sismica e normativa
1930-1935

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

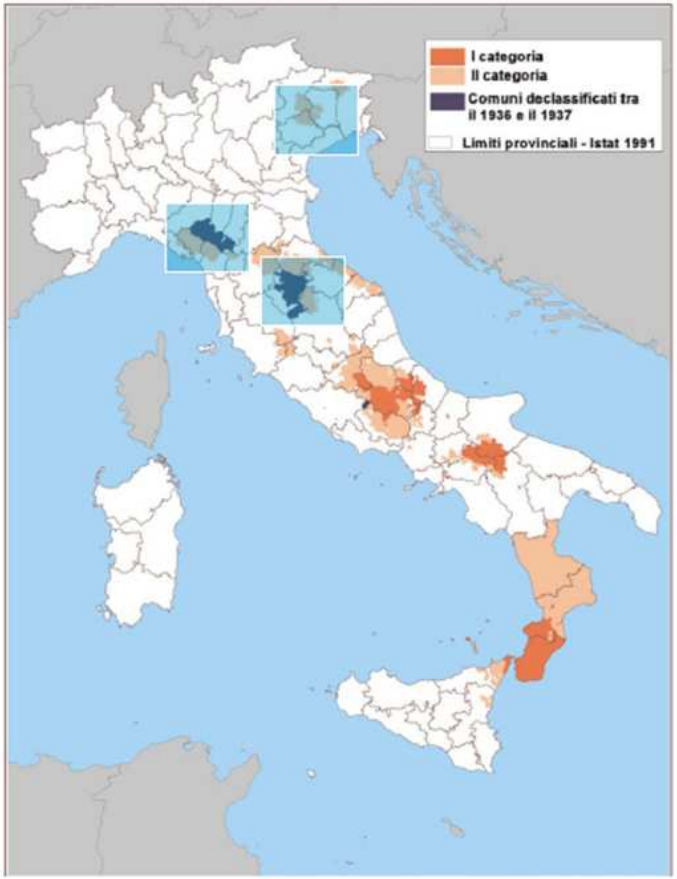


R.D. 25 marzo 1935, n. 640
Impone azioni di entità analoga a quelle utilizzate fino a fine XX secolo (ma con accelerazione uguale a tutti i piani)
Impone l'uso di cordoli in c.a. per edifici in muratura

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)

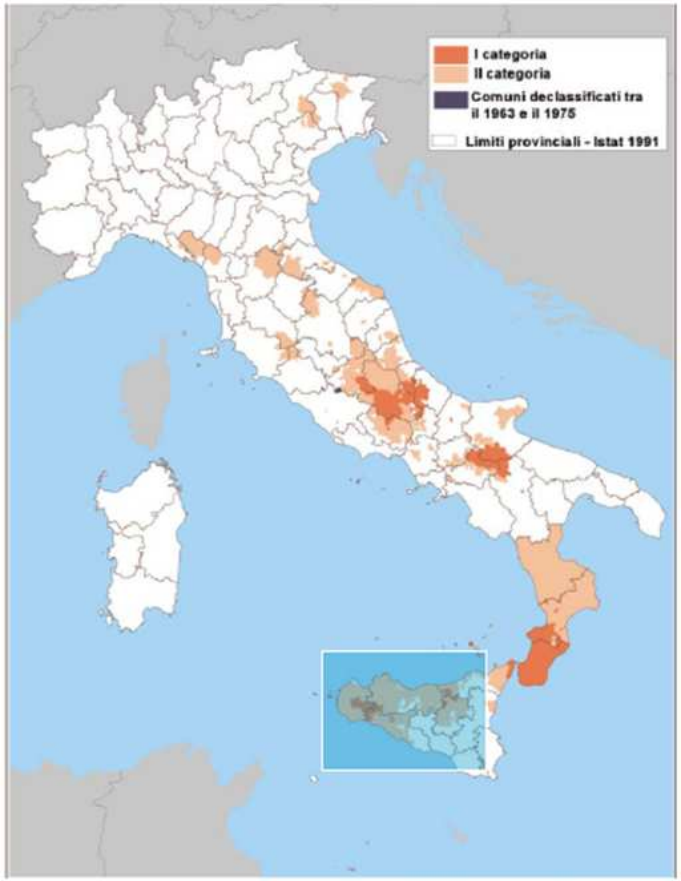
1937-42:

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

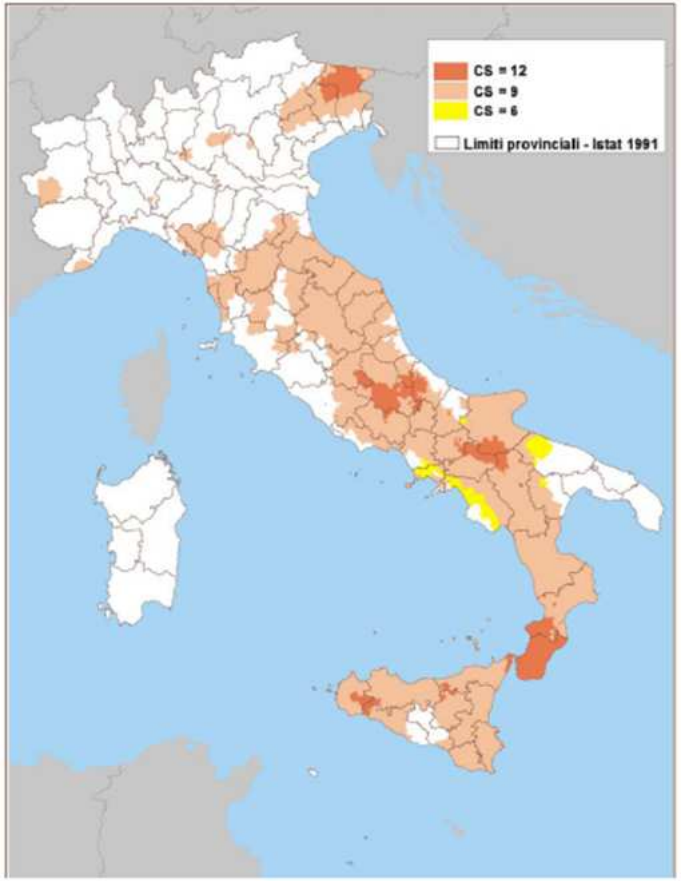
Consente l'analisi dinamica (modale)

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)



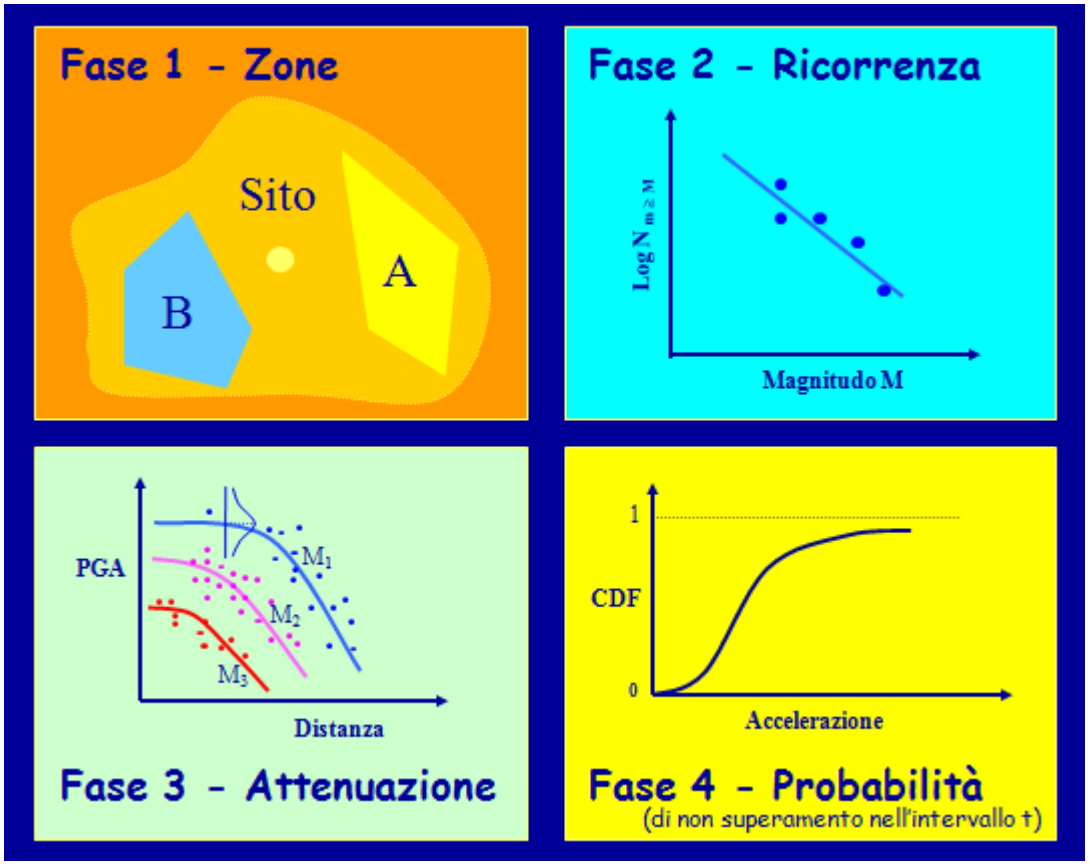
D.M. 3 giugno 1981 n. 515
Viene introdotta la zona sismica di terza categoria

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:

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

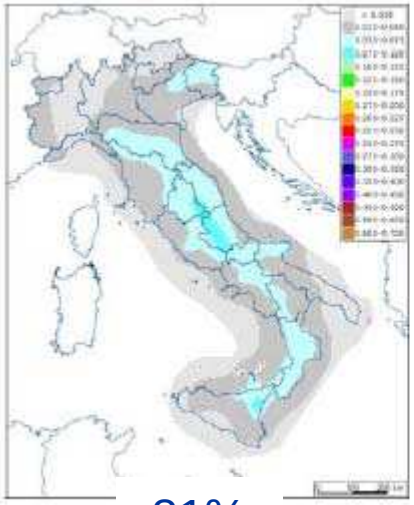
Esempio:
probabilità di superamento del 10% in 50 anni

Il periodo di ritorno è:

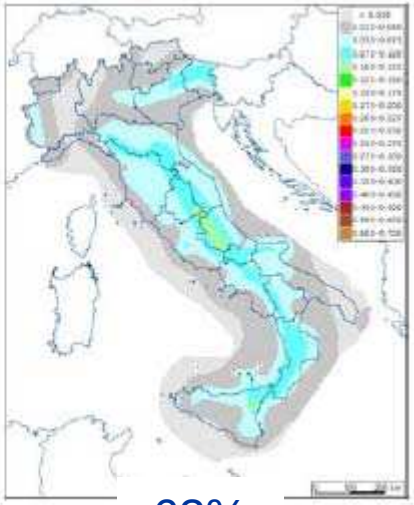
$$T_r = -\frac{50}{\ln(1 - 0.10)} = 474.6 \cong 475 \text{ anni}$$

Carte di pericolosità sismica

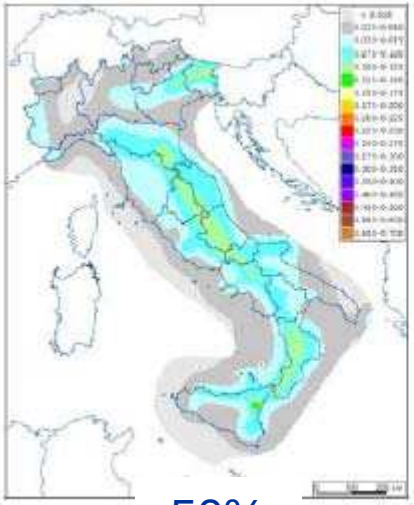
per diverse probabilità di superamento in 50 anni



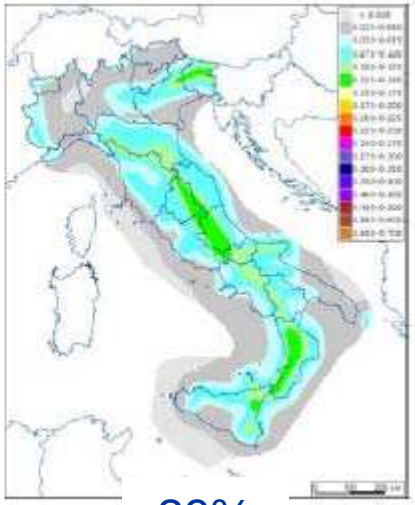
81%



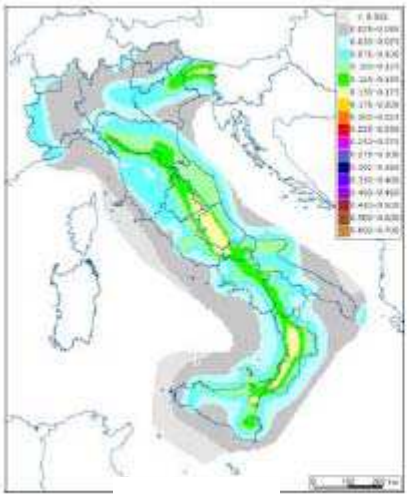
63%



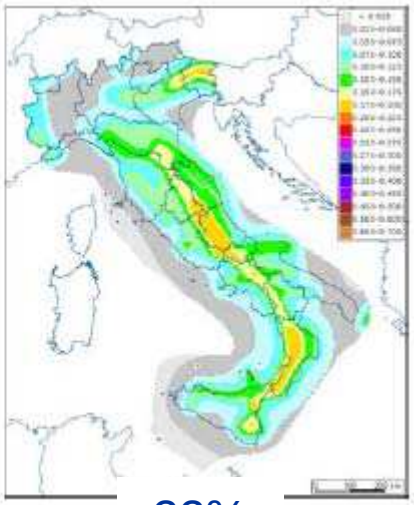
50%



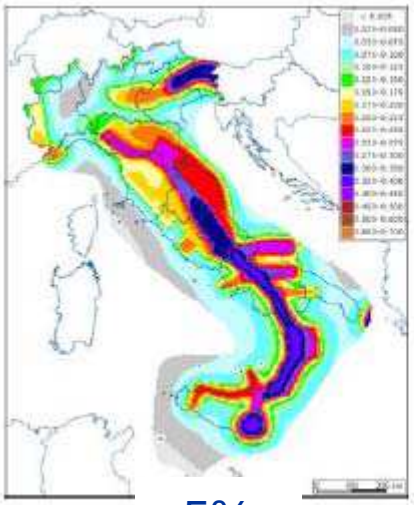
39%



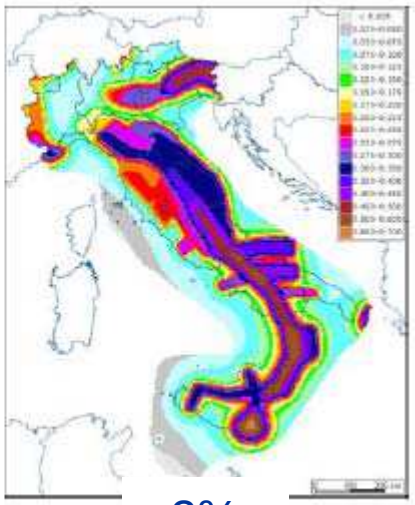
30%



22%



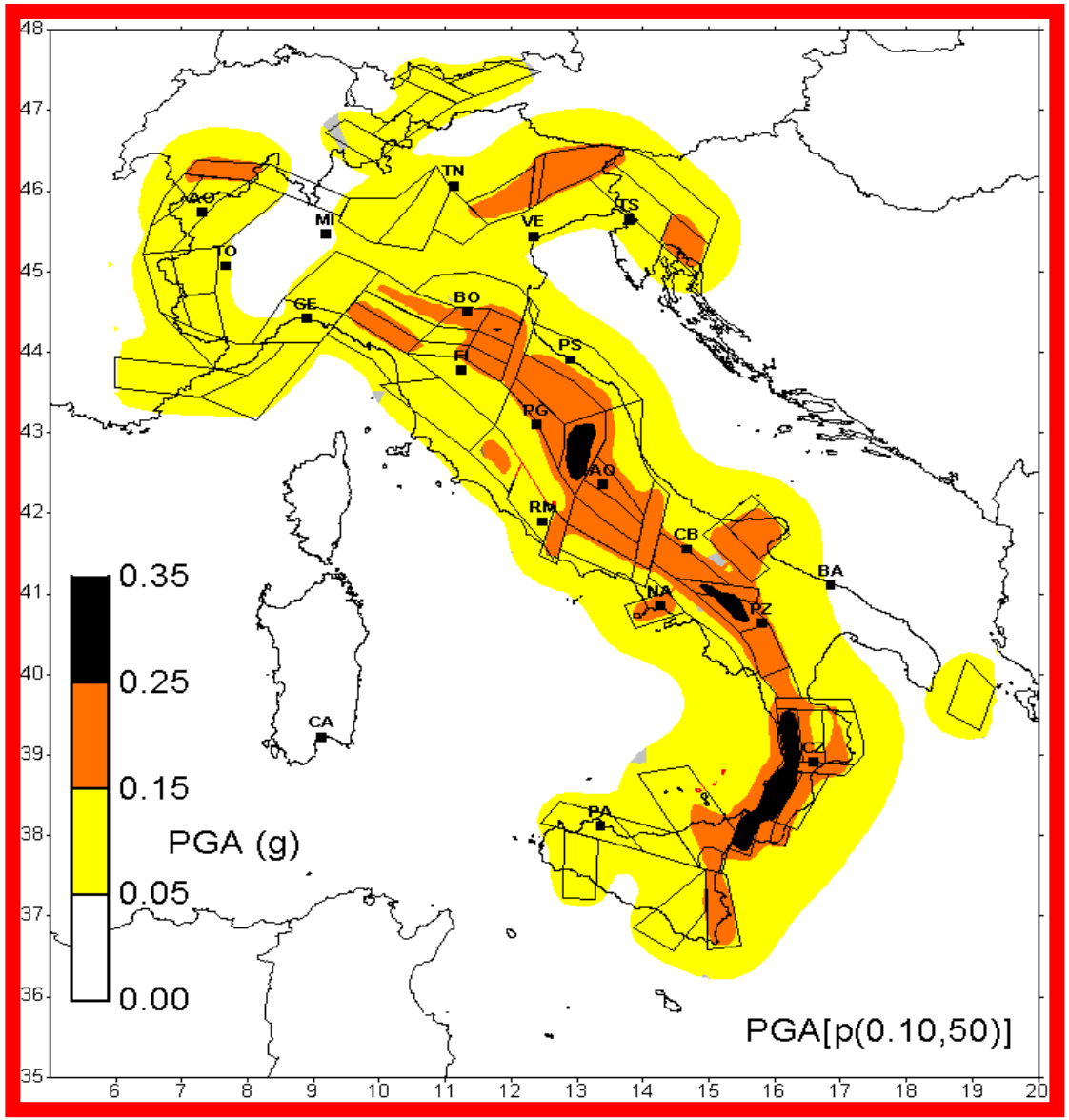
5%



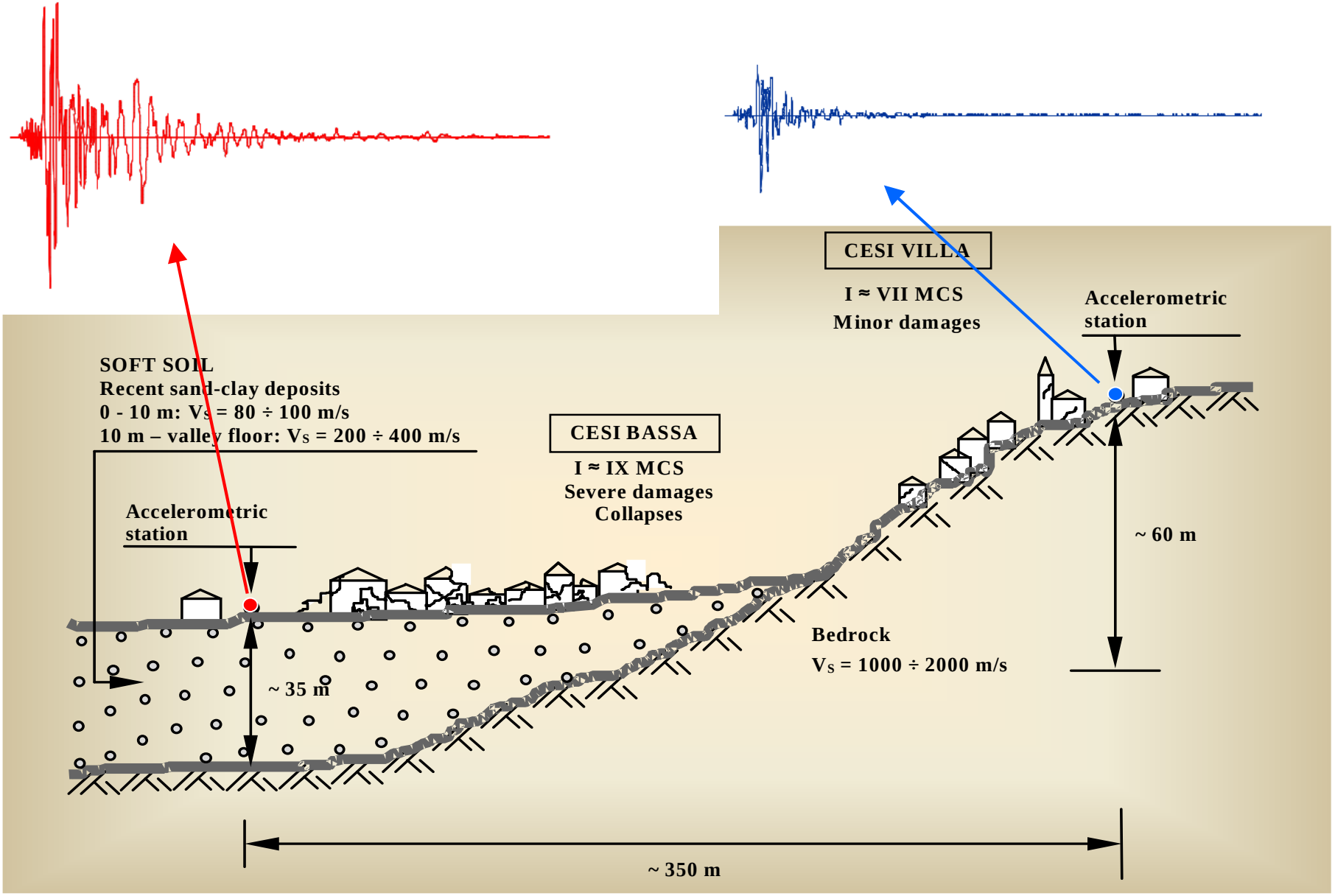
2%

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

P

Problematica

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

P

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 2013
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 rigidezza. L' opera dopo il sisma deve rimanere utilizzabile, pur se con limitazione d'uso di attrezzature

NTC08, punto 3.2.1

NTC13, punto 3.2.1

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 rigidezza 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.

NTC08, punto 3.2.1

NTC13, punto 3.2.1

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

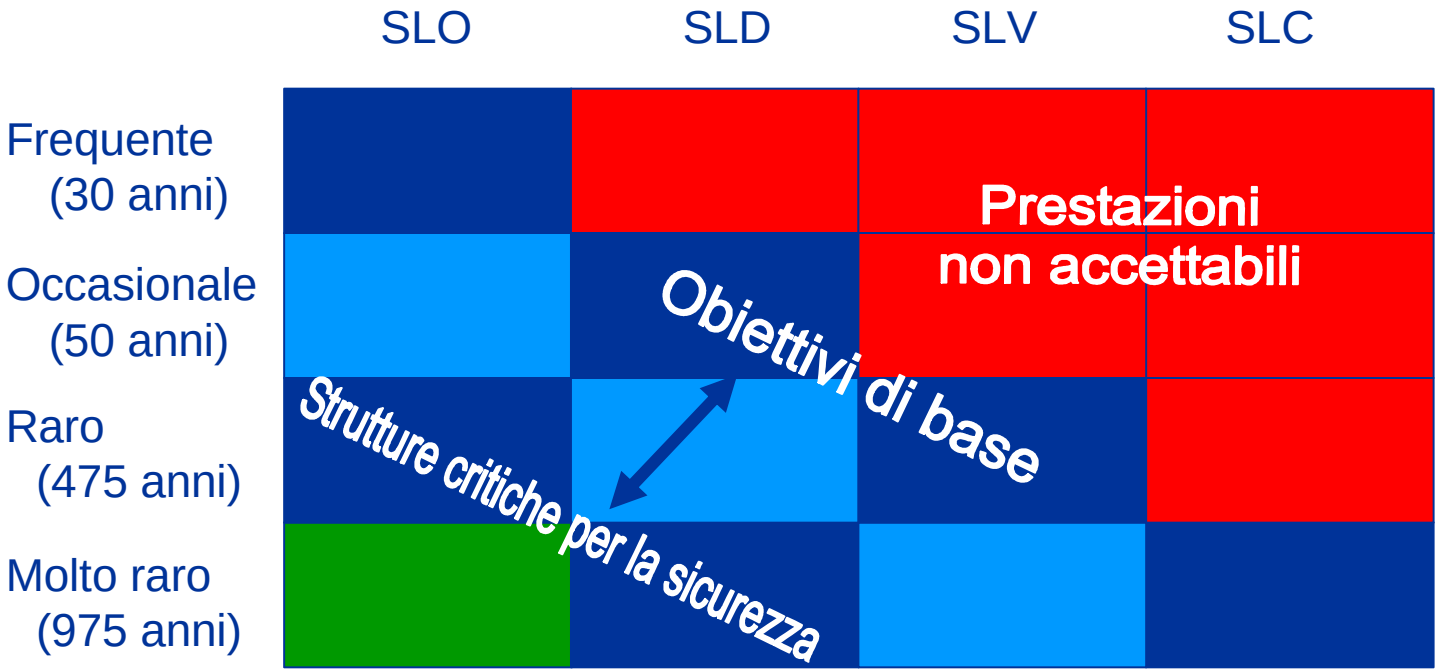
* Per V_R = 50 anni

NTC08, punto 3.2.1

NTC13, punto 3.2.1

Obiettivi prestazionali
e livelli di intensità sismica

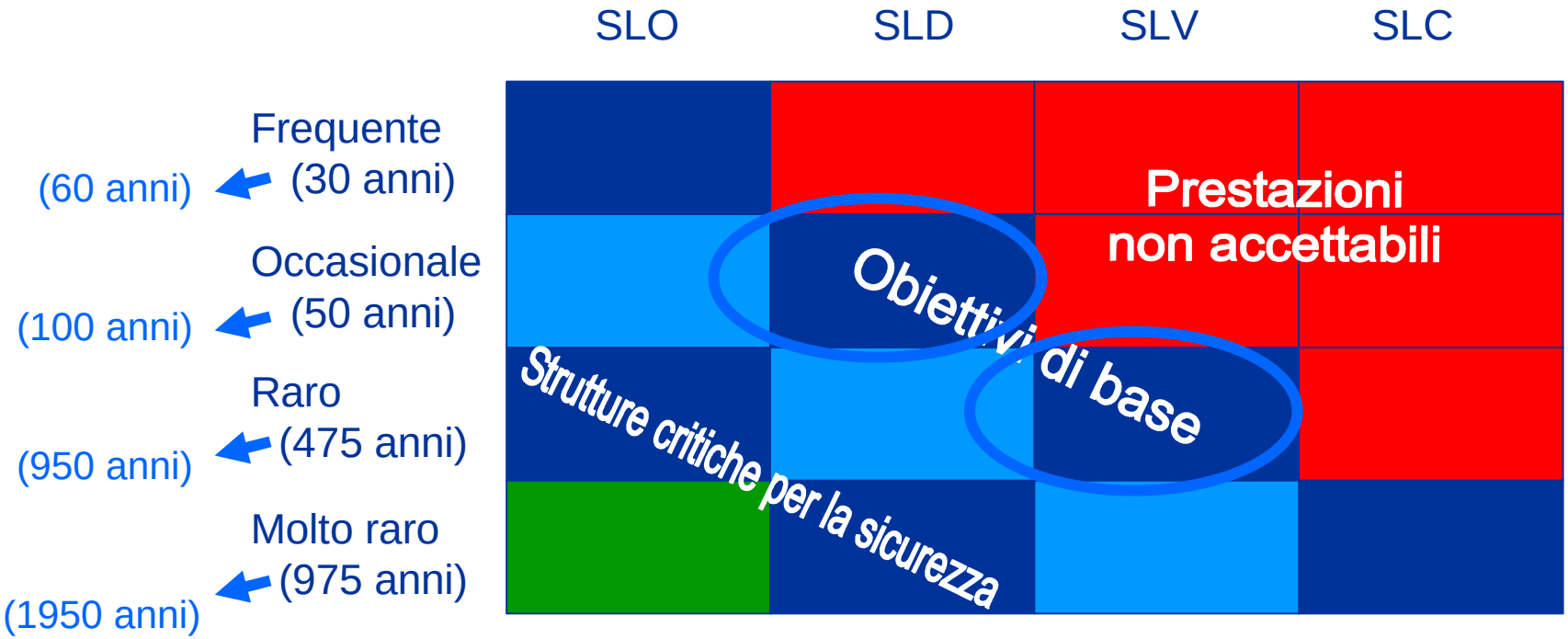
FEMA



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

Obiettivi prestazionali
e livelli di intensità sismica

NTC 08



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

Accelerazione di picco

L'intensità sismica è espressa come accelerazione di picco (PGA, peak ground acceleration)

L'accelerazione di picco dipende da:

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

Vita di riferimento V_R

L'intensità sismica è definita in funzione del periodo di ritorno T_r del sisma, che è legato alla vita di riferimento.

La vita di riferimento dipende da:

- Vita nominale V_N
- Classe d'uso

Vita nominale V_N

- Vita nominale:
  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	$\leq$ 10 anni
2	Opere ordinarie, ponti, opere infrastrutturali e dighe di dimensioni contenute o di importanza normale	$\geq$ 50 anni
3	Grandi opere, ponti, opere infrastrutturali e dighe di grandi dimensioni o di importanza strategica	$\geq$ 100 anni

NTC08, punto 2.4.1

Vita nominale V_N

- Vita nominale:
  numero di anni nel quale la struttura, purché soggetta alla manutenzione ordinaria, deve mantenere i livelli prestazionali per i quali è stata progettata

	TIPI DI COSTRUZIONE di nuova realizzazione	Vita nominale V_N
1	Costruzioni provvisorie, provvisionali e di presidio	$\geq$ 5 anni
2	Costruzioni ordinarie	$\geq$ 50 anni
3	Costruzioni di durabilità straordinaria	$\geq$ 100 anni

NTC13, punto 2.4.1

Vita nominale V_N

- Vita nominale:
  numero di anni nel quale la struttura, purché soggetta alla manutenzione ordinaria, deve mantenere i livelli prestazionali per i quali è stata progettata

	TIPI DI COSTRUZIONE esistenti	Vita nominale V_N
1	Costruzioni provvisorie, provvisionali e di presidio	$\geq$ 2 anni
2	Costruzioni ordinarie	$\geq$ 30 anni
3	Costruzioni di durabilità straordinaria	$\geq$ 60 anni

NTC13, punto 2.4.1

Classe d'uso

- 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

NTC08, punto 2.4.2

NTC13, punto 2.4.2

Vita di riferimento V_R

Dipende da:

- Vita nominale V_N
- Classe d'uso

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

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

Periodo di riferimento V_R per l'azione sismica

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

Esempio: edificio per abitazione di nuova realizzazione

Opera ordinaria

Normale affollamento

Periodo di ritorno T_r

Periodo di ritorno T_r (in anni)
in funzione di V_R e P_{VR}

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

NTC08, punto 3.2.1

NTC13, punto 3.2.1

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

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

Considerazioni

- A cosa servono le "classi d'uso" degli edifici?
  - 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) $C_U = 2$
    quindi $a_g \cong 0.25 \times \sqrt{2} = 1.41 \times 0.25\ g$

Considerazioni

- Nel passato: coefficiente di importanza I
  - Moltiplicatore delle forze di progetto
  - Per costruzioni usuali I = 1
  - Per edifici con affollamento I = 1.2
  - Per edifici strategici I = 1.4

Considerazioni

- A cosa servono le "classi d'uso" degli edifici?
  - 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 $a_g \cong 0.25 \times \sqrt{1.5} = 1.22 \times 0.25\ g$ nel passato 1.2
  - Per classe d'uso IV (edifici strategici) $C_U = 2$
    quindi $a_g \cong 0.25 \times \sqrt{2} = 1.41 \times 0.25\ g$ nel passato 1.4

Normativa europea
considerazioni

L'Eurocodice 8 prevede solo due requisiti:

- 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

La differenziazione in base all'uso viene fatta mediante il coefficiente di importanza γ_I

EC8, punto 2.1