



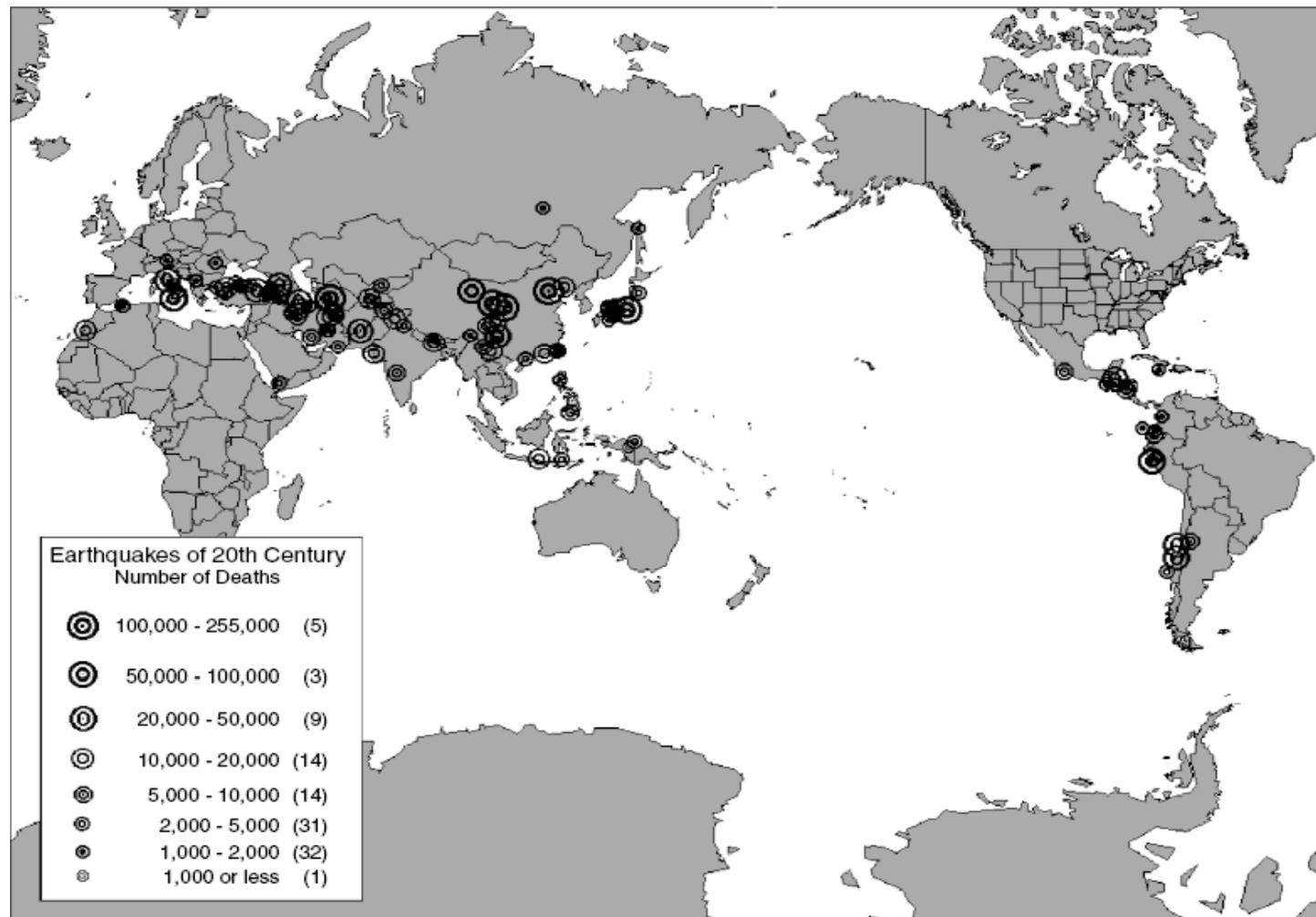
EVOLUZIONE DELLA NORMATIVA SISMICA

Claudio Amadio

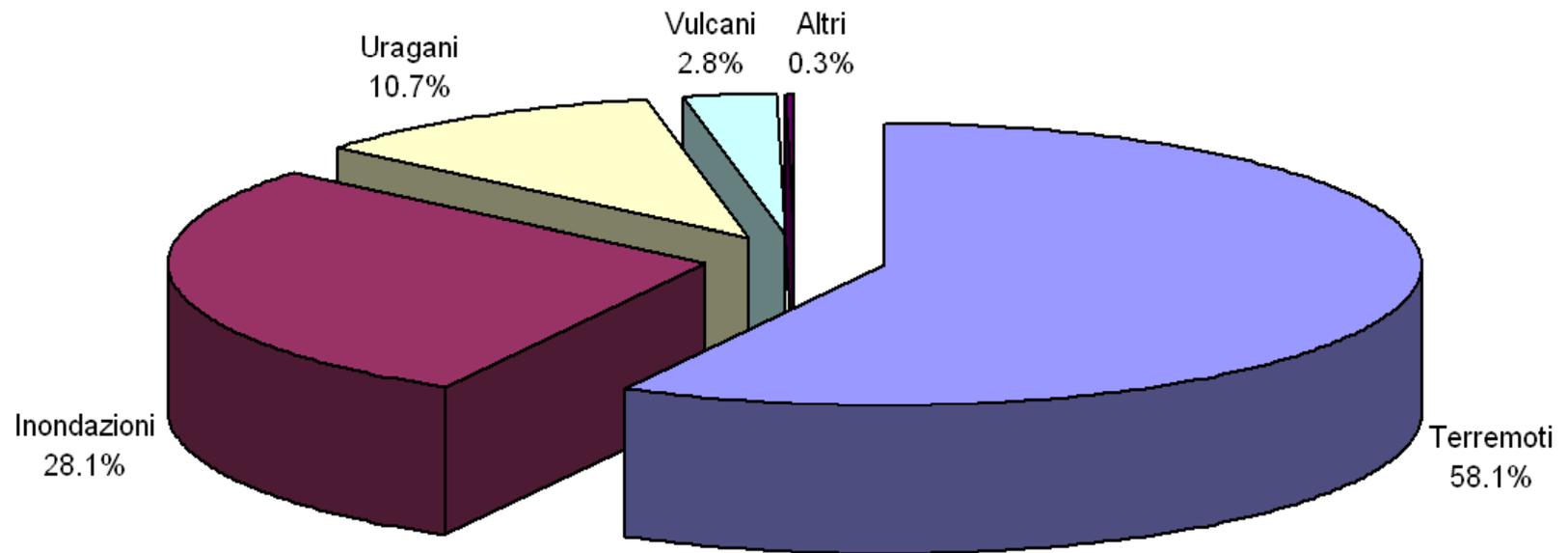
Full Professor

Department of Engineering and Architecture

University of Trieste



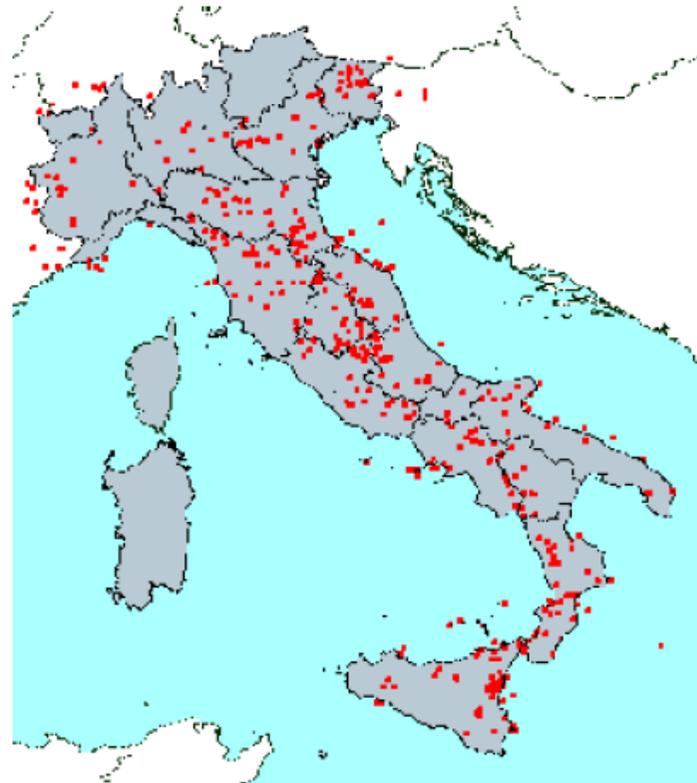
Terremoti avvenuti fra il 1900 ed il 2000 e causa di 1000 o più vittime



Percentuale di vittime dovute a disastri naturali nel XX secolo

EVENTI SISMICI

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



Dato che i terremoti rappresentano senza dubbio gli eventi più pericolosi e devastanti per numero di vittime e danni arrecati, sin dall'inizio dell'era moderna è stato ritenuto necessario sviluppare appropriati codici di progettazione antisismica

Una buona strategia di prevenzione dovrebbe essere basata su un approccio unitario che preveda:

- La classificazione sismica del territorio
- La progettazione antisismica delle nuove costruzioni
- L'adeguamento degli edifici esistenti

In realtà, le norme di progettazione antisismica sono sempre progredite a seguito di terremoti devastanti, instaurando una palese relazione di causa-effetto tra evento sismico e norma corrispondente.

In relazione alle indicazioni in esse contenute, si può stabilire una la seguente classificazione convenzionale:

Norme di I generazione; puramente prescrittive (antecedenti al 1960)

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

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

Norme di IV generazione; prestazionali multilivello (dopo il 2000)

I provvedimenti sismici più antichi emanati sono probabilmente quelli dovuti al grande terremoto del 1755 di Lisbona, Portogallo.

Principalmente erano costituiti da regole preventive; ad esempio proibivano i tipi di costruzioni che erano risultate deboli ed erano collassate, mentre richiedevano l'utilizzo di determinati dettagli costruttivi e tecniche che erano risultate molto performanti.

NORME DI PRIMA GENERAZIONE

In Italia le prime misure di previdenza sismica sono quasi certamente quelle del 28 Marzo 1784, emanate dal Governo Borbonico dopo il terremoto che devastò la Calabria nel 1783.

Queste e tutte quelle che seguirono fino all'inizio del ventesimo secolo si limitavano a limitazioni prescrittive e dell'altezza degli edifici.

Un miglioramento decisivo avvenne conseguentemente al terremoto di Messina del 28 dicembre 1908. Un sisma dell'intensità di 7,5 gradi Richter che causò la morte di ottantamila persone.

La norma che ne seguì, il Regio Decreto n. 193 del 18 aprile 1909, può essere considerata la prima vera normativa sismica Italiana.

NORME DI PRIMA GENERAZIONE



Terremoto di Messina, 1908

NORME DI PRIMA GENERAZIONE

Il Regio Decreto n. 193 del 18 aprile 1909, impose alle strutture di resistere a delle **forze statiche equivalenti laterali** (*Equivalent Lateral Force ELF*), rappresentative degli effetti dinamici applicati alle masse dell'edificio e dovute al moto sismico.

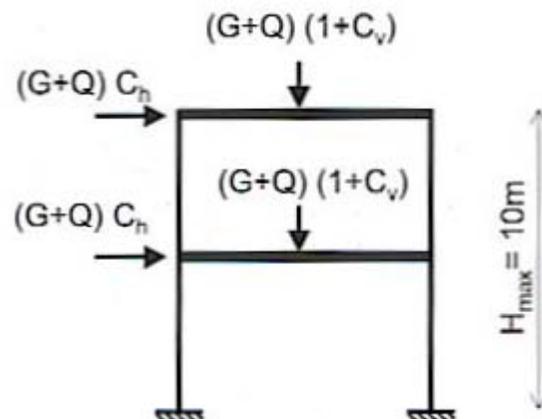
Questo metodo è ancor oggi utilizzato, seppur con i dovuti accorgimenti, dai principali codici come metodo semplificato di analisi sismica.

La commissione incaricata di predisporre le norme del 1909 decise di dedurre direttamente per determinati tipologie di edifici, di cui si era constatata l'incolumità in un numero abbastanza grande di casi, quali siano le forze massime che avrebbero potuto essere sopportate dall'edificio, per servirsene poi nel calcolo di fabbricati nuovi.

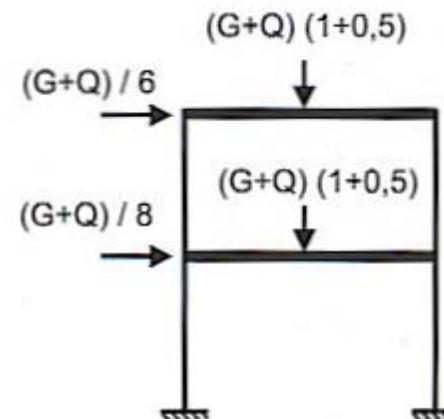
NORME DI PRIMA GENERAZIONE

Gli studi svolti portarono alla conclusione che “le forze convenzionali da introdurre nei calcoli ... corrispondevano ad una accelerazione di 700 ad 800 mm/s²”. Venne quindi proposto di utilizzare forze orizzontali pari ad una quota C_h dei carichi verticali, costanti piano per piano, ed amplificare gli effetti dei carichi verticali con un coefficiente C_v . Con il DLL 1526 del 1916 vennero meglio modellate tali azioni.

R.D. n. 193 del 18 aprile 1909

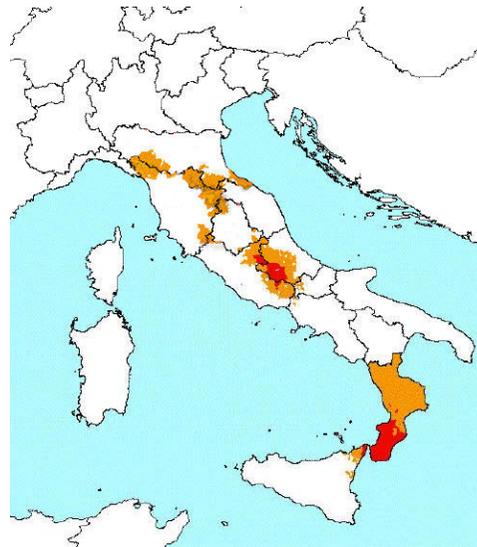


Decreto legge n. 1526 del 1916



NORME DI PRIMA GENERAZIONE

A queste norme ne seguirono altre di perfezionamento, tra le quali il R.D. 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.

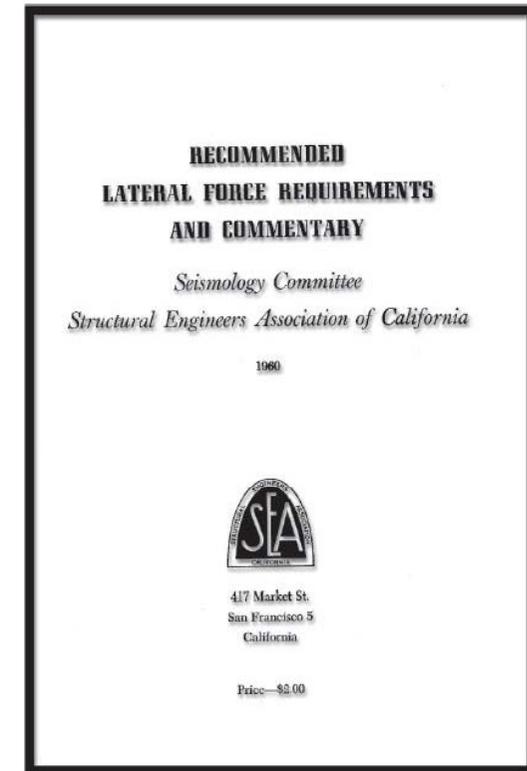


Zonazione del R.D. n. 431 del 1927

NORME DI II GENERAZIONE

Le norme di seconda generazione nascono in Italia con la **legge n. 64 del 2-2-1974**. Questa norma è di tipo **prestazionale di primo livello**, nel senso che si focalizza nei confronti di terremoti violenti (periodo di ritorno 475 anni) e richiede come prestazione la salvaguardia delle vite umane (ovvero evitare il crollo).

Detta norma si rifà alle ricerche sviluppate negli USA dai ricercatori del California Institute of technology (Biot, Housner e altri) che iniziarono a formalizzare il concetto di **SPETTRO DI RISPOSTA ELASTICO** e portarono alle norme UCB 1958 e SEAOC 1960.



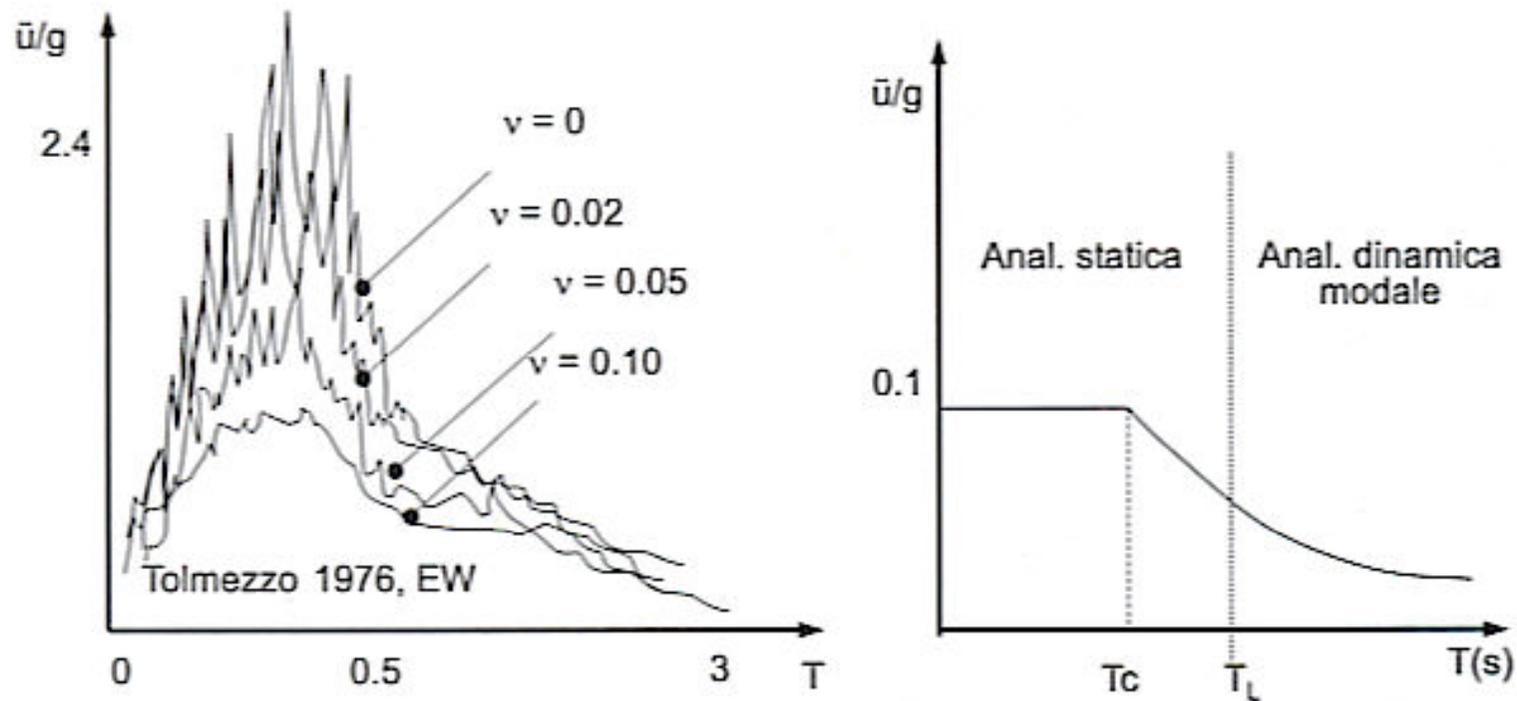
SEAOC Blue Book, 1960

La legge n. 64, **ancora in vigore**, rappresenta la **legge quadro della normativa sismica Italiana**, stabilendo le linee guida in materia di progettazione e demandando al Ministero dei Lavori Pubblici il compito di emanare con specifici decreti le norme tecniche contenenti le indicazioni progettuali.

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

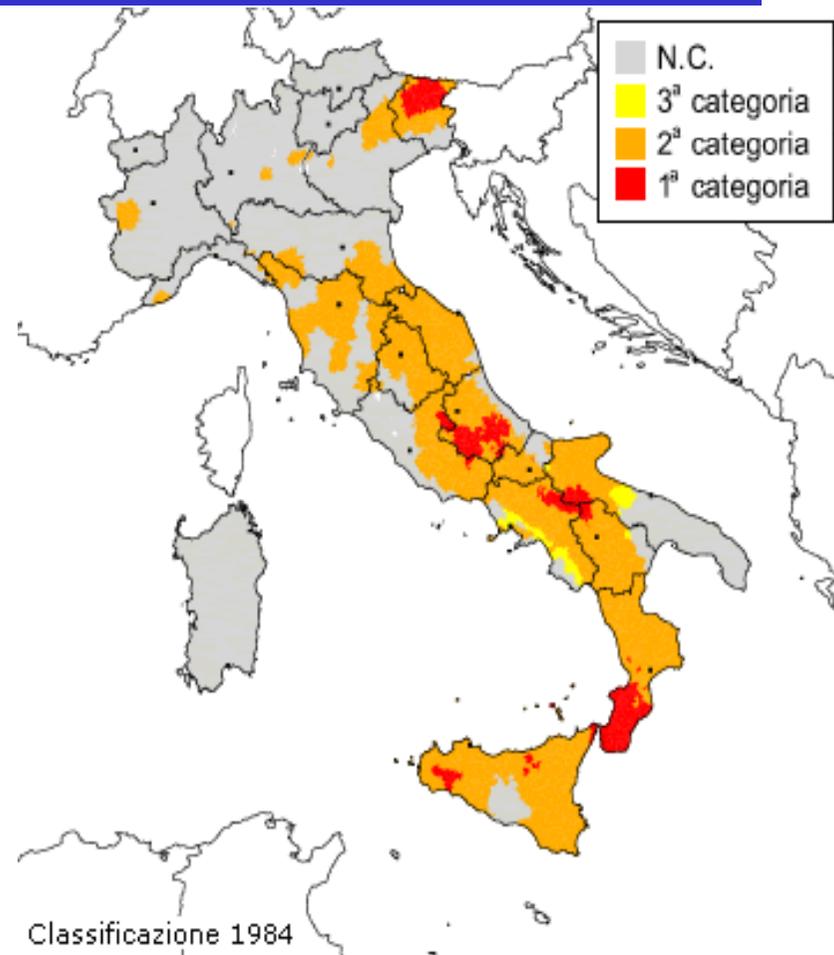
- **Classificazione sismica**, stabilendo di procedere in base a comprovate motivazioni tecnico-scientifiche.
- Considerare gli **effetti amplificativi del terreno** mediante micro-zonazione
- Possibilità di usare l'**analisi multi-modale** al posto dell'analisi statica equivalente
- Uso dello **spettro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

NORME DI II GENERAZIONE



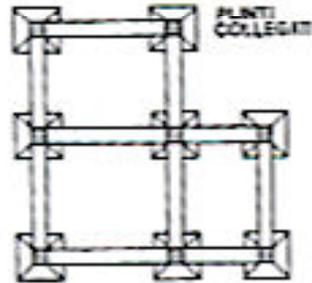
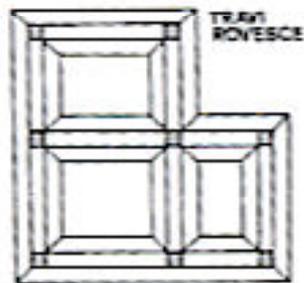
Esempio di uno spettro di risposta elastico, introdotto per la prima volta in Italia nel Decreto del 3 Marzo 1975

NORME DI II GENERAZIONE

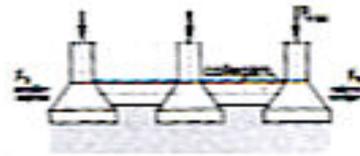


Zonazione sismica secondo DMLLPP del 1984

NORME DI II GENERAZIONE

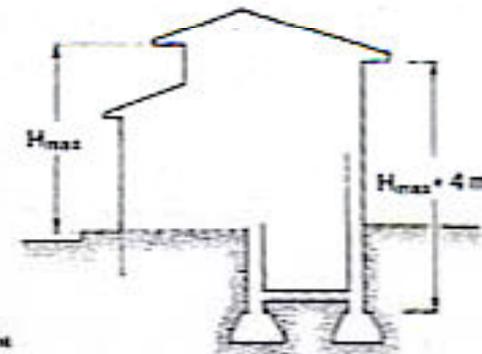
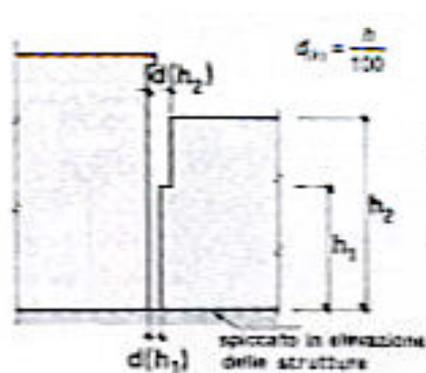


$$F_s = \frac{P_{max}}{10}$$



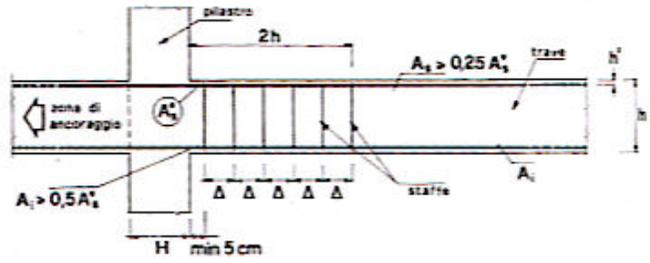
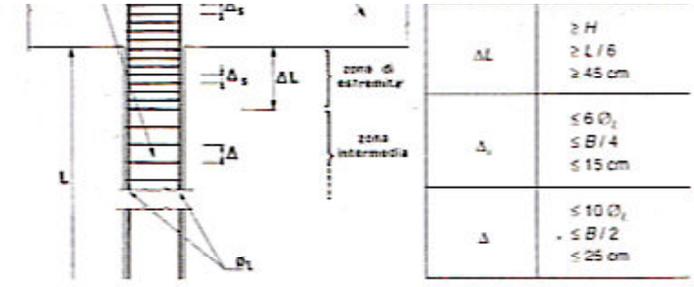
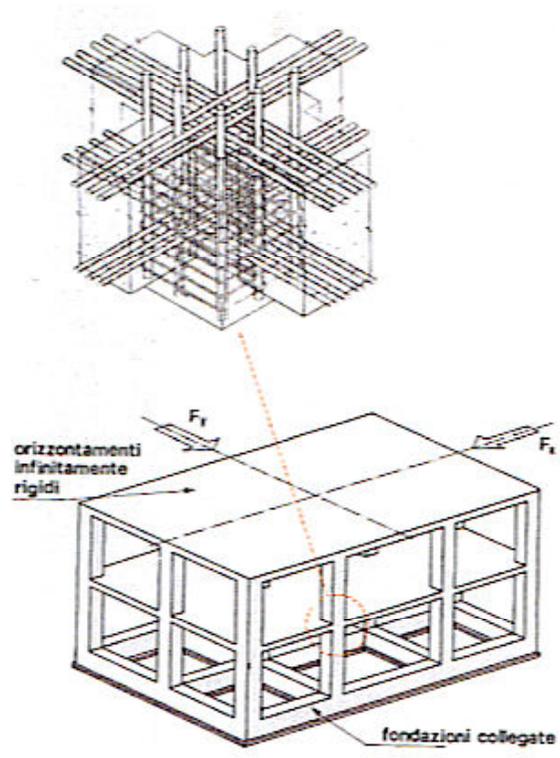
Altezze massime

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	16
Intelaiatura in c.a. o in acciaio	nessuna limitazione		



DM 24 Gennaio 1986: alcune prescrizioni di progetto generali

NORME DI II GENERAZIONE



	tipo di acciaio	f_{yk}	$\rho_{min} \%$	$\rho_{max} \%$
$\frac{1,4}{f_{yk}} < p < \frac{7}{f_{yk}}$ (in N/mm ²)	FeB 22K	215	0,65%	3,20%
	FeB 32K	315	0,44%	2,22%
	FeB 38K	375	0,37%	1,87%
	FeB 44K	430	0,33%	1,63%
$\phi A_s \geq 2 \phi 12$	STAFFE		$\leq (h - H)/4$ $\Delta \leq 6 \phi \text{ min}$ $\leq 15 \text{ cm}$	

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

NORME DI III GENERAZIONE

In ambito nazionale ed europeo, rientrano tra le norme di III generazione:

Le norme ECCS n.54 per le costruzioni metalliche del 1988

L'Eurocodice 8, le cui previsioni risalgono agli anni 1988-1994

L'O.P.C.M. 3274 del 2003 e successive modifiche
NORME TECNICHE (“Testo Unico” del 2005)

Si tratta di norme a **doppio livello di prestazione** che si contraddistinguono in primo luogo per l'**adozione esclusiva del metodo di calcolo semiprobabilistico agli stati limite**, a scapito di quello alle tensioni ammissibili.

NORME DI III GENERAZIONE

La risposta del sistema è analizzata con riferimento principalmente a due eventi sismici:

- a) **Il terremoto di servizio**, caratterizzato da tempo di ritorno attorno a 70 anni
- b) **Il terremoto distruttivo** con tempo di ritorno attorno a 475 anni.

A tali eventi sono associati due distinti livelli prestazionali o obiettivi di progetto:

- a) **Lo Stato Limite di Esercizio o di Danno**
- b) **Lo Stato Limite Ultimo.**

NORME DI III GENERAZIONE

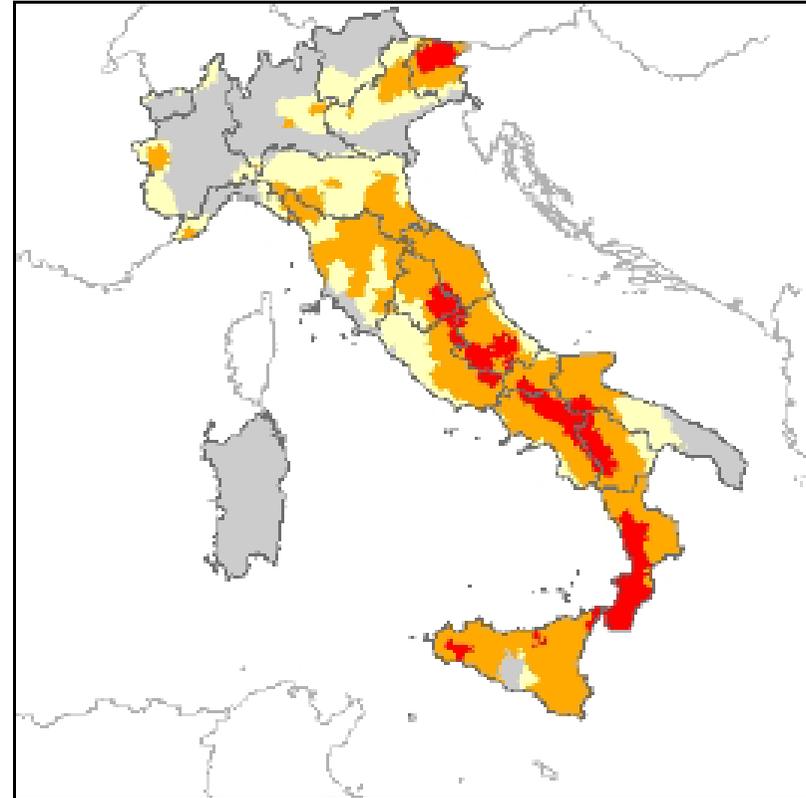
● La verifica allo Stato limite di Danno consiste nell'accertarsi che il sistema sottoposto al terremoto di servizio, subisca un ridotto danneggiamento alle parti strutturali e non strutturali, ovvero che lo spostamento d'interpiano sia contenuto entro determinati valori.

● La verifica allo Stato Limite Ultimo consiste nell'accertarsi che, in corrispondenza del terremoto distruttivo, pur subendo danni gravi, 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 (Life-safety).

AGGIORNAMENTO CLASSIFICAZIONE SISMICA



Vecchia classificazione



Classificazione 2003

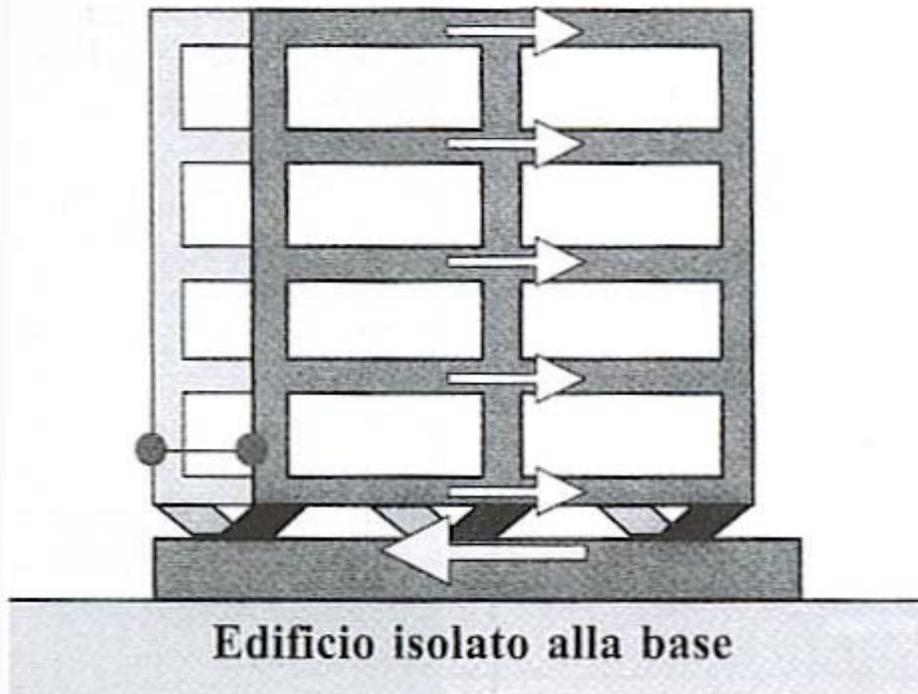


NORME DI III GENERAZIONE

Le norme di III generazione in particolare 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:

- a) L'uso di dispositivi speciali di dissipazione (dissipatori)
- b) L'uso di sistemi iper-resistenti o non dissipativi
- c) Favorendo la plasticizzazione di alcune parti della struttura e non di altre (**CRITERIO DI GERARCHIA DELLE RESISTENZE**)

NORME DI III GENERAZIONE



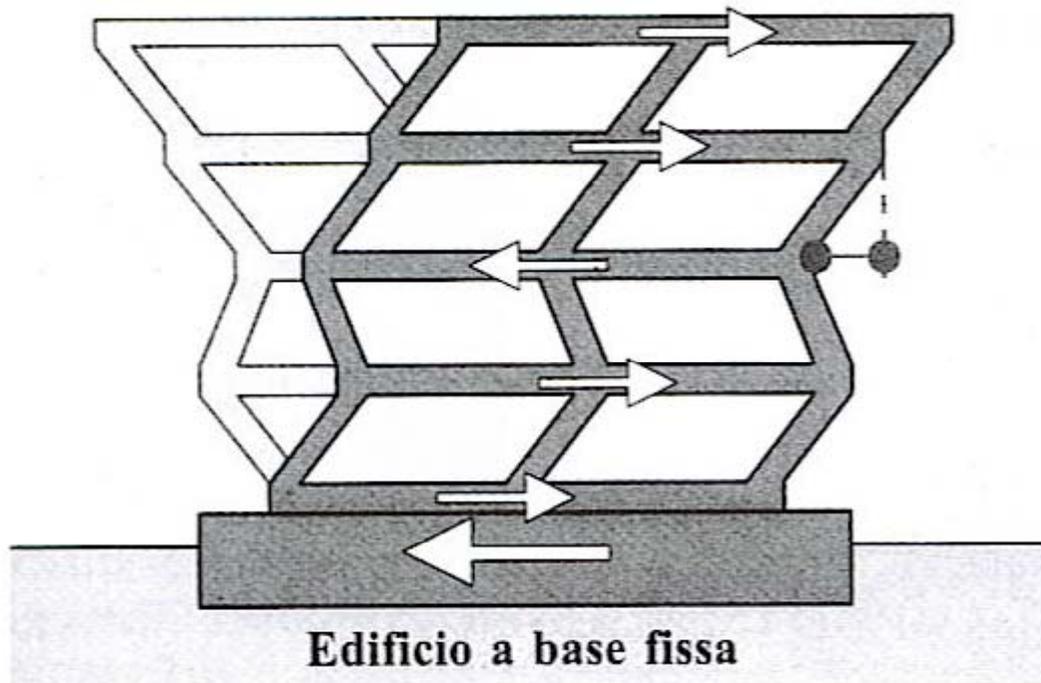
Strategia di progettazione antisismica attraverso isolatori alla base

NORME DI III GENERAZIONE



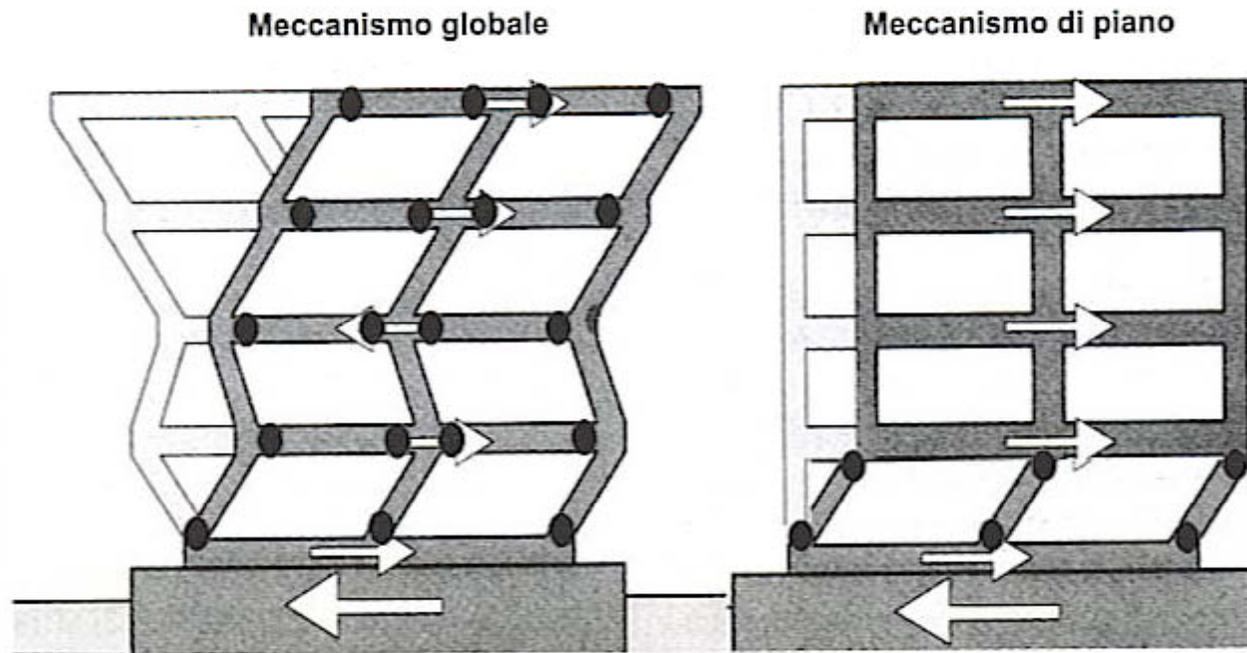
**Dispositivi speciali di
dissipazione utilizzati nella
progettazione antisismica**

NORME DI III GENERAZIONE



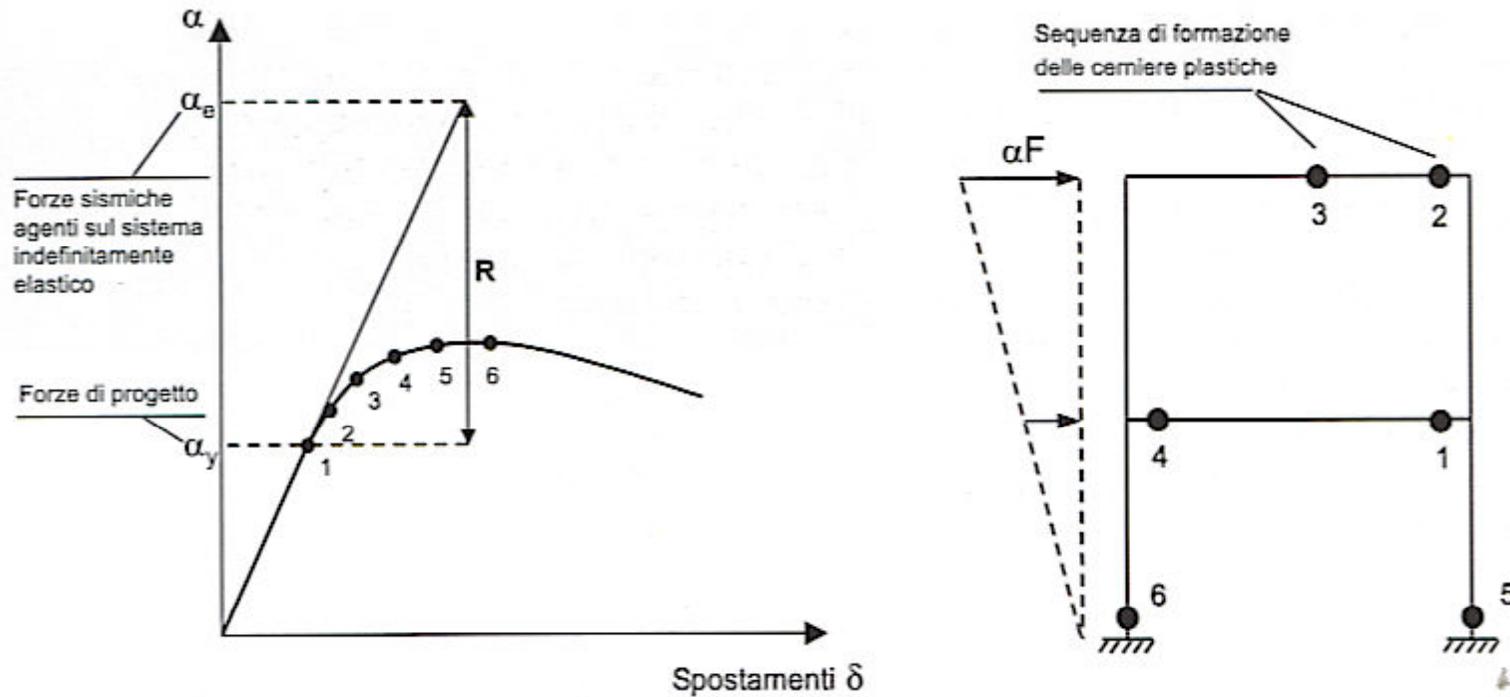
Strategia di progettazione antisismica attraverso dissipazione energetica mediante plasticizzazione di alcune parti della struttura

NORME DI III GENERAZIONE



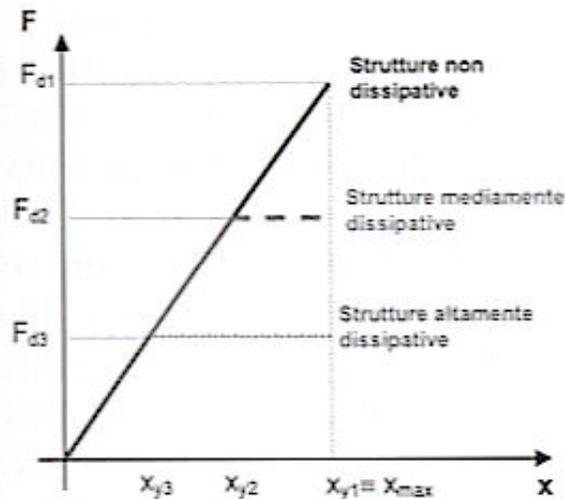
Gerarchia delle resistenze

NORME DI III GENERAZIONE

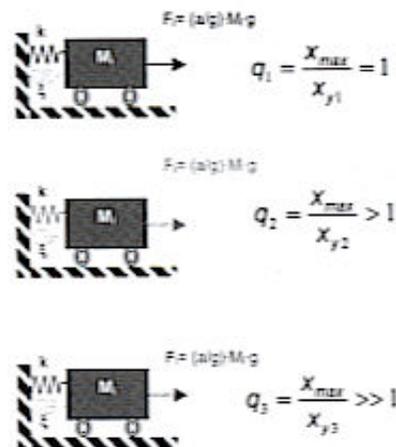


Uso del fattore di struttura $R=q$

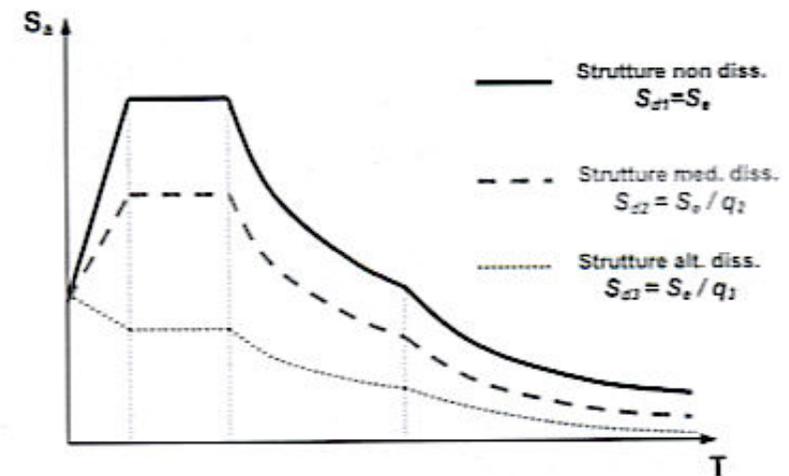
NORME DI III GENERAZIONE



H_p: Equivalenza cinematica
 $X_{ep} = X_{el}$



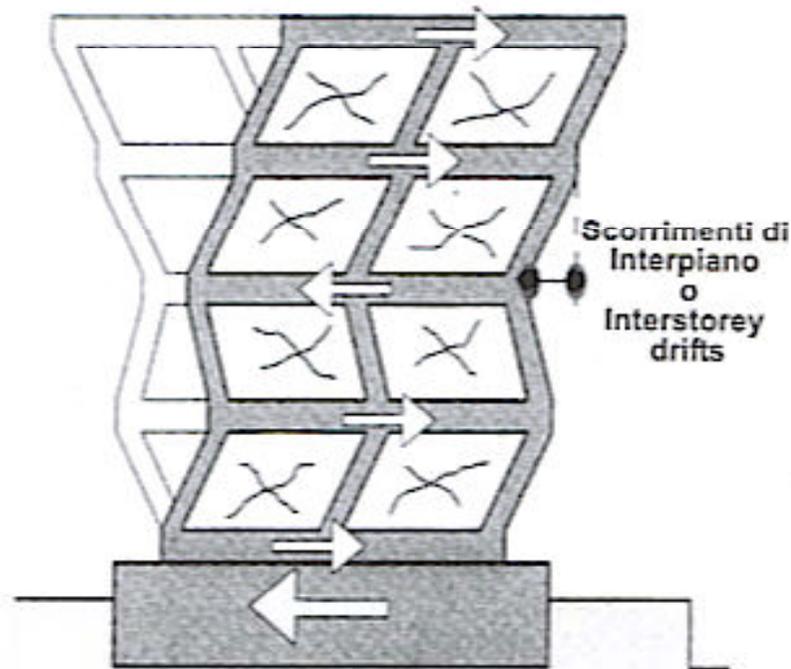
Spettri di progetto



Uso dello Spettro di Progetto e uso del fattore di struttura q per la verifica agli SLU

NORME DI III GENERAZIONE

Stato limite di Danno

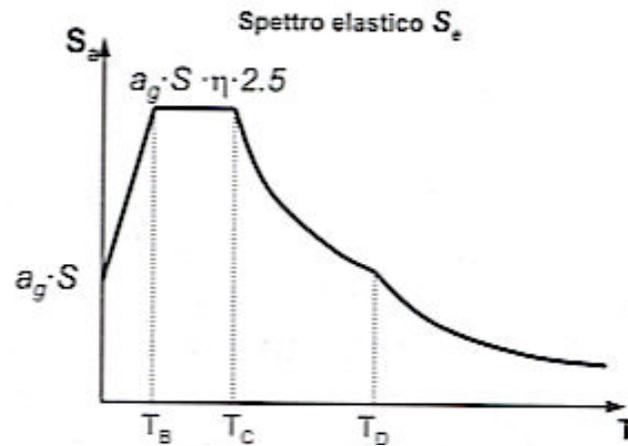


SPOSTAMENTI DI INTERPIANO LIMITE

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 III GENERAZIONE



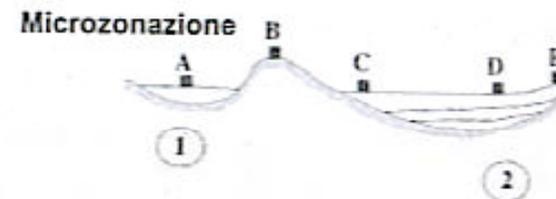
- a_g = accelerazione di picco o PGA
- S = fattore suolo
- T_B T_C = Periodi di riferimento per la individuazione della zona di max amplificazione
- T_D = Periodo a cui corrisponde l'inizio del tratto a spostamento costante dello spettro
- η = fattore di smorzamento (per $\xi = 5\%$)



Macrozonazione

Zona	a_g
1	0,35 g
2	0,25 g
3	0,15 g
4	0,05 g

Categoria suolo	S	T_B	T_C	T_D
A	1,00	0,15	0,40	2,00
B, C, E	1,25	0,15	0,50	2,00
D	1,35	0,20	0,80	2,00



Lo spettro di risposta elastico

NORME DI III GENERAZIONE

a) Controventi concentrici a diagonale tesa attiva

b) Controventi concentrici a V

c) Controventi concentrici a K

d) Controventi eccentrici

e) Strutture a mensola o a pendolo invertito

f) Strutture intelaiate controventate

TIPOLOGIA STRUTTURALE	CLASSE DI DUTTILITÀ	
	BASSA	ALTA
Strutture intelaiate	4	$5\alpha_2/\alpha_1$
Controventi reticolari concentrici	2	4
Controventi eccentrici	4	$5\alpha_2/\alpha_1$
Strutture a mensola o a pendolo invertito	2	—
Strutture intelaiate controventate	4	$4\alpha_2/\alpha_1$

NORME DI III GENERAZIONE

$$M_{c,Rand} \geq M_{c,SEG} + \alpha \cdot M_{c,SAE}$$

$$\alpha = \min \left\{ \frac{\gamma_{ov} \cdot S \cdot M_{b,RA,i} - M_{b,SA,G,i}}{M_{b,SA,E,i}} ; q \right\}$$

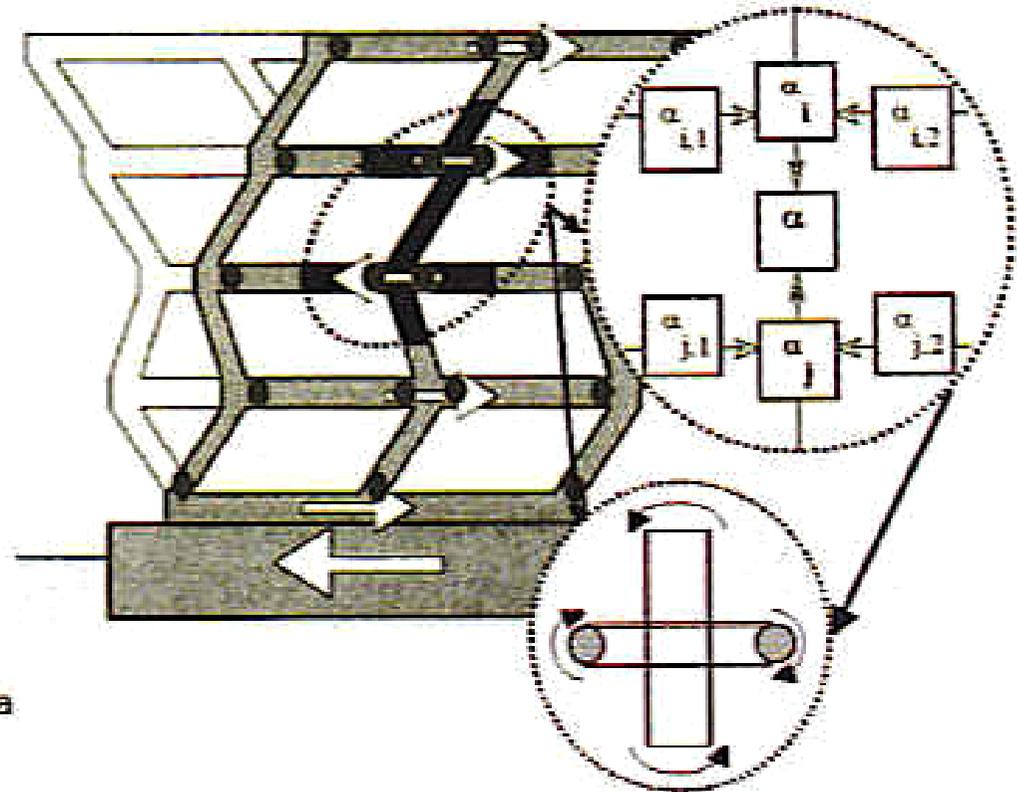
$M_{c,SEG}$ = sollecitazione di progetto nelle colonne dovuta ai soli carichi verticali

$M_{c,SAE}$ = sollecitazione di progetto nelle colonne dovuta alle azioni sismiche

$M_{c,Rand}$ = resistenza flessionale di progetto nelle colonne ridotta per la presenza dello sforzo normale

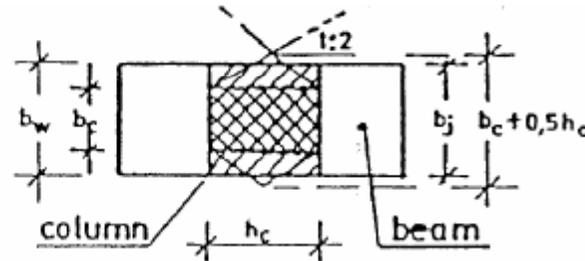
$M_{b,SEG,i}$, $M_{b,SAE,i}$ = sollecitazioni di progetto nella trave i-esima

$M_{b,RAE,i}$ = resistenza flessionale della trave i



Critério di gerarchia per le zone nodo di un telaio dissipativo

NORME DI III GENERAZIONE



Larghezza delle Travi:

$$b \geq 20\text{cm}$$

Travi in spessore: Vedi Figura

$$b/h \geq 0,25$$

Disposizioni costruttive per le armature delle travi

ARMATURE DELLE TRAVI NEI NODI

Di regola, niente giunzioni nei nodi

Se devono essere ancorate nei nodi:

- Ancorate oltre la faccia opposta all'intersezione oppure verticalmente in prossimità di tale faccia;
- Lb tale che sia possibile sviluppare $1,25f_{yk}$ a partire da 6ϕ dalla faccia del pilastro

ARMATURE LONGITUDINALI

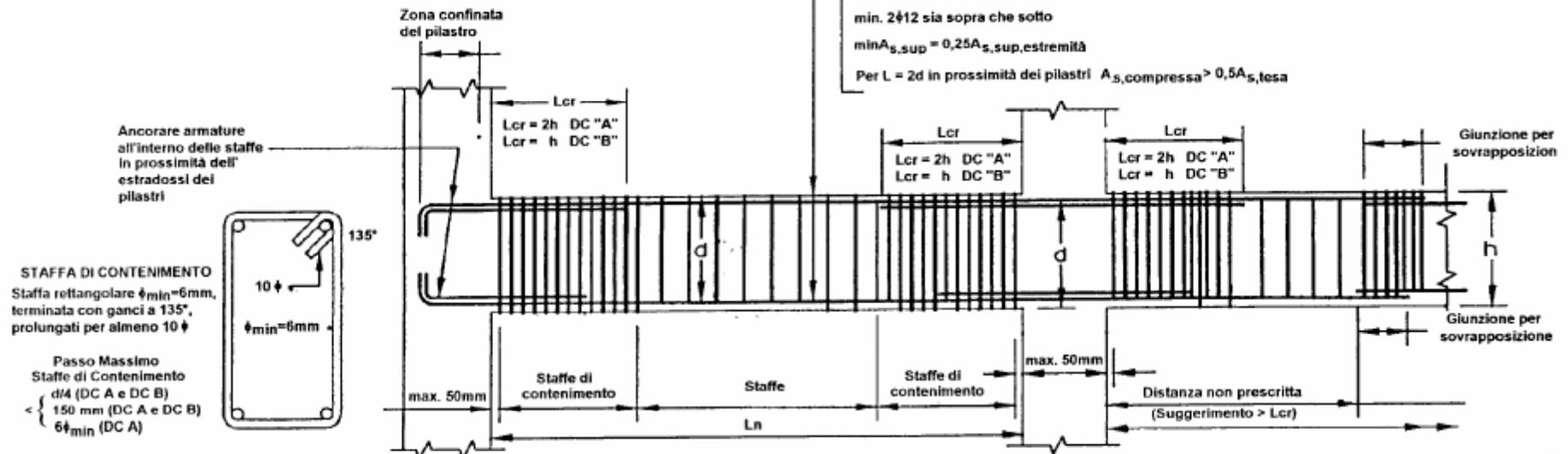
$$\frac{1,4}{f_{yk}} < \rho < \frac{7}{f_{yk}} \quad (0,33\% < \rho < 1,63\%) \text{ Superiore e Inferiore}$$

$$0,75A_{s,sup} \text{ contenuta entro: } \begin{cases} \text{Larghezza anima della trave} \\ \text{Larghezza Pilastro (se non c'è trave ortogonale)} \\ \text{Larghezza Pilastro} + 2h_{soletta} \text{ (se c'è trave ortogonale)} \end{cases}$$

min. $2\phi 12$ sia sopra che sotto

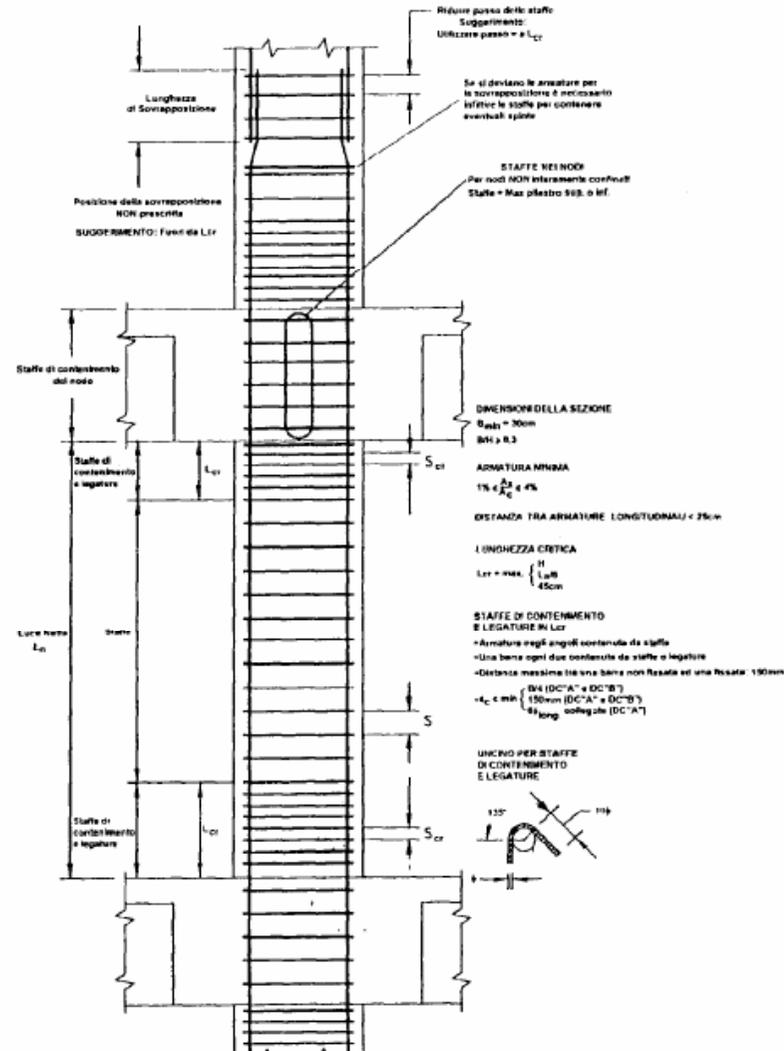
$$\min A_{s,sup} = 0,25A_{s,sup,estremità}$$

$$\text{Per } L = 2d \text{ in prossimità dei pilastri } A_{s,compressa} > 0,5A_{s,tesa}$$

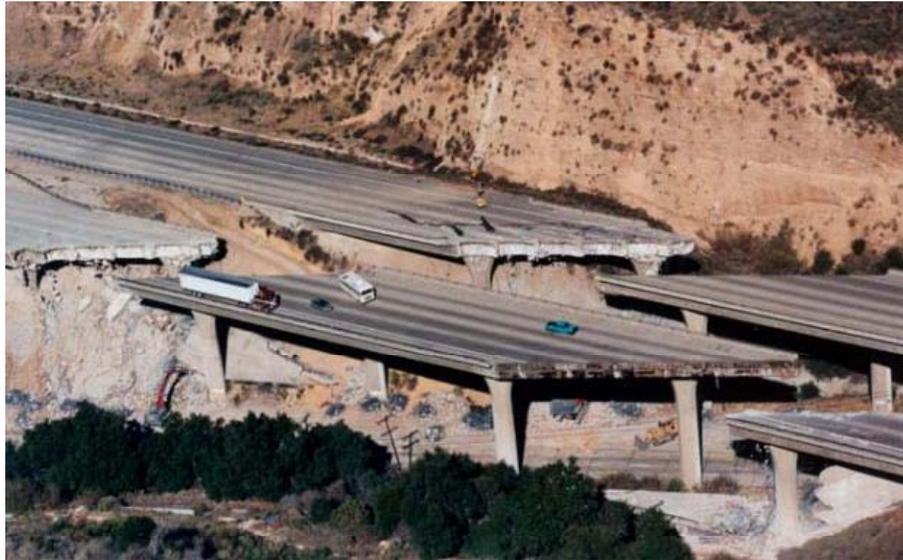


NORME DI III GENERAZIONE

RIEPILOGO DISPOSIZIONI COSTRUTTIVE PILASTRI



EFFETTO DI SISMI DISTRUTTIVI SU STRUTTURE DI RECENTE COSTRUZIONE



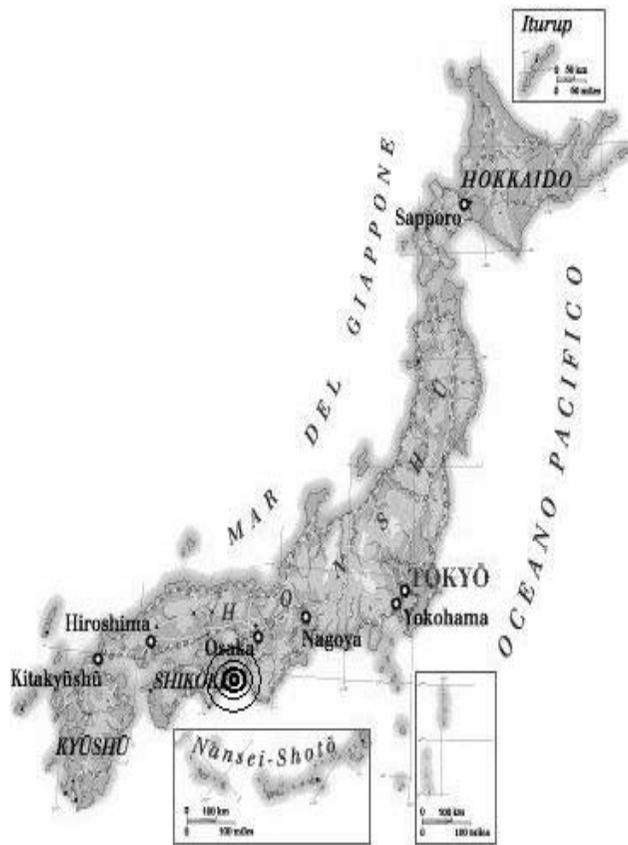
Northridge 17-1-1994

EFFETTO DI SISMI DISTRUTTIVI SU STRUTTURE DI RECENTE COSTRUZIONE



Northridge 17-1-1994

EFFETTO DI SISMI DISTRUTTIVI SU STRUTTURE DI RECENTE COSTRUZIONE



Kobe 17-1-1995

EFFETTO DI SISMI DISTRUTTIVI SU STRUTTURE DI RECENTE COSTRUZIONE



Kobe 17-1-1995

NORME DI IV 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 di esercizio ed ultimo, dei livelli intermedi, ha determinato la nascita di una nuova generazione di codici, detti di **multi-livello**.

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

Tra queste norme si possono al momento annoverare:

- SEAOC-Vision (1995) per edifici di nuova costruzione
- ATC40 (1995) per edifici esistenti
- FEMA 273 (1995) per edifici nuovi ed esistenti.
- EC8 (2003), per edifici esistenti
- **NORME TECNICHE DELLE COSTRUZIONI (NTC2008)**

NORME DI IV GENERAZIONE

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

Abbandono totale quindi 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 della finalità e del rilievo di ogni singola operazione e consente di graduare le prestazioni richieste all'opera in corso di progettazione in relazione ad esigenze di natura sociale ed economica.

NORME DI IV GENERAZIONE

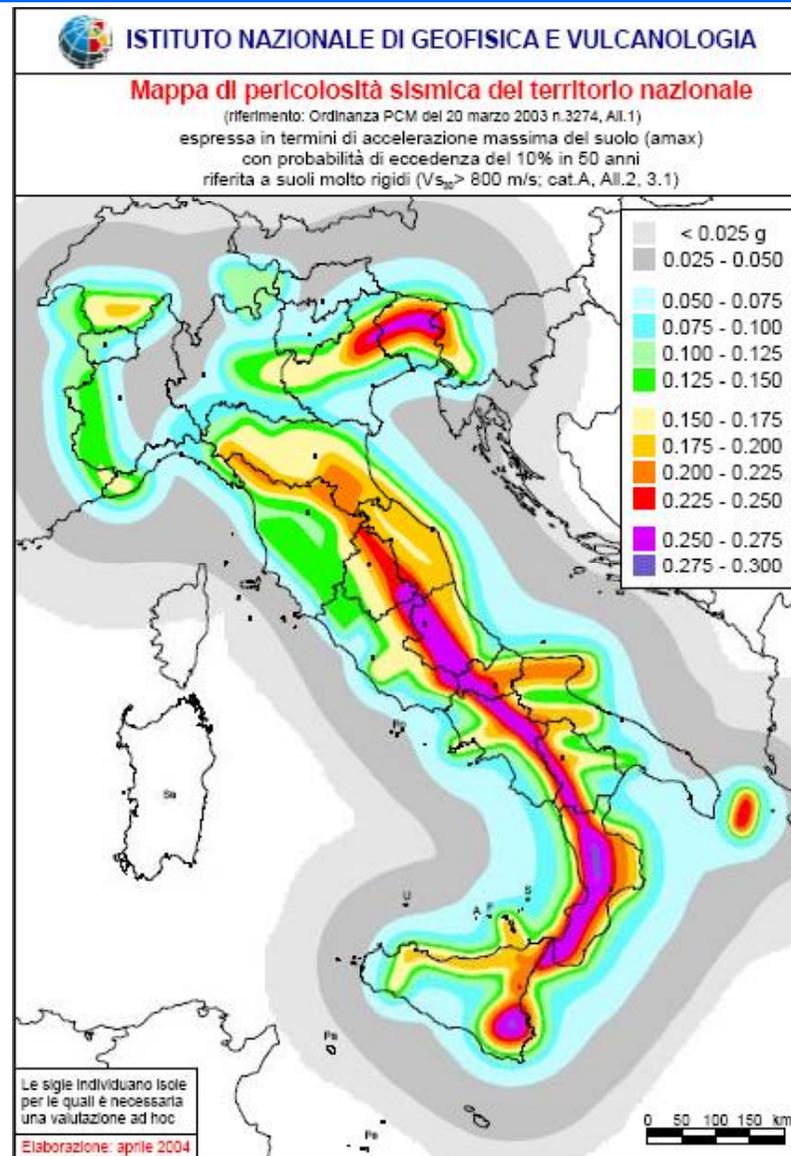
I quattro livelli di prestazione tipicamente introdotti corrispondono a:

- 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 più riparabile, SLU)*

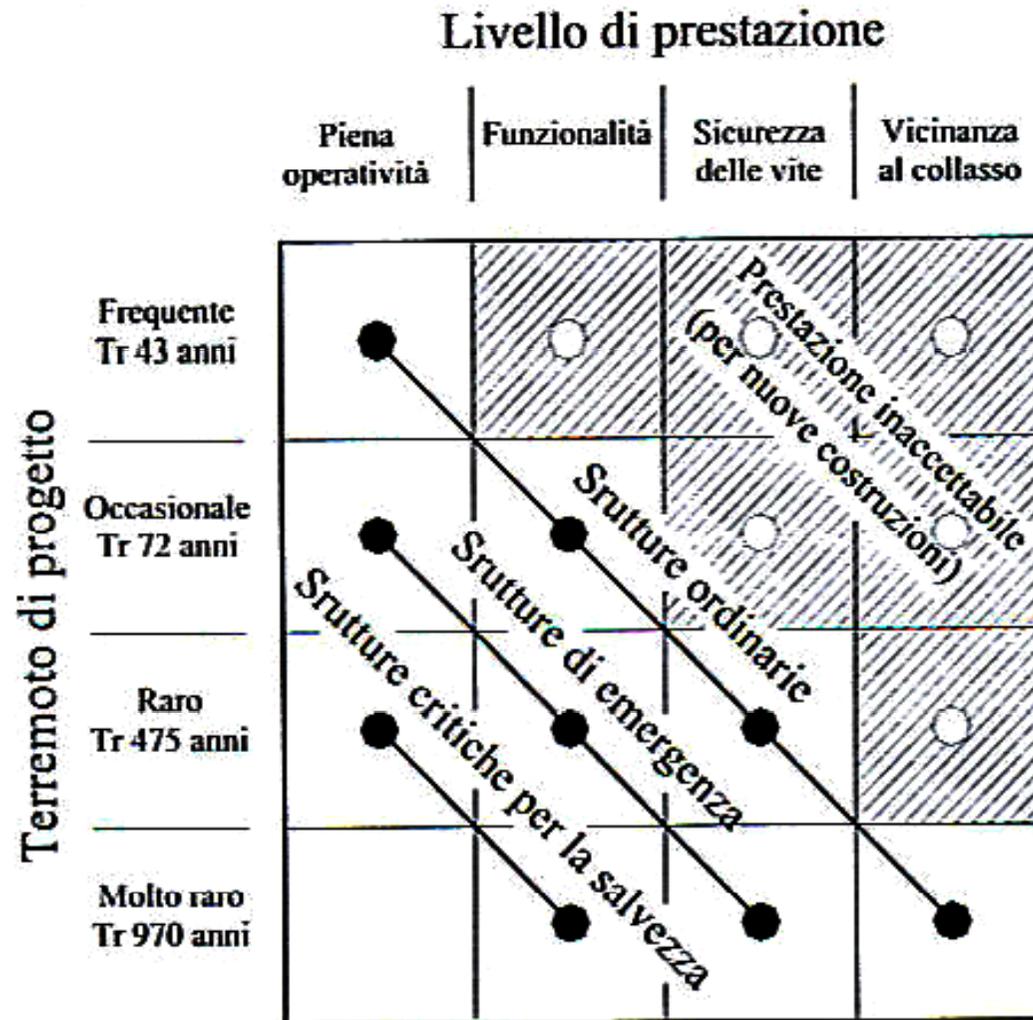
I livelli di accelerazione sismica sono invece legati al periodo di ritorno del sisma, e corrispondono ad un evento:

- 1- *Frequente* (periodo di ritorno di 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 dai 800 ai 2500 anni)

NORME DI IV GENERAZIONE

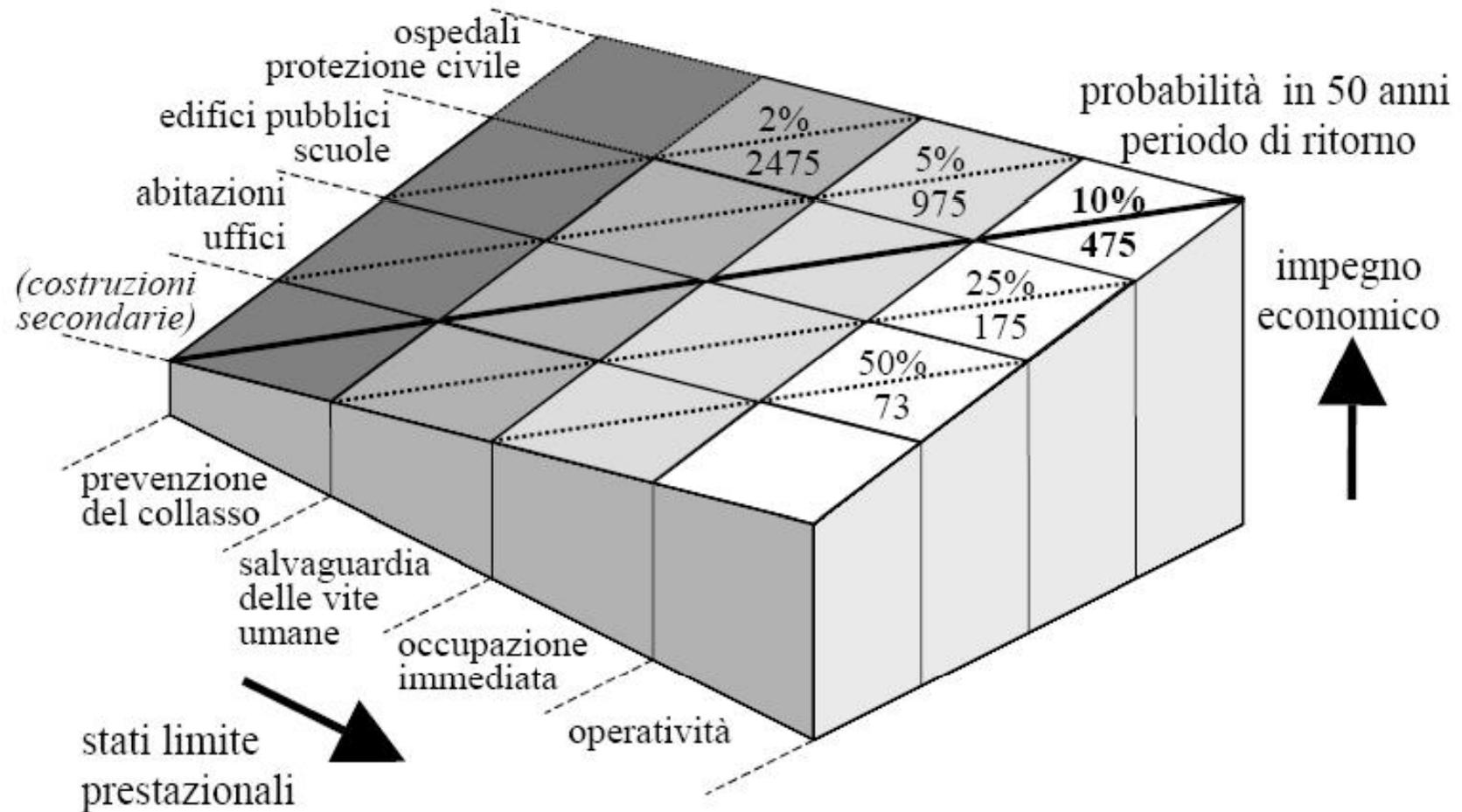


NORME DI IV GENERAZIONE

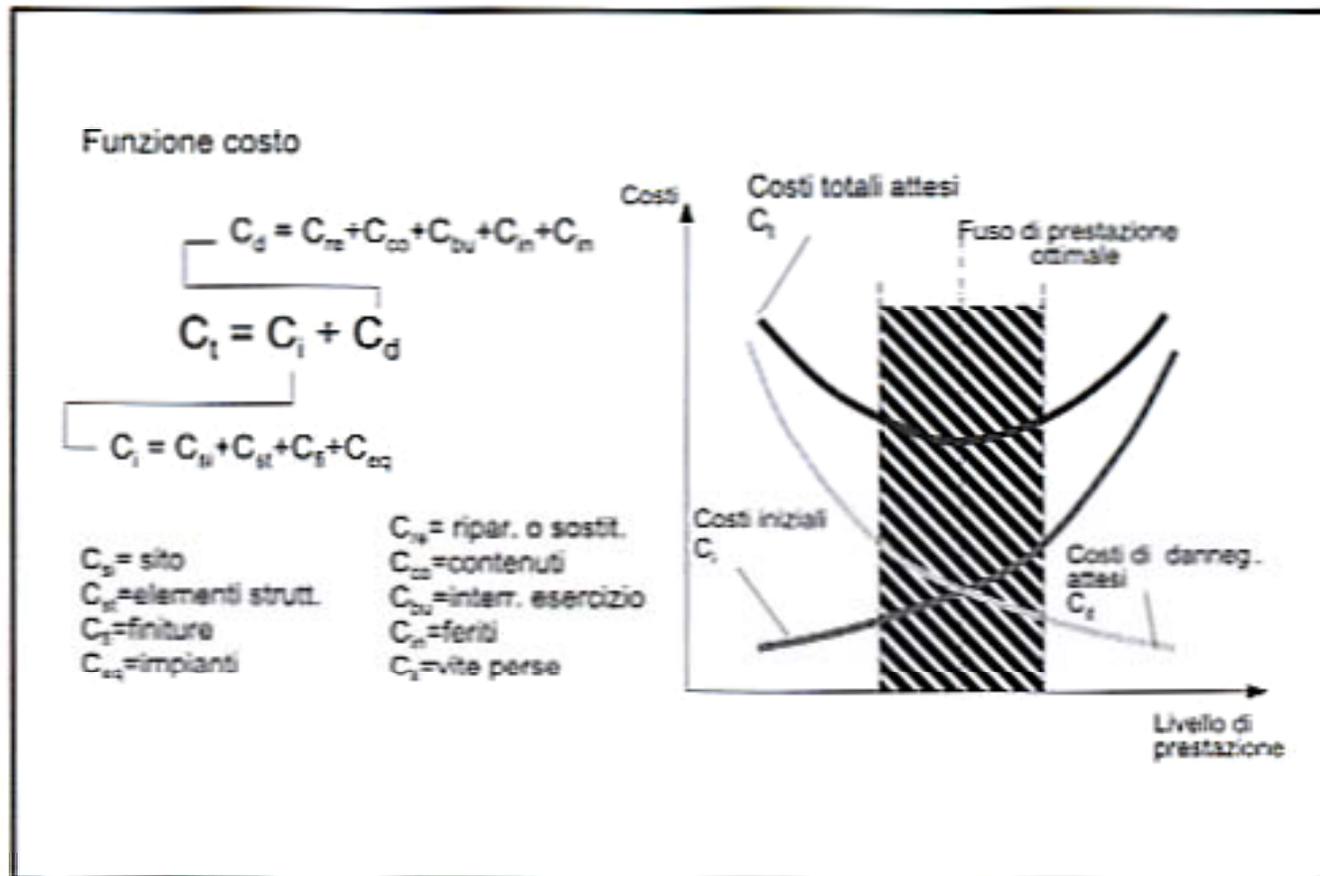


NORME DI IV GENERAZIONE

Livello di prestazione



NORME DI IV GENERAZIONE



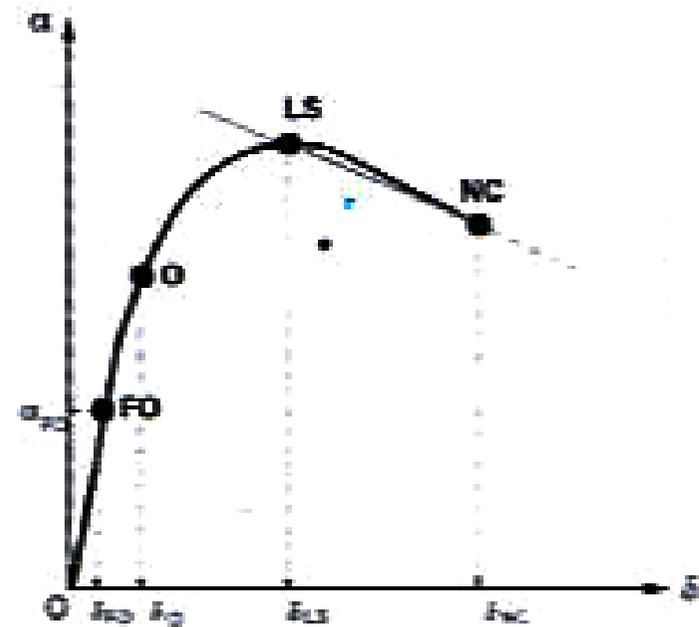
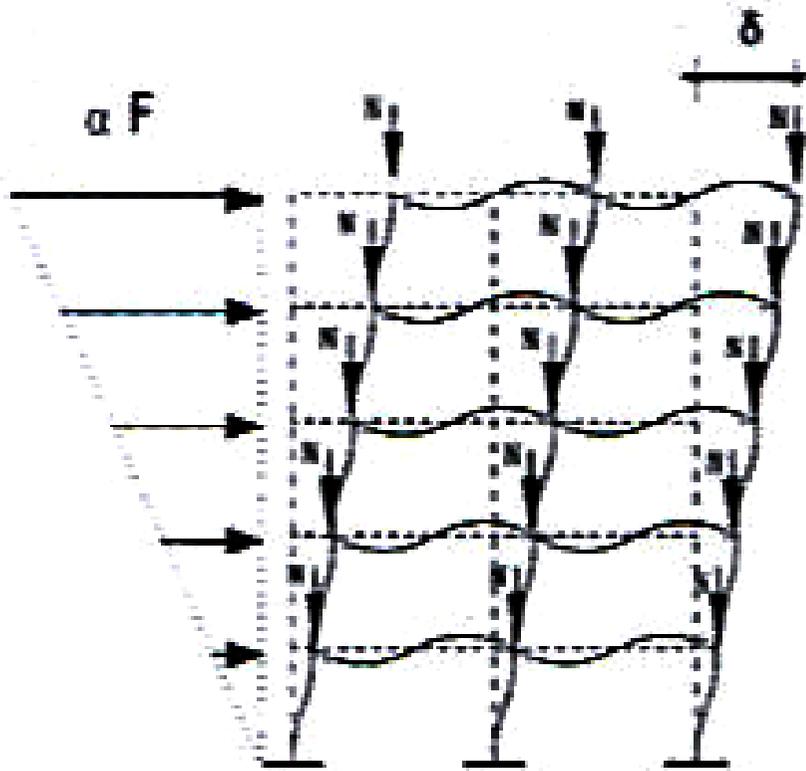
Criterio di scelta

NORME DI IV GENERAZIONE

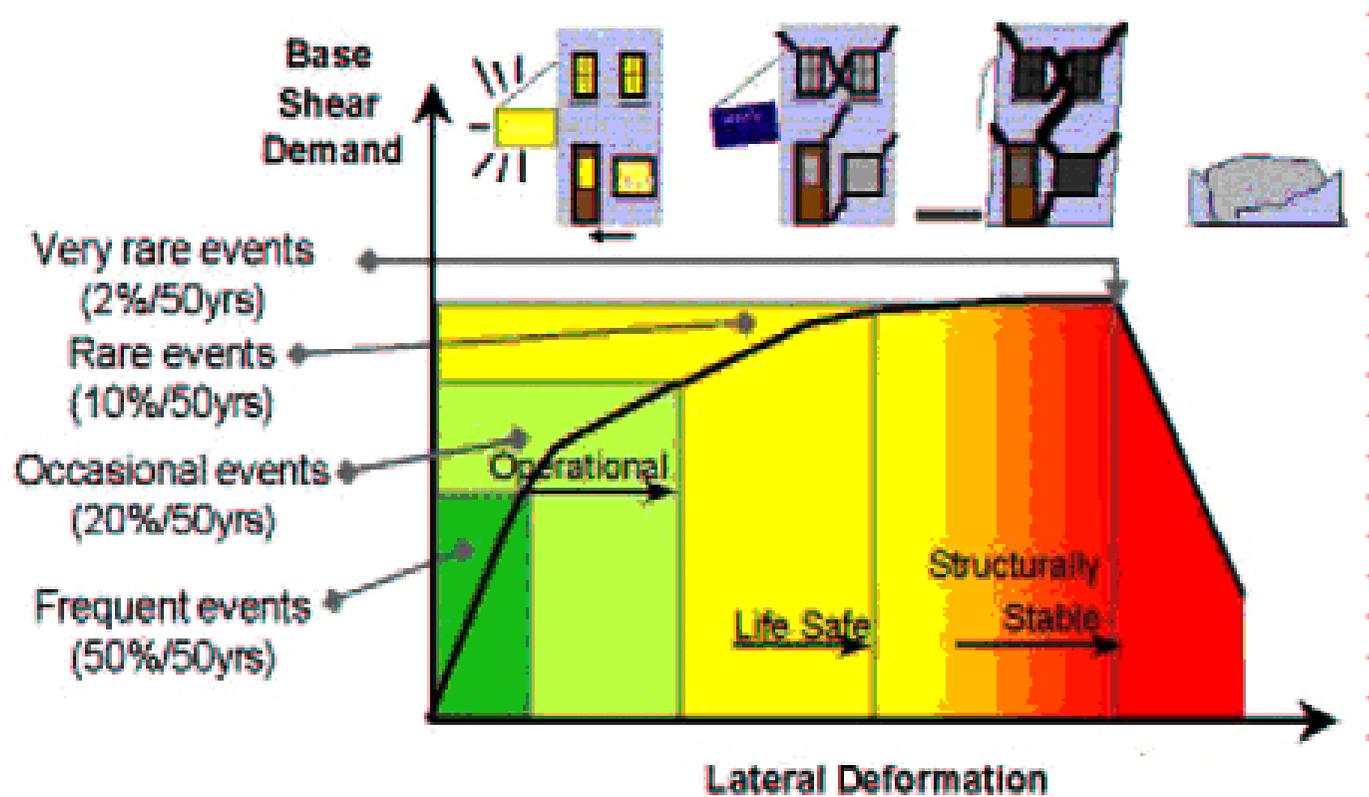
Il metodo si basa su:

- ANALISI NON LINEARE DI PUSHOVER
- USO DI SPETTRI DI PROGETTO IN FORMATO ADRS
- CONTROLLO IN TERMINI DI SPOSTAMENTO

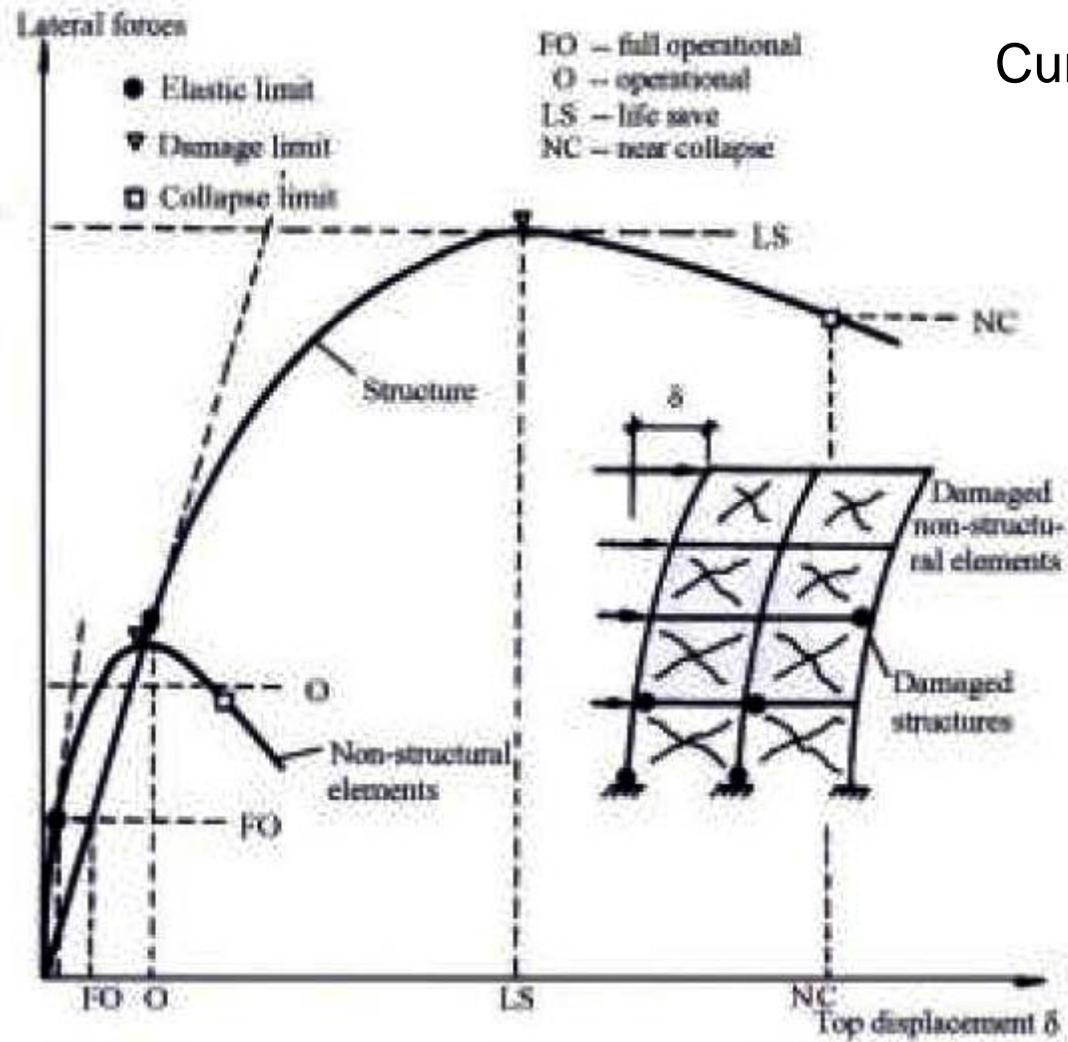
NORME DI IV GENERAZIONE



NORME DI IV GENERAZIONE

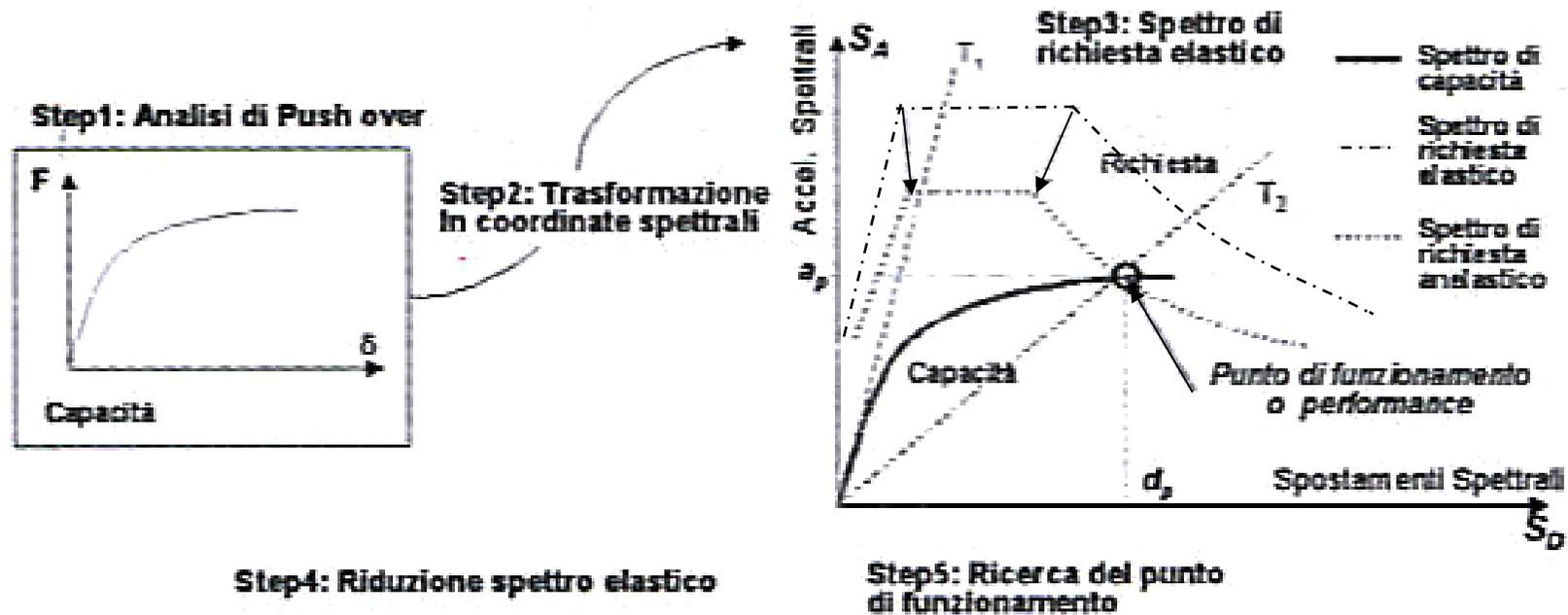


NORME DI IV GENERAZIONE



Curve di pushover

NORME DI IV GENERAZIONE



Il metodo per la verifica a collasso

NORME DI IV GENERAZIONE

LIMITI SU SPOSTAMENTO DI PIANO PER STRUTTURA IN C.A.

Accelerazione di picco a_g	Livello di prestazione	Drift d'interpiano
0.12g (frequente)	Piena operatività	0.1 %
0.14g (occasionale)	Funzionalità	1 %
0.29g (raro)	Sicurezza delle vite	2 %
0.38g (molto raro)	Vicinanza al collasso	3 %

ESEMPIO DI PROGETTAZIONE PERFORMANCE BASED DESIGN (PBD)

NORME DI IV GENERAZIONE

LIMITI SU SPOSTAMENTO DI PIANO PER STRUTTURA IN ACCIAIO

Accelerazione di picco ag	Livello di prestazione	Drift d'interpiano
0.12g (frequente)	Piena operatività	0.50%
0.14g (occasionale)	Funzionalità	0.80%
0.29g (raro)	Sicurezza delle vite	2.00%
0.38g (molto raro)	Vicinanza al collasso	3.00%

ESEMPIO DI PROGETTAZIONE PERFORMANCE BASED DESIGN (PBD)