

Corso di aggiornamento
Norme Tecniche per le Costruzioni

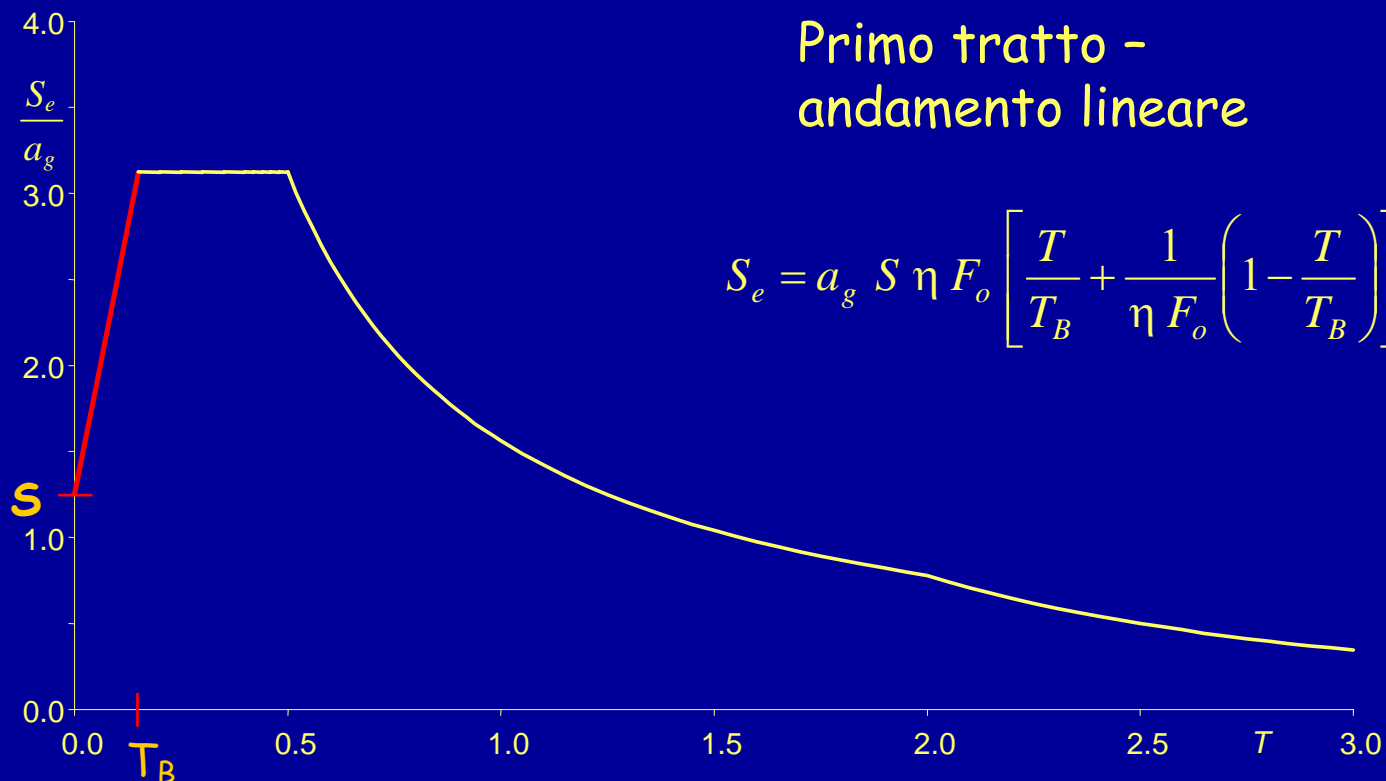
Modulo 1
Sicurezza Strutturale ed Azioni

Ordine degli Ingegneri, Catania
15 ottobre 2008

Melina Bosco

dove eravamo rimasti...

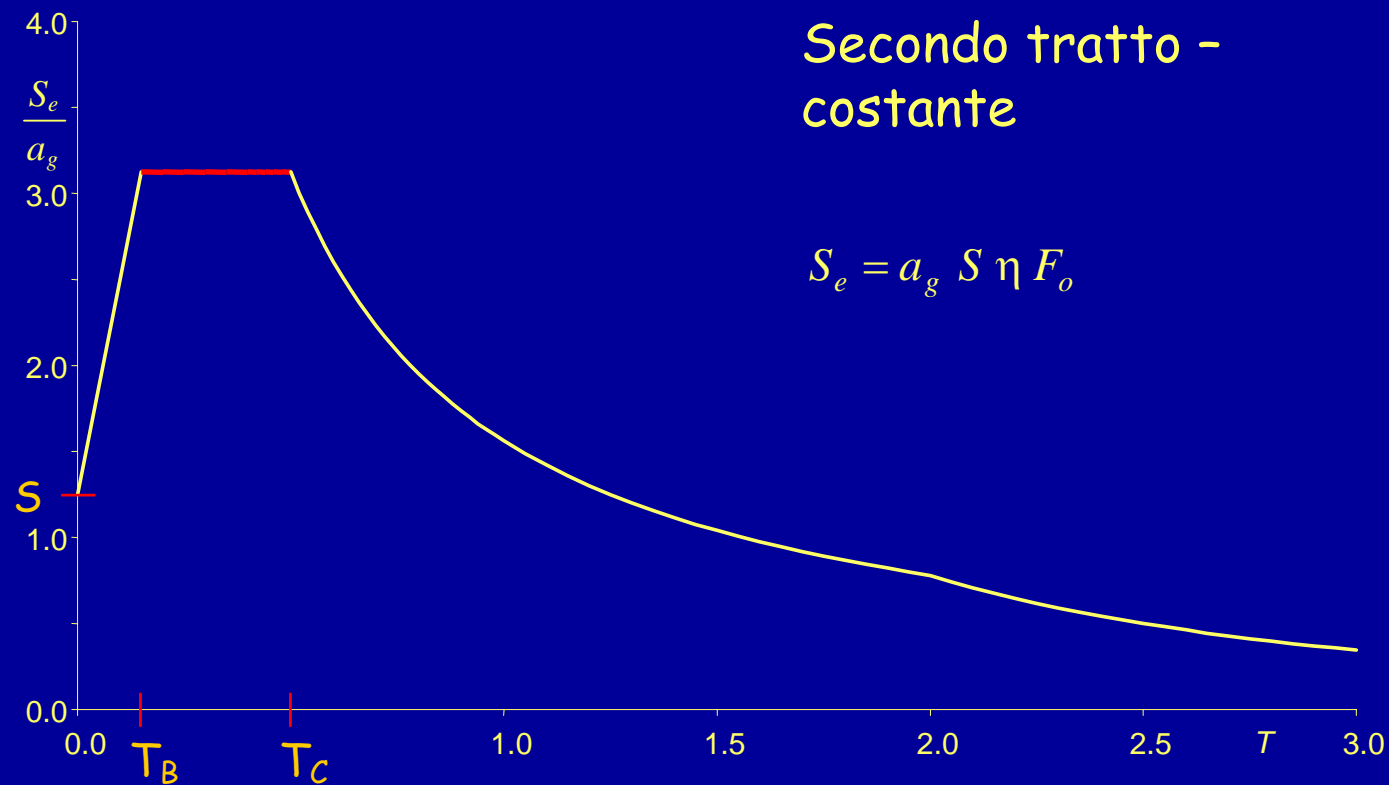
Spettri di risposta elastica di normativa accelerazioni orizzontali



Amplificazione, legata
al tipo di terreno

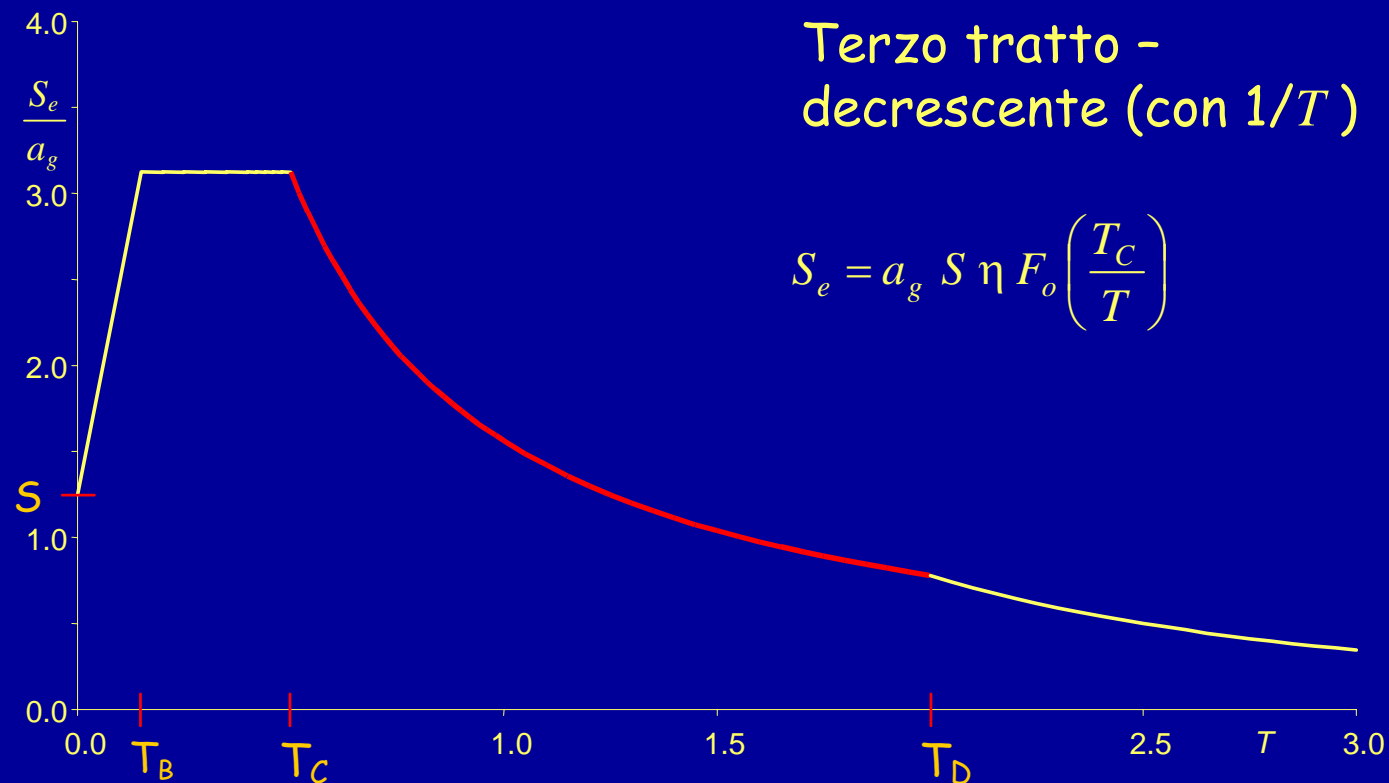
$$\eta = \sqrt{\frac{10}{5 + \xi}} \geq 0.55$$

Spettri di risposta elastica di normativa accelerazioni orizzontali



$$\eta = \sqrt{\frac{10}{5 + \xi}} \geq 0.55$$

Spettri di risposta elastica di normativa accelerazioni orizzontali

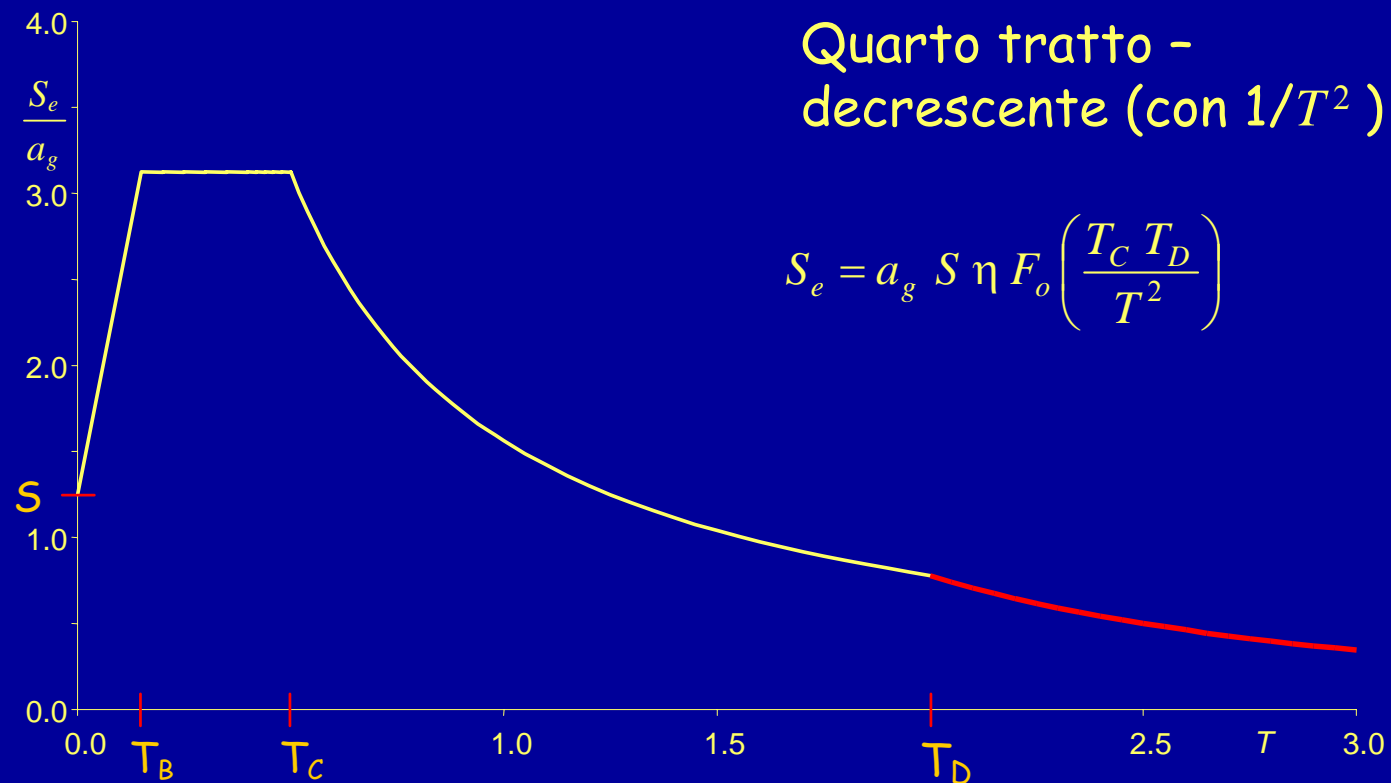


Terzo tratto -
decrescente (con $1/T$)

$$S_e = a_g S \eta F_o \left(\frac{T_C}{T} \right)$$

$$\eta = \sqrt{\frac{10}{5 + \xi}} \geq 0.55$$

Spettri di risposta elastica di normativa accelerazioni orizzontali



$$\eta = \sqrt{\frac{10}{5 + \xi}} \geq 0.55$$

Spettri di risposta elastica di normativa accelerazioni orizzontali

Individuare i parametri base:

$$a_g \quad F_o \quad T_c^*$$

che dipendono dal periodo di ritorno T_r e dalle
caratteristiche del terreno

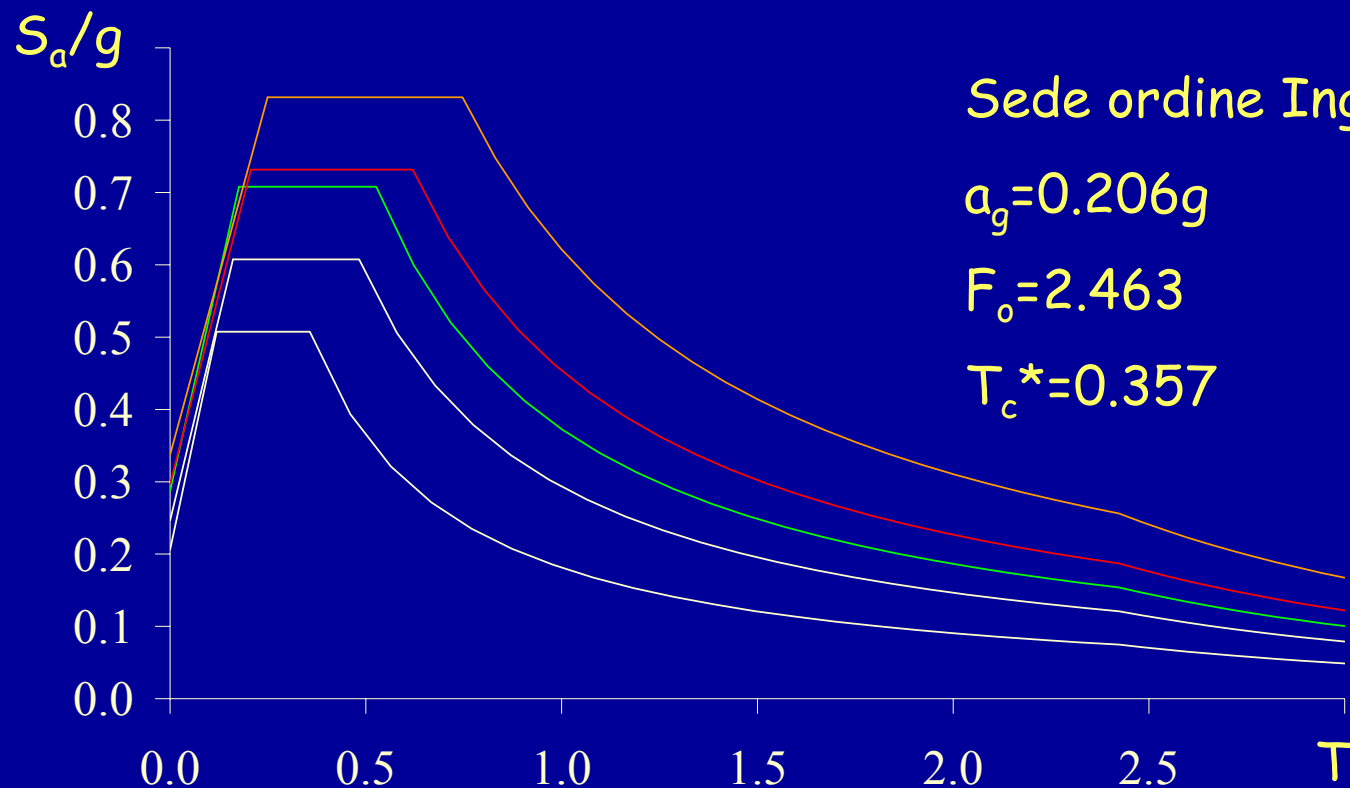
Descrivere lo spettro mediante:

- a_g accelerazione del terreno (su roccia)
- F_o amplificazione nel tratto costante
- S amplificazione dovuta al tipo di terreno
- $T_B \quad T_C \quad T_D$ periodi che separano i diversi tratti
- ξ smorzamento della struttura

Comportamento dinamico
oltre il limite elastico

schemi a un grado di libertà

È possibile progettare le strutture
in modo che rimangano in campo elastico?

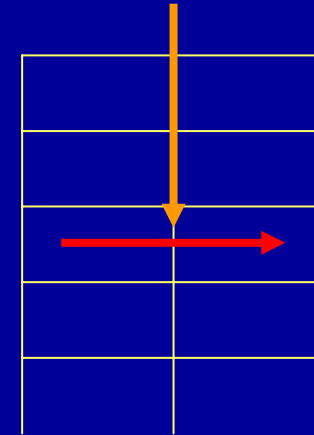


È possibile progettare le strutture in modo che rimangano in campo elastico?

Azioni orizzontali comparabili con le azioni verticali

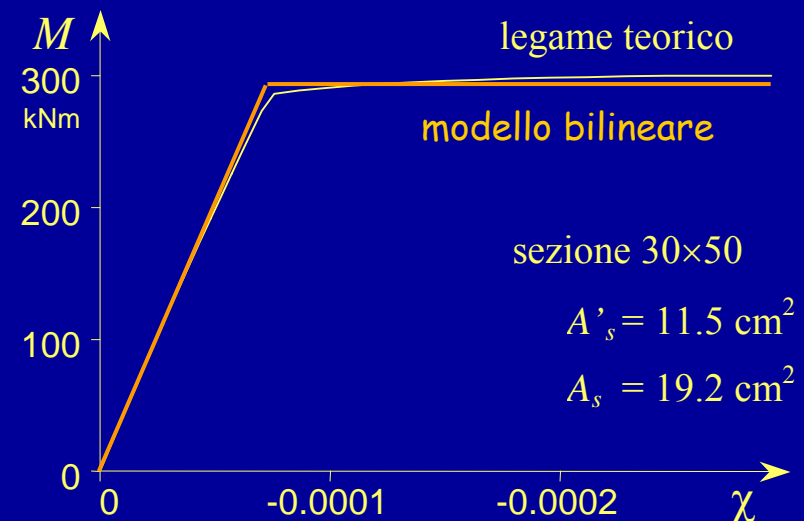
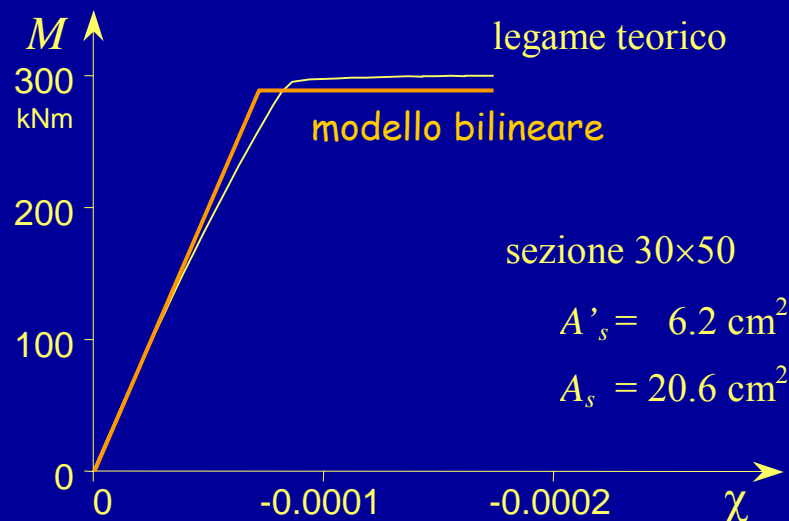
Le sollecitazioni provocate dalle azioni orizzontali sono molto forti

Non è economicamente conveniente progettare la struttura in modo che rimanga in campo elastico



Comportamento oltre il limite elastico

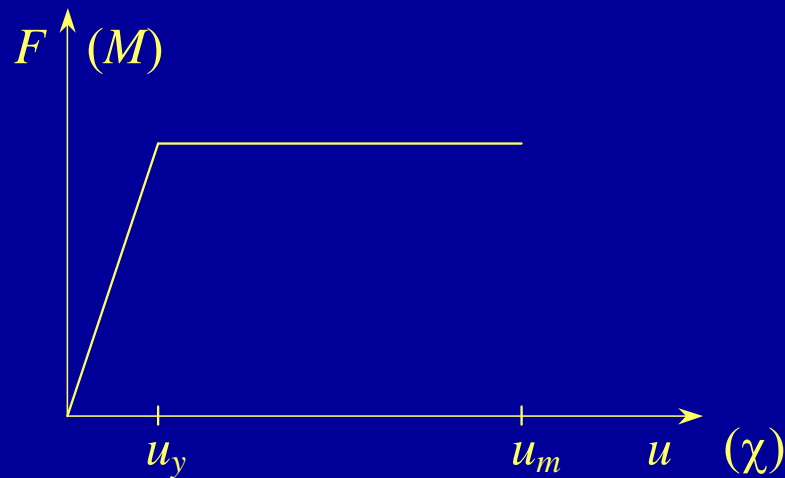
Occorre tener conto del comportamento non lineare delle singole sezioni



Il comportamento reale viene in genere rappresentato con un modello più semplice, bilineare (elastico-perfettamente plastico)

Comportamento oltre il limite elastico

Legame elastico-perfettamente plastico

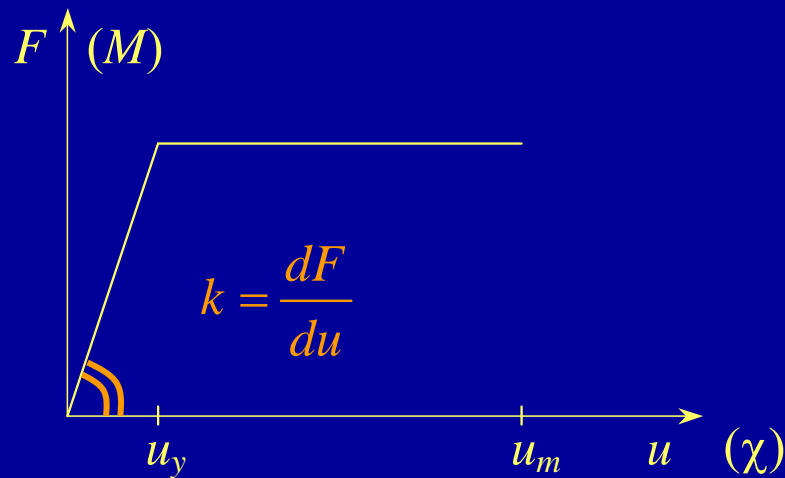


È caratterizzato da tre parametri fondamentali:

- Rigidezza
- Resistenza
- Duttilità

Comportamento oltre il limite elastico

Legame elastico-perfettamente plastico



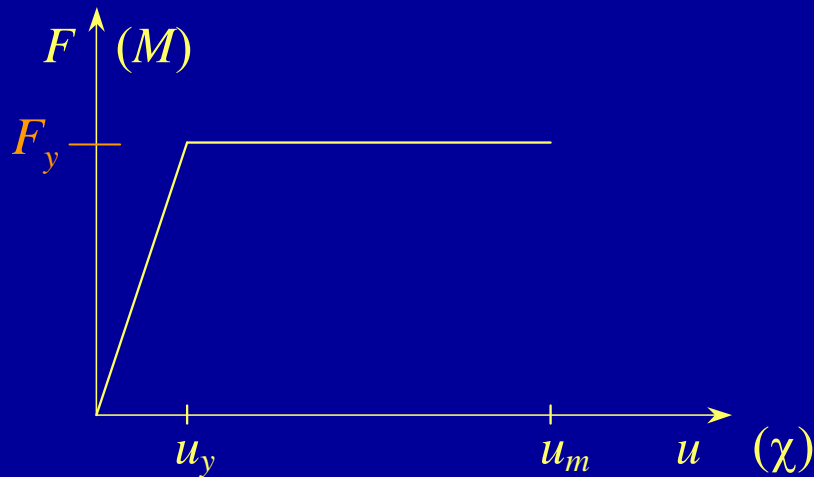
È caratterizzato da tre parametri fondamentali:

- Rigidezza
- Resistenza
- Duttilità

Rigidezza = inclinazione del diagramma

Comportamento oltre il limite elastico

Legame elastico-perfettamente plastico



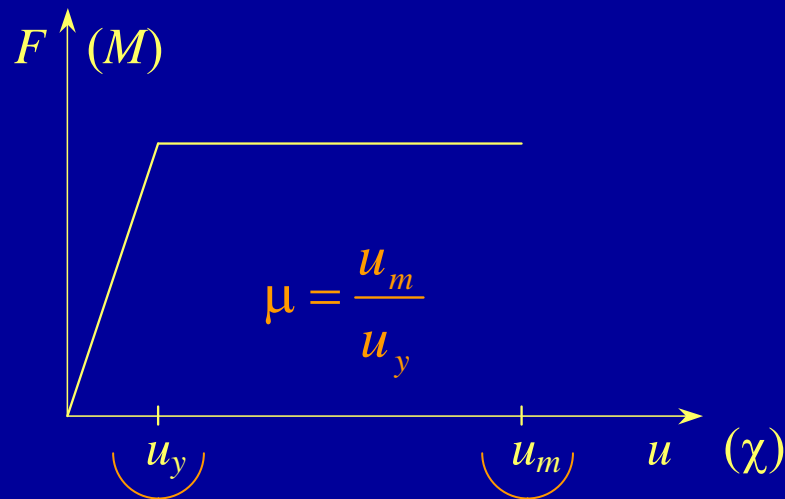
È caratterizzato da tre parametri fondamentali:

- Rigidezza
- Resistenza
- Duttilità

Resistenza = soglia di plasticizzazione

Comportamento oltre il limite elastico

Legame elastico-perfettamente plastico



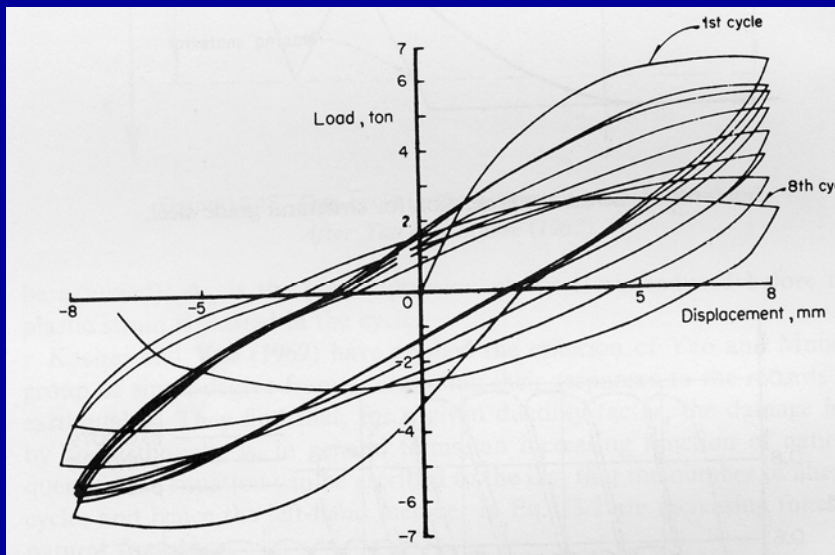
È caratterizzato da tre parametri fondamentali:

- Rigidezza
- Resistenza
- Duttilità

Duttilità = capacità di deformarsi plasticamente

Comportamento oltre il limite elastico

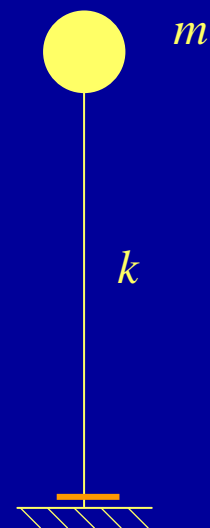
Per una valutazione della risposta sismica, occorre anche tener conto del comportamento ciclico, con i possibili degradi di rigidezza e resistenza



Risposta sismica di un oscillatore semplice elasto-plastico

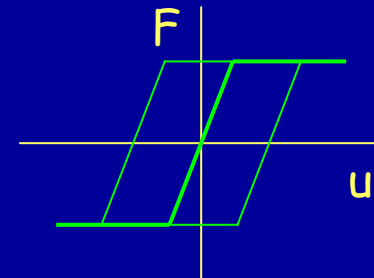


Foto

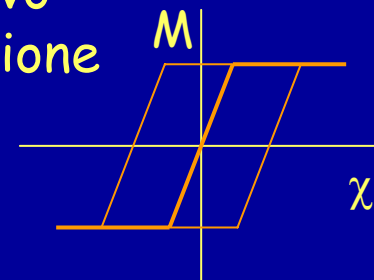


Modello
di calcolo

Legame costitutivo
della struttura



Legame
costitutivo
della sezione



Risposta sismica di un oscillatore semplice elasto-plastico

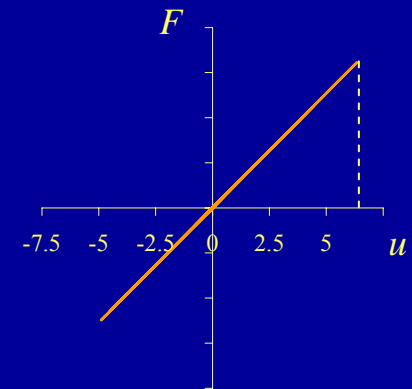
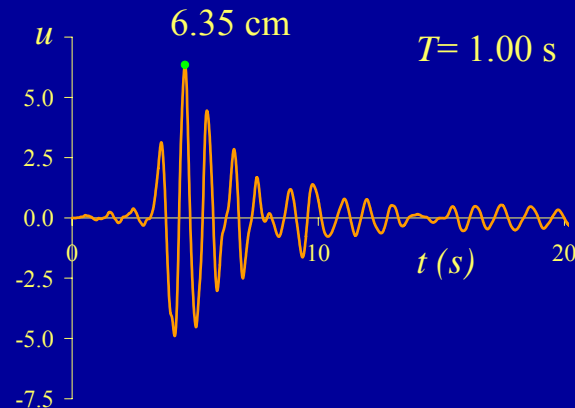
L'equazione del moto è formalmente la stessa, ma la rigidità non è più una costante

$$m \ddot{u} + c \dot{u} + k(u) u = -m \ddot{u}_g$$

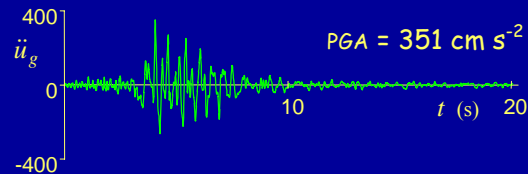
La risoluzione avviene per via numerica, in maniera analoga a quanto si fa per un oscillatore semplice elastico (ma con qualche complicazione in più)

Risposta sismica di un oscillatore semplice elasto-plastico

Risposta
elastica

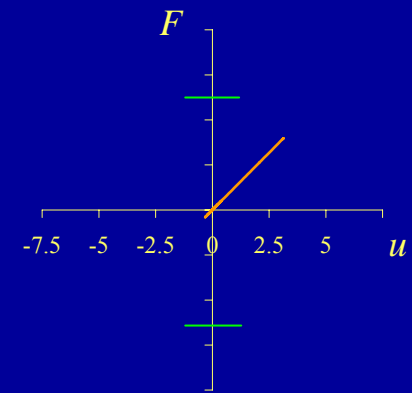
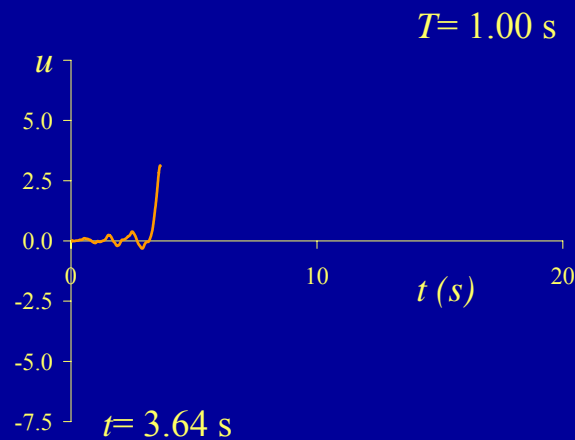


Input sismico



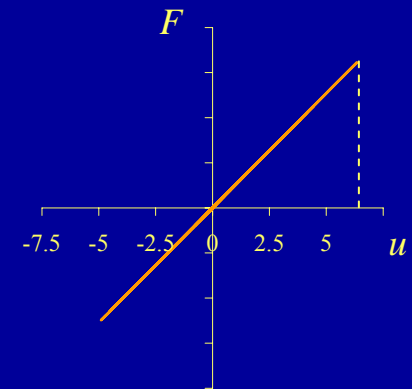
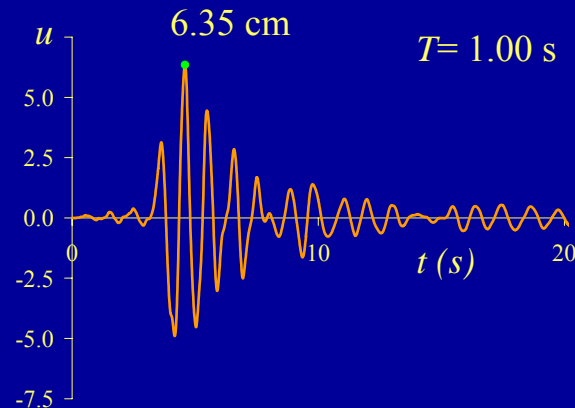
Tolmezzo, Friuli, 1976

Risposta
elasto-plastica

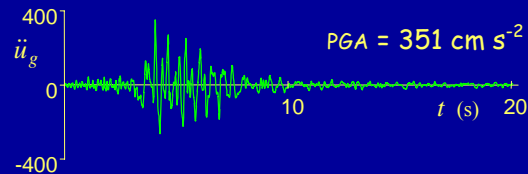


Risposta sismica di un oscillatore semplice elasto-plastico

Risposta
elastica

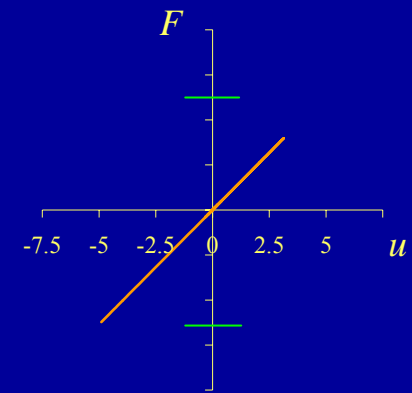
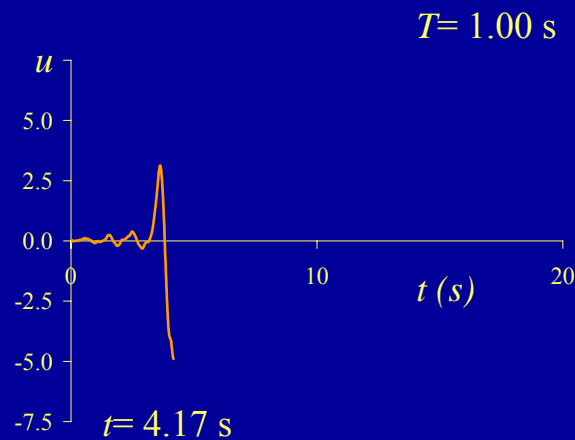


Input sismico



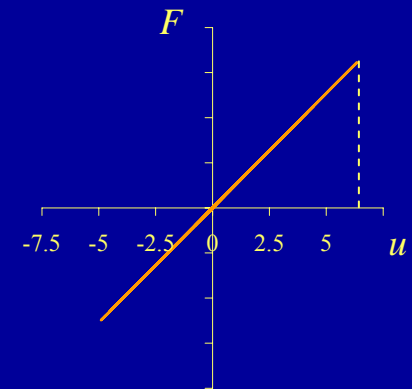
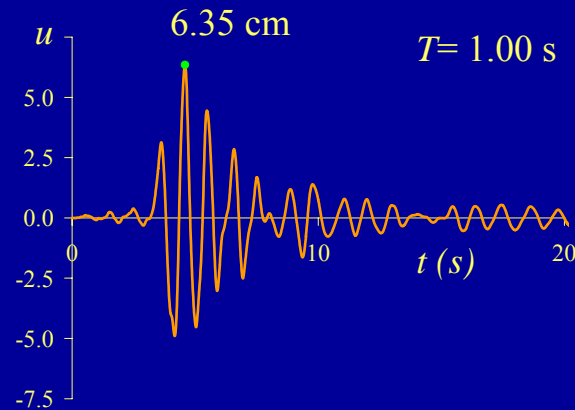
Tolmezzo, Friuli, 1976

Risposta
elasto-plastica

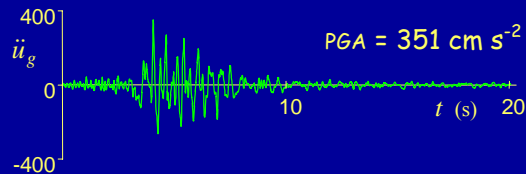


Risposta sismica di un oscillatore semplice elasto-plastico

Risposta
elastica

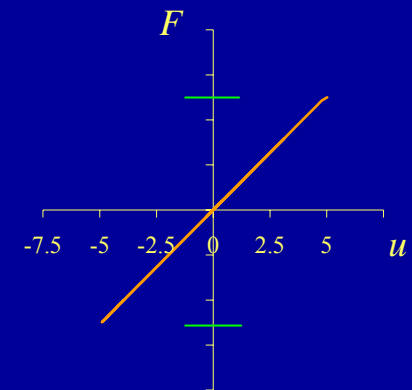
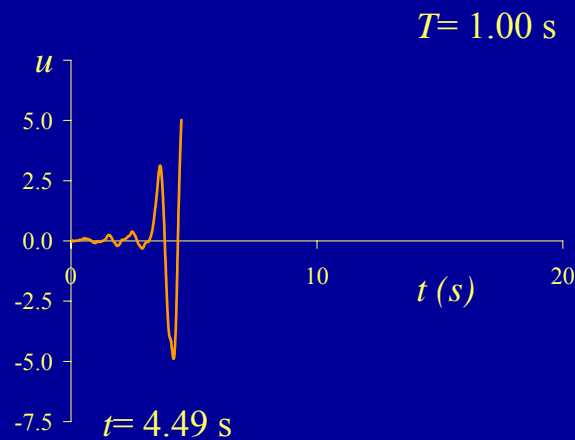


Input sismico



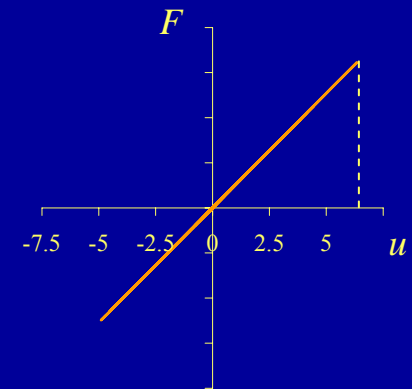
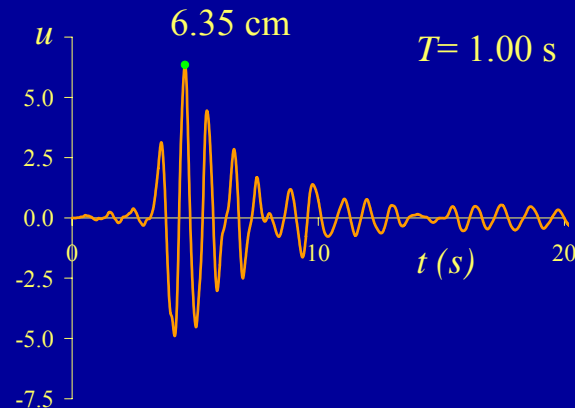
Tolmezzo, Friuli, 1976

Risposta
elasto-plastica

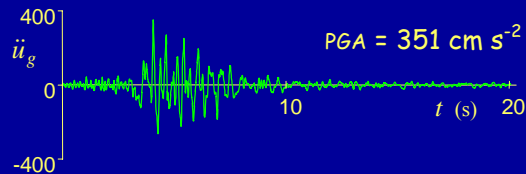


Risposta sismica di un oscillatore semplice elasto-plastico

Risposta
elastica

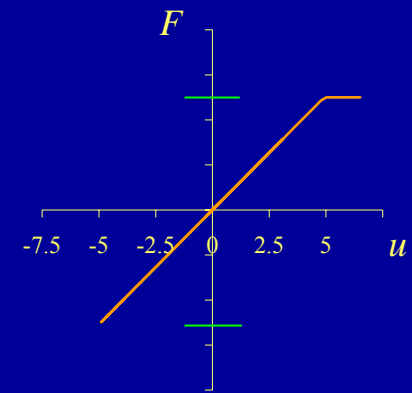
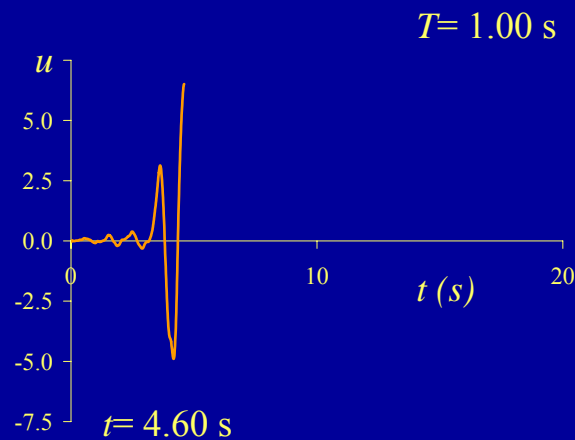


Input sismico



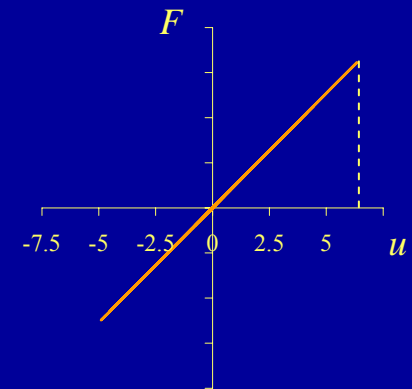
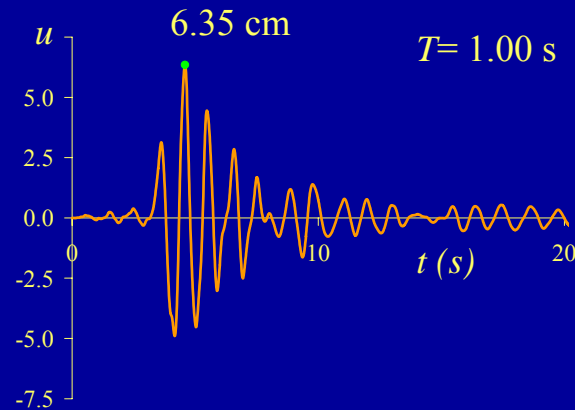
Tolmezzo, Friuli, 1976

Risposta
elasto-plastica

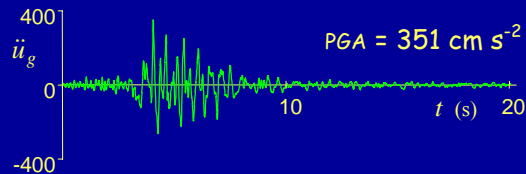


Risposta sismica di un oscillatore semplice elasto-plastico

Risposta
elastica

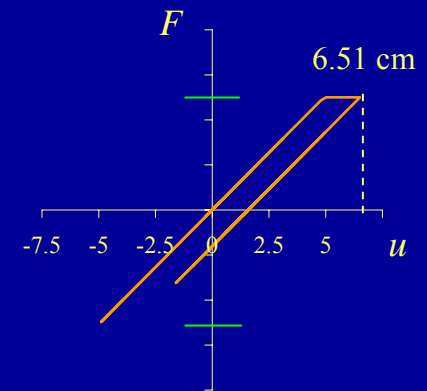
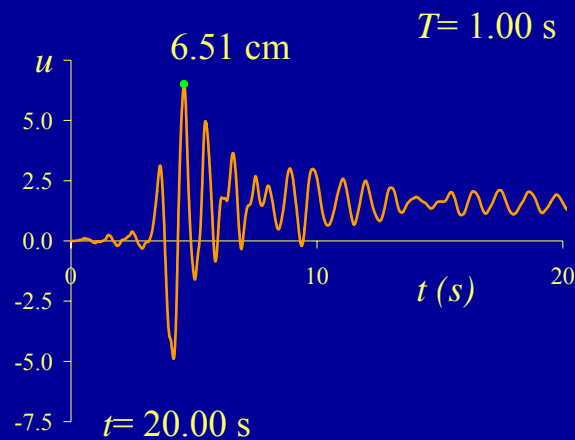


Input sismico



Tolmezzo, Friuli, 1976

Risposta
elasto-plastica

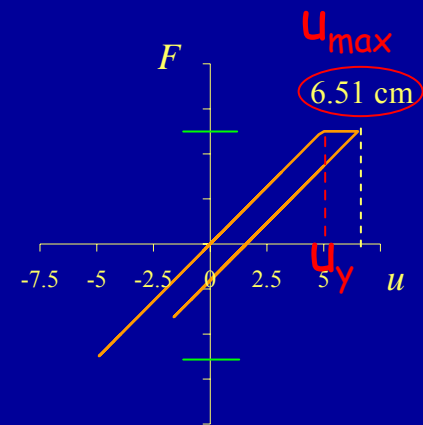
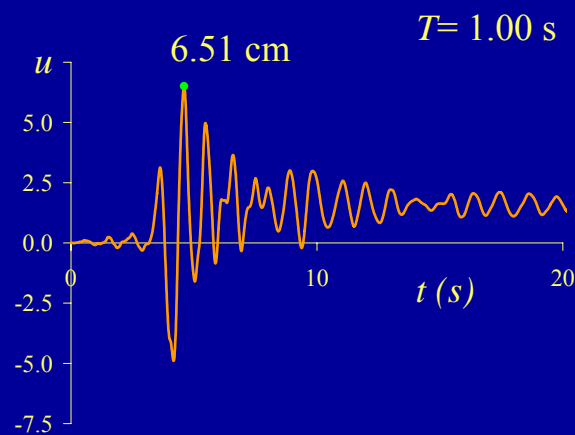


Richiesta di duttilità

Il rapporto tra lo spostamento massimo u_{max} ottenuto come risposta al sisma e lo spostamento u_y di plasticizzazione è la duttilità necessaria al sistema per non collassare (richiesta di duttilità)

In genere, abbassando la resistenza aumenta la richiesta di duttilità

Risposta elasto-plastica



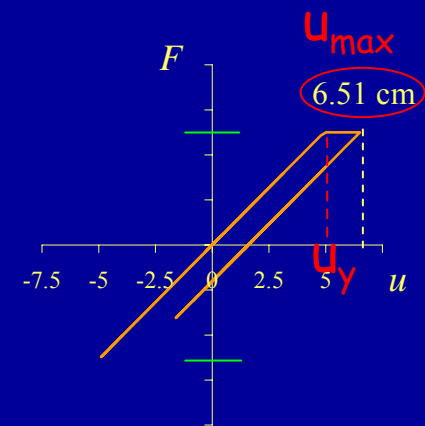
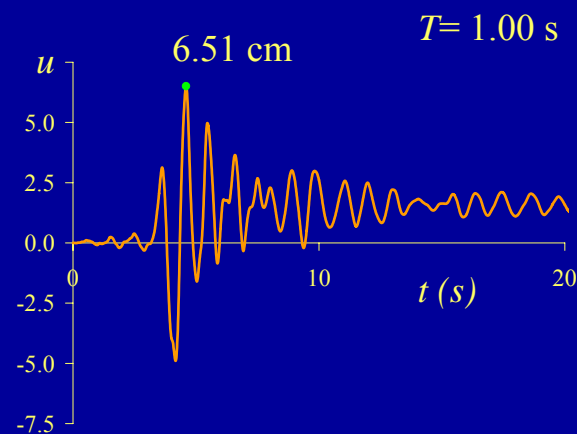
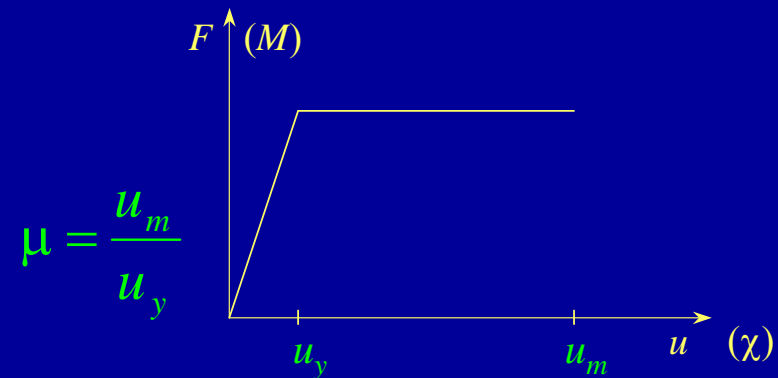
Progettazione di strutture elasto-plastiche

È possibile progettare la
struttura con una forza
ridotta, accettando la sua
plasticizzazione, purché la
duttilità disponibile

sia maggiore di
quella richiesta

$$\mu = \frac{u_{\max}}{u_y}$$

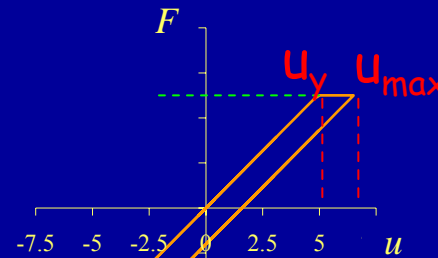
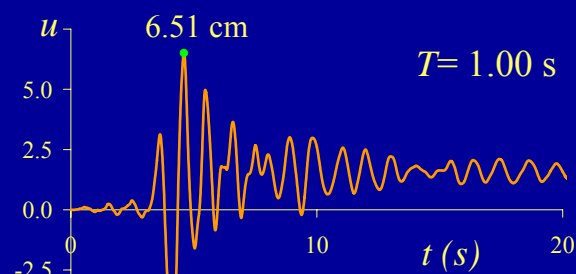
Risposta
elasto-plastica



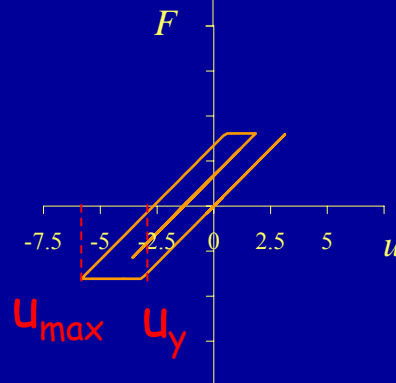
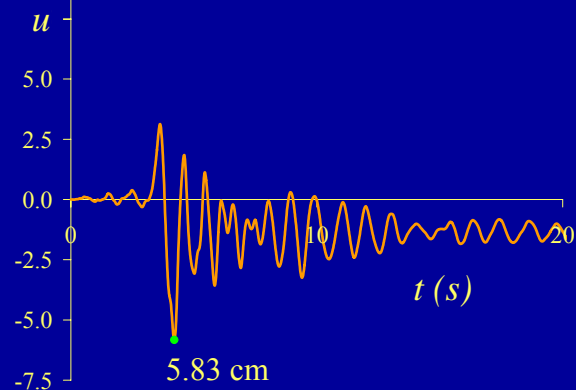
Progettazione di strutture elasto-plastiche

La resistenza può essere ridotta tanto da far coincidere la duttilità disponibile con quella richiesta

Esempio : duttilità disponibile = 2



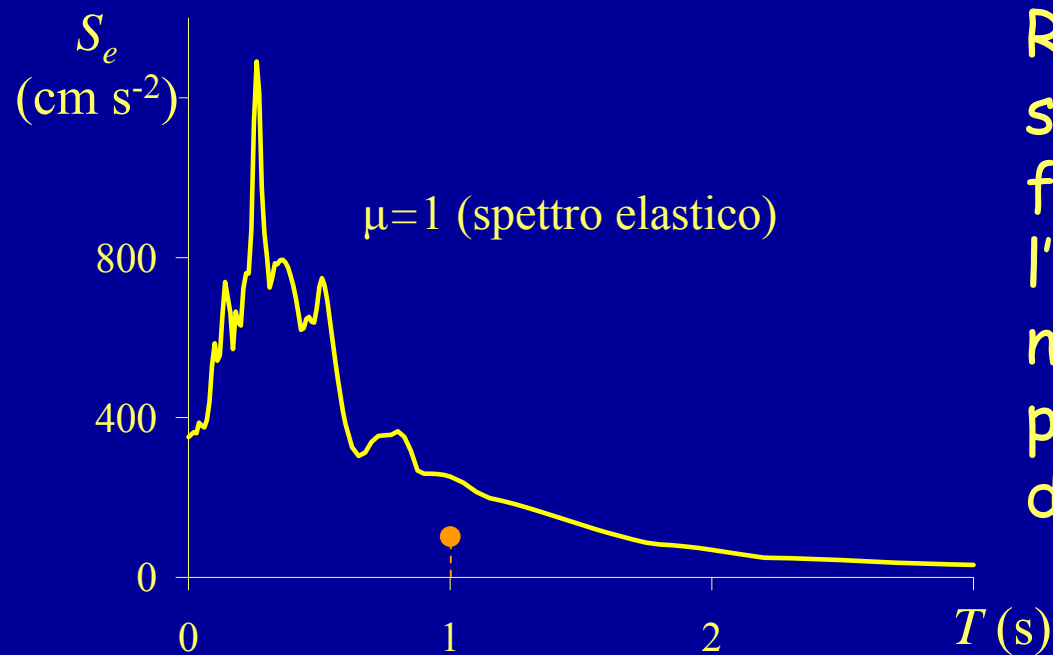
$$\mu = \frac{u_{max}}{u_y} = \frac{6.51}{5.00} = 1.30$$



$$\mu = \frac{u_{max}}{u_y} = \frac{5.83}{2.92} = 2.00$$

Progettazione di strutture elasto-plastiche

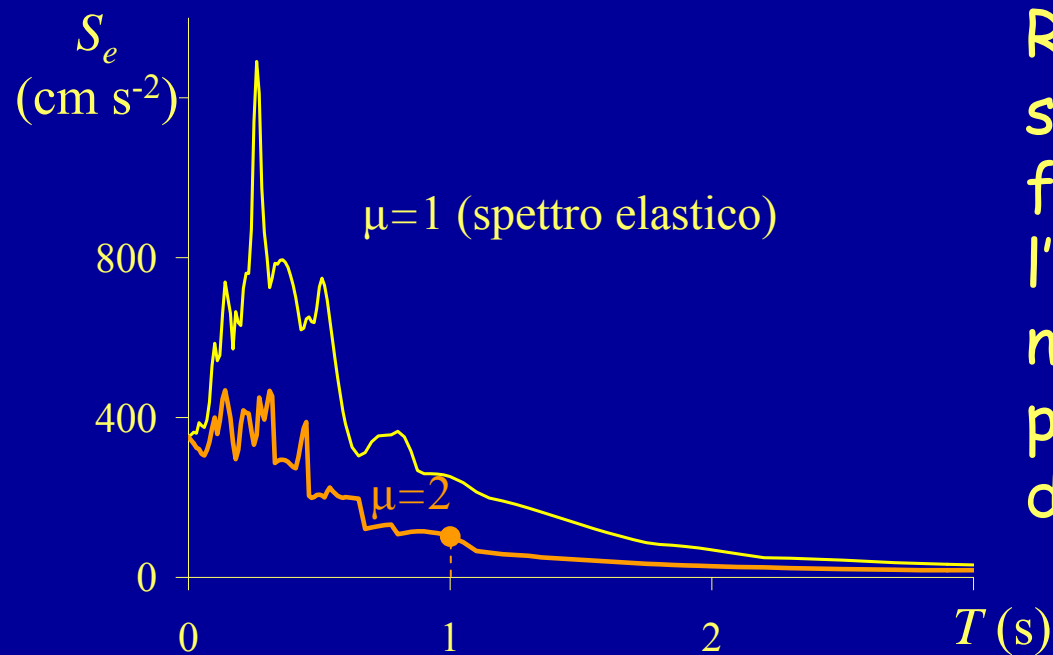
La resistenza può essere ridotta tanto da far coincidere la duttilità disponibile con quella richiesta



Ricordando che $F = m a$,
si può diagrammare in
funzione del periodo
l'accelerazione da usare
nel progetto,
per assegnati valori
della duttilità μ

Progettazione di strutture elasto-plastiche

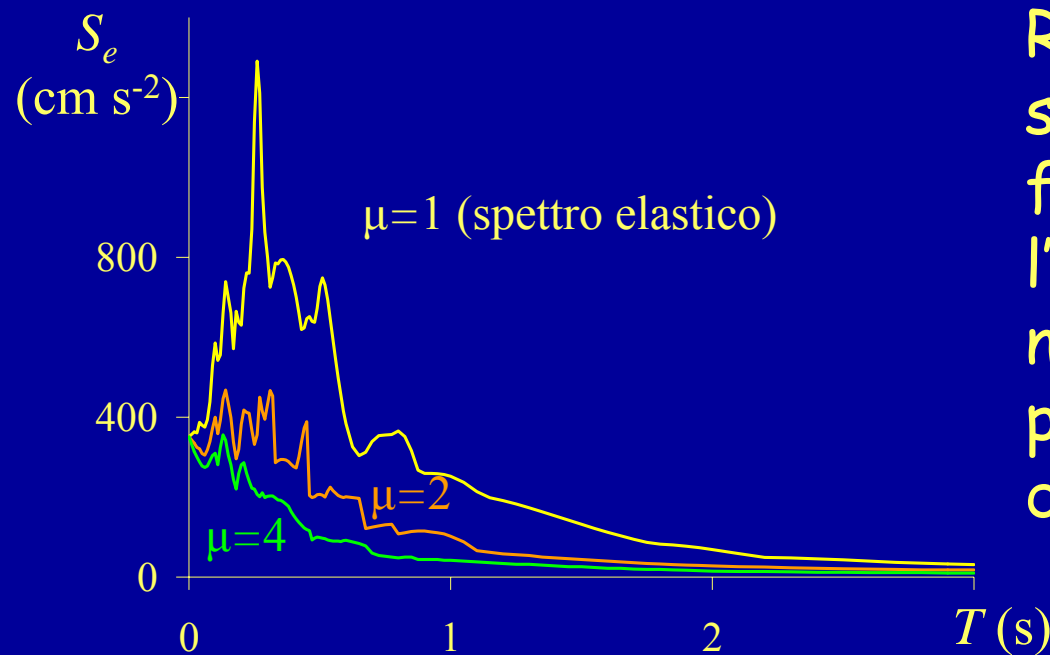
La resistenza può essere ridotta tanto da far coincidere la duttilità disponibile con quella richiesta



Ricordando che $F = m a$,
si può diagrammare in
funzione del periodo
l'accelerazione da usare
nel progetto,
per assegnati valori
della duttilità μ

Progettazione di strutture elasto-plastiche

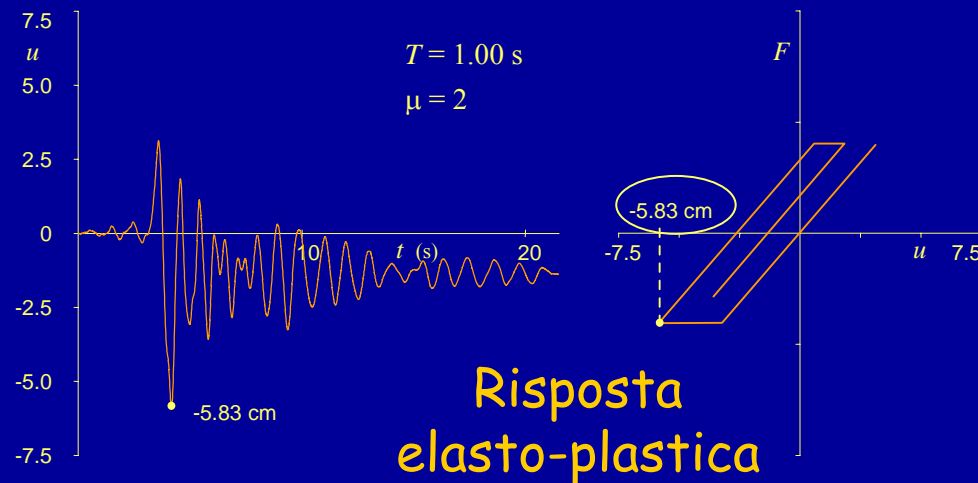
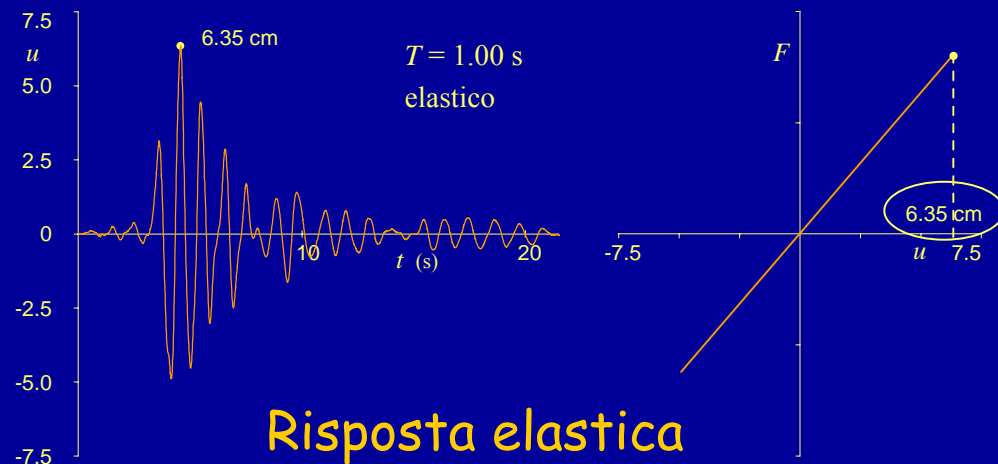
La resistenza può essere ridotta tanto da far coincidere la duttilità disponibile con quella richiesta



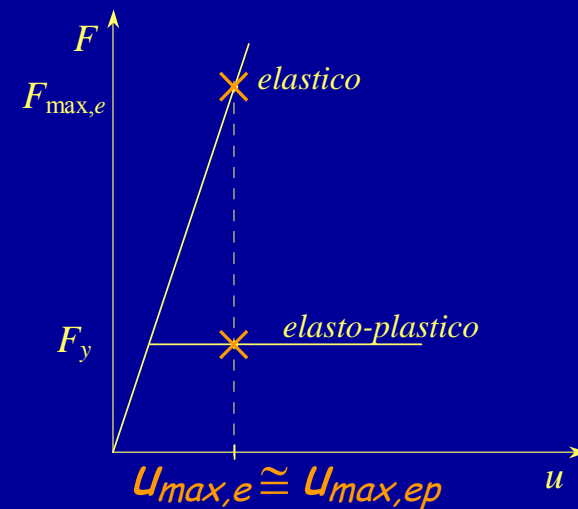
Ricordando che $F = m a$,
si può diagrammare in
funzione del periodo
l'accelerazione da usare
nel progetto,
per assegnati valori
della duttilità μ

Spettro di risposta a duttilità assegnata

Progettazione di strutture elasto-plastiche



Le analisi numeriche mostrano che lo spostamento di schemi elastici ed elasto-plastici è più o meno lo stesso



Progettazione di strutture elasto-plastiche

La forza di progetto
può essere ottenuta
dividendo

F_d

la forza necessaria
per mantenere la
struttura in campo
elastico

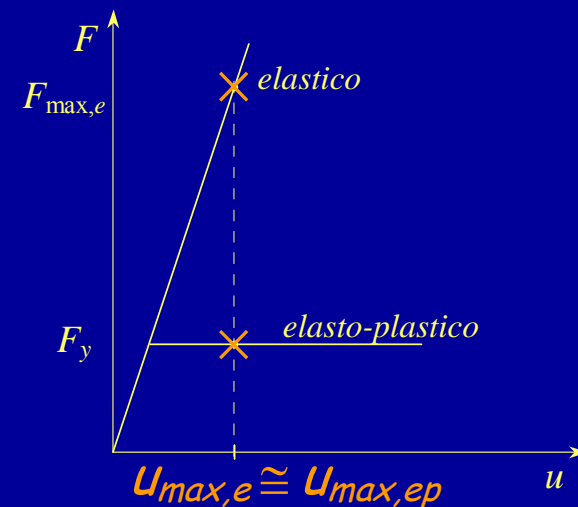
$F_{max,e}$

per la duttilità

μ

$$F_d = F_y = \frac{F_{max,e}}{\mu}$$

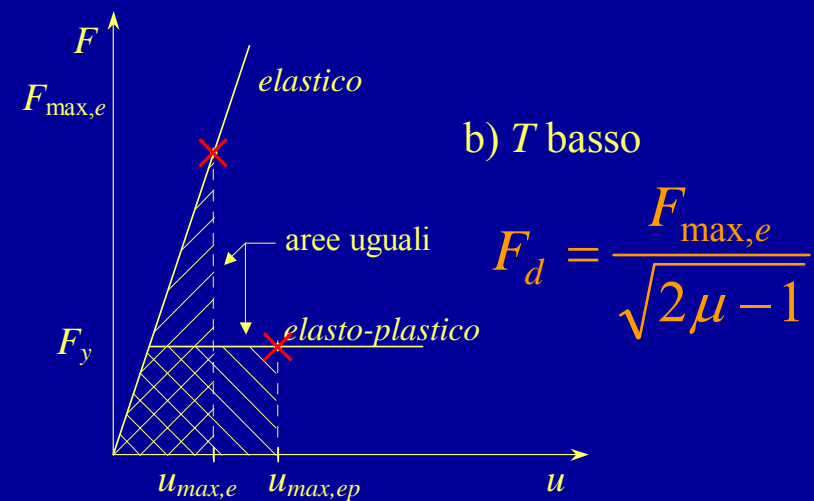
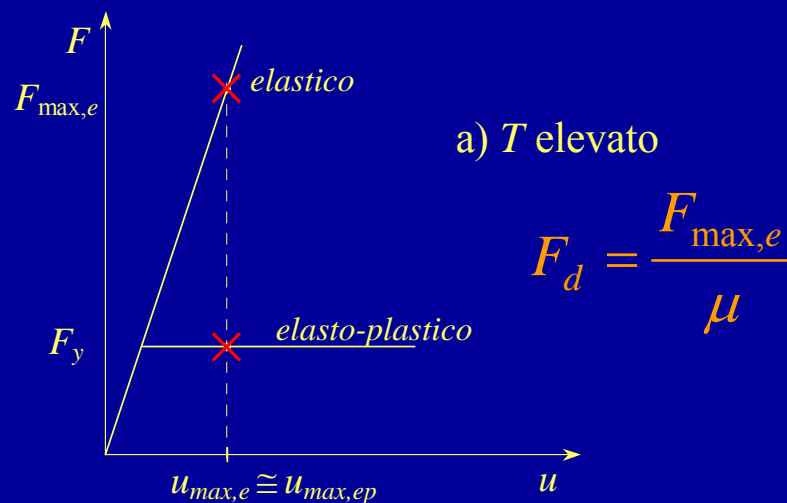
Le analisi numeriche
mostrano che lo
spostamento di
schemi elastici ed
elasto-plastici è più
o meno lo stesso



Progettazione di strutture elasto-plastiche

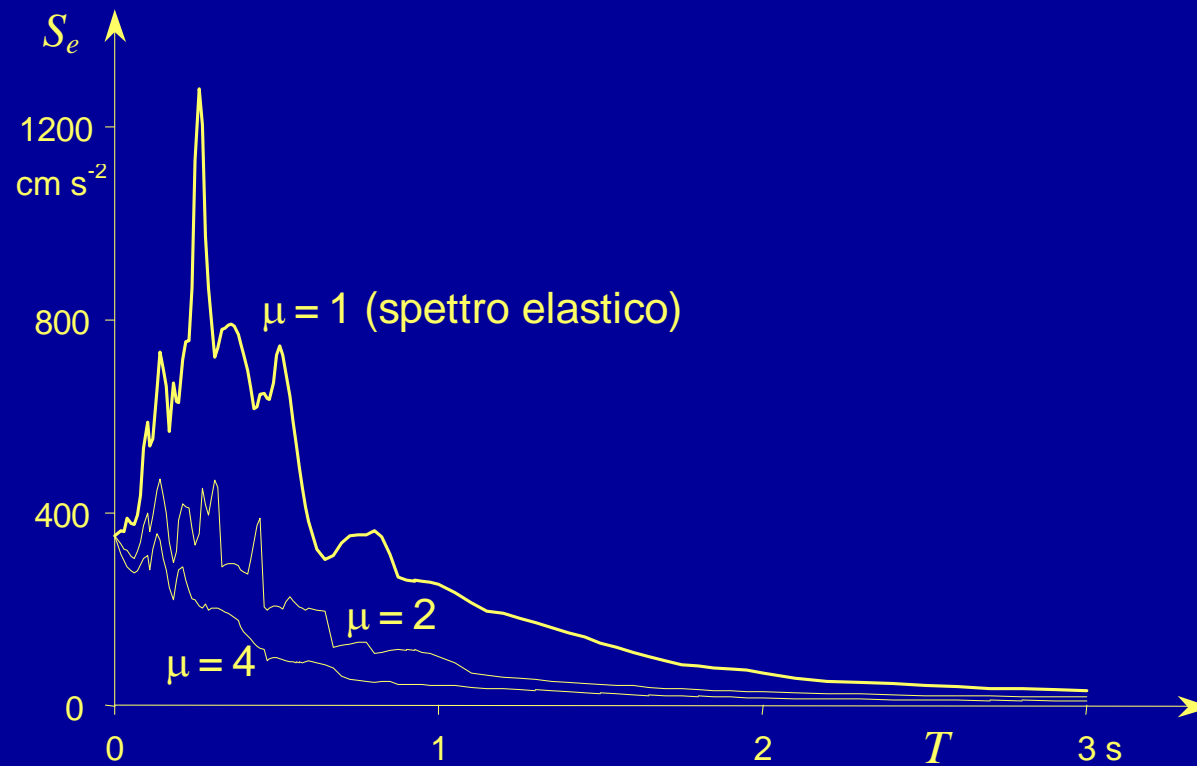
Il principio di uguaglianza di spostamenti vale solo
per strutture con periodo medio-alto

Per strutture con periodo basso si può pensare ad
una uguaglianza in termini energetici



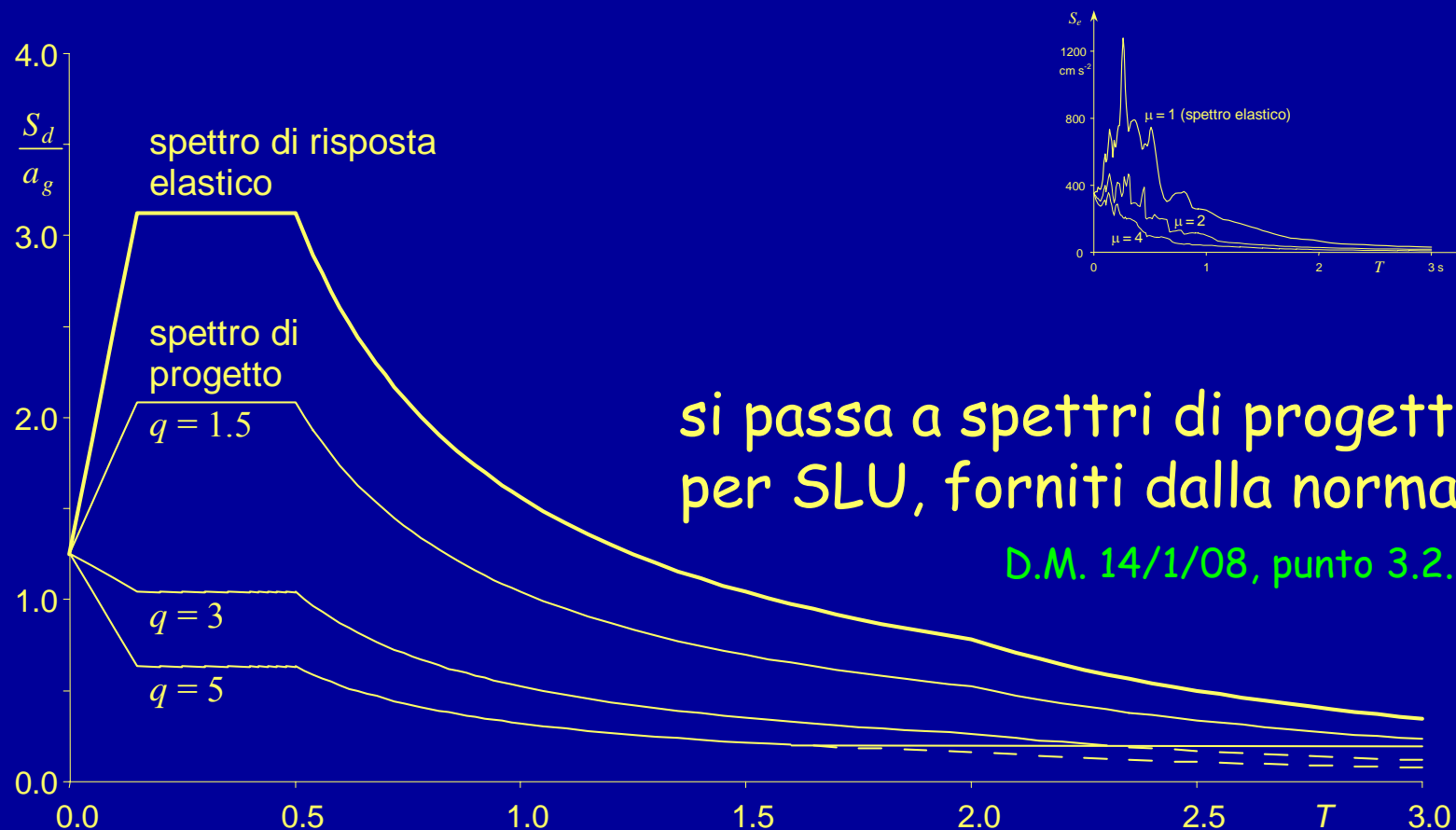
Spettri di progetto di normativa

Dagli spettri di risposta a duttilità assegnata



Spettri di progetto di normativa

Dagli spettri di risposta a duttilità assegnata



si passa a spettri di progetto
per SLU, forniti dalla normativa

D.M. 14/1/08, punto 3.2.3.5

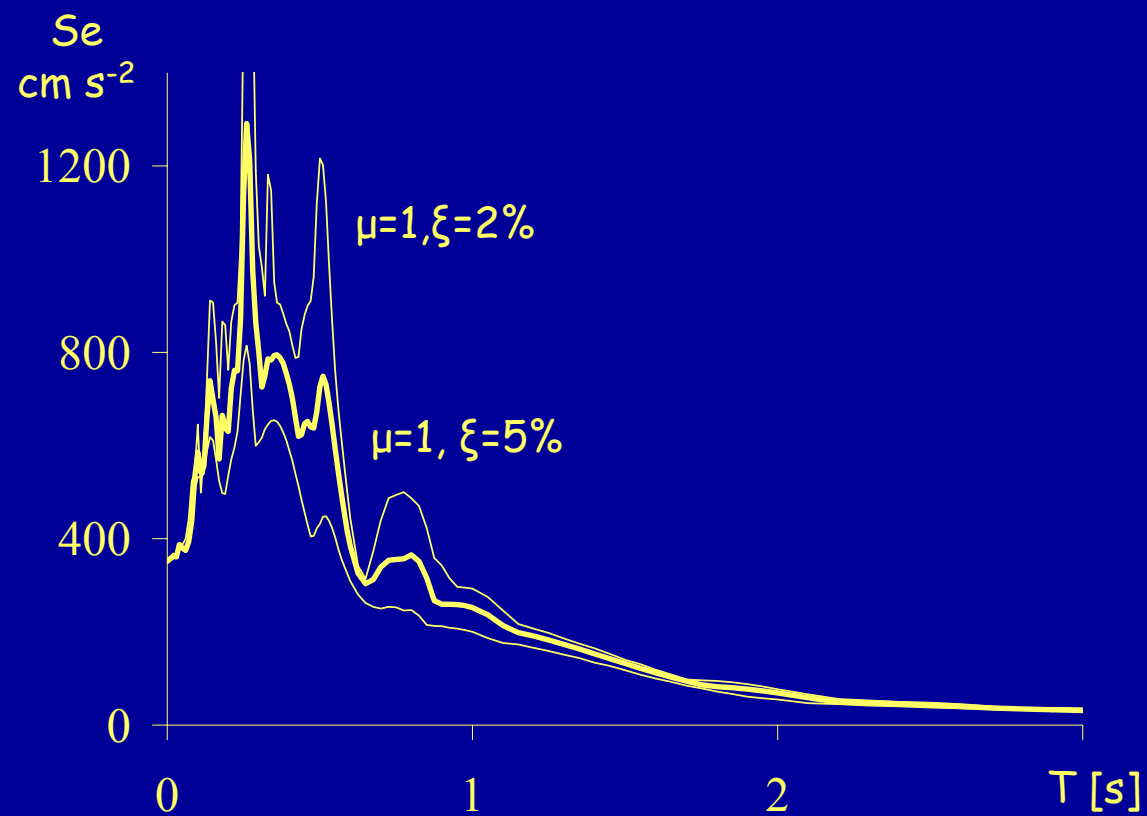
Progetto a duttilità assegnata

- Nota la duttilità, si può ricavare l'accelerazione (e quindi le forze) di progetto dagli spettri di risposta a duttilità assegnata.
- Risolvendo lo schema strutturale soggetto a queste forze (con analisi lineare) si verificano le sezioni.
- Se la struttura sopporta queste azioni ed ha la duttilità prevista, può sopportare (in campo inelastico) il terremoto.

Spettri di progetto per SLV
NTC 08 (D.M. 14/1/2008)

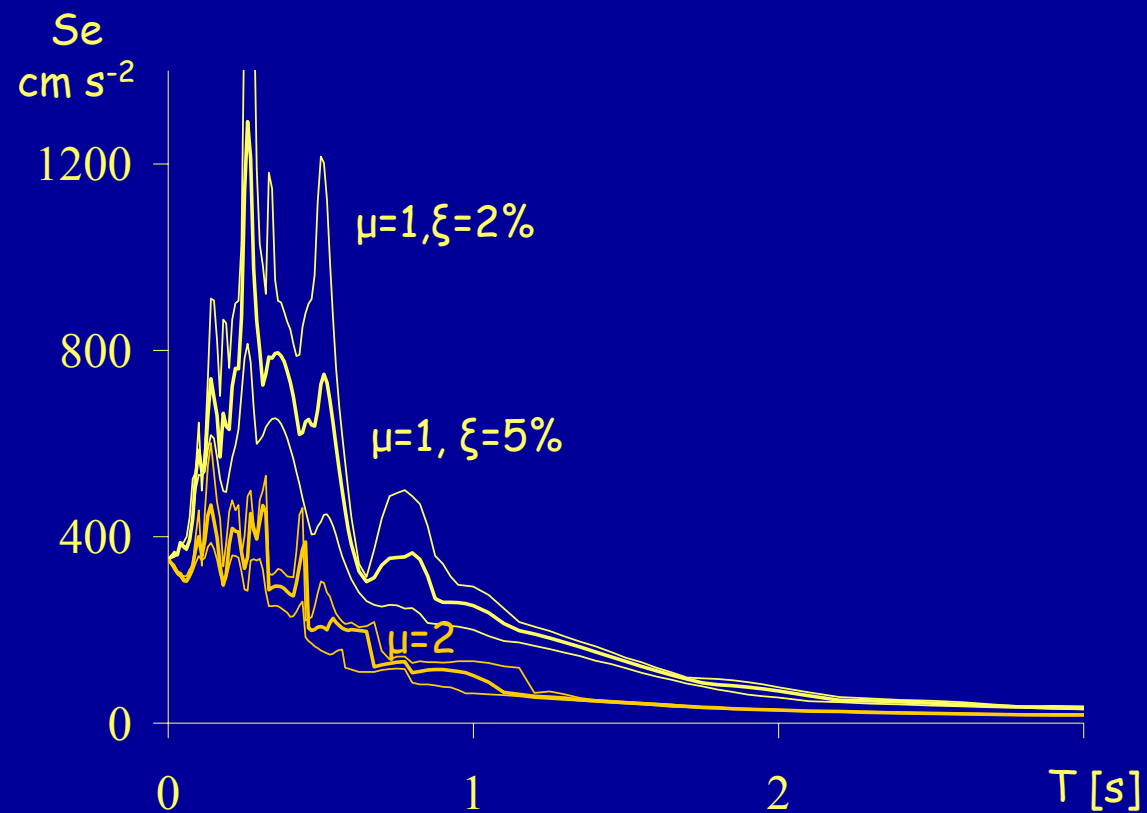
Effetti relativi

Smorzamento e duttilità



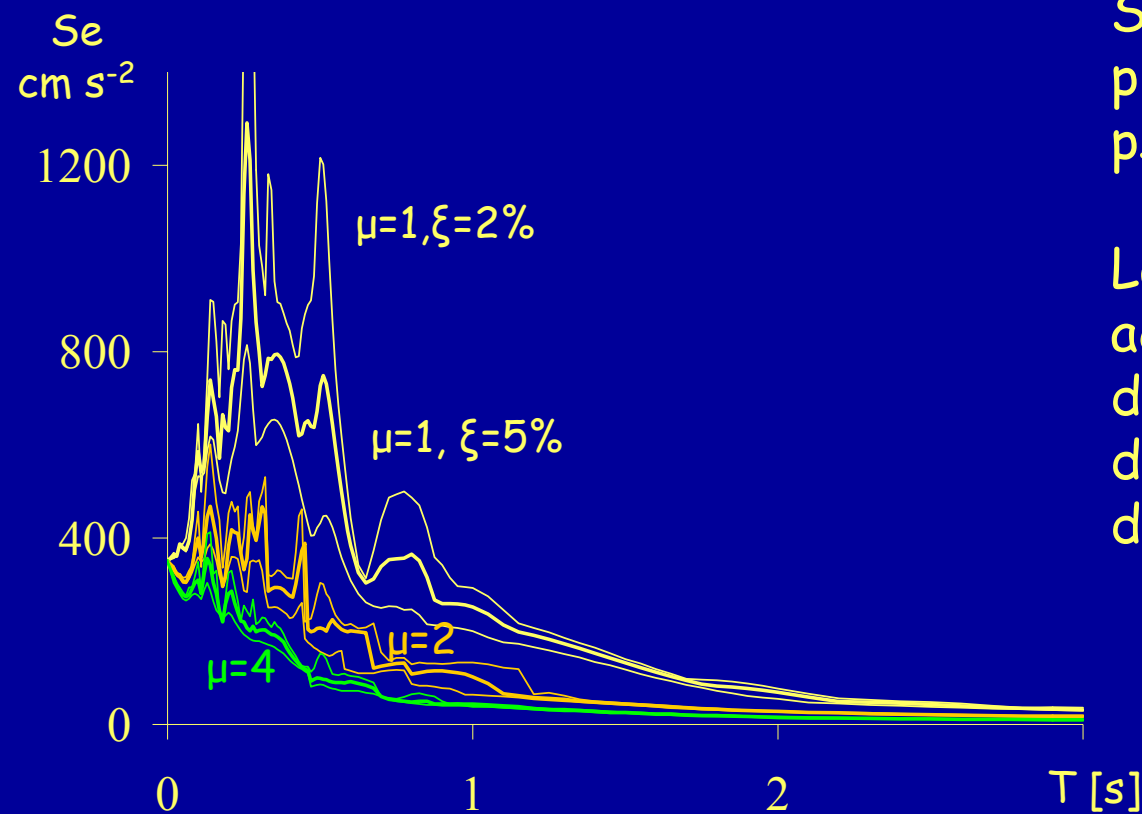
Effetti relativi

Smorzamento e duttilità



Effetti relativi

Smorzamento e duttilità



Sia lo smorzamento che le plasticizzazioni riducono la pseudo-accelerazione

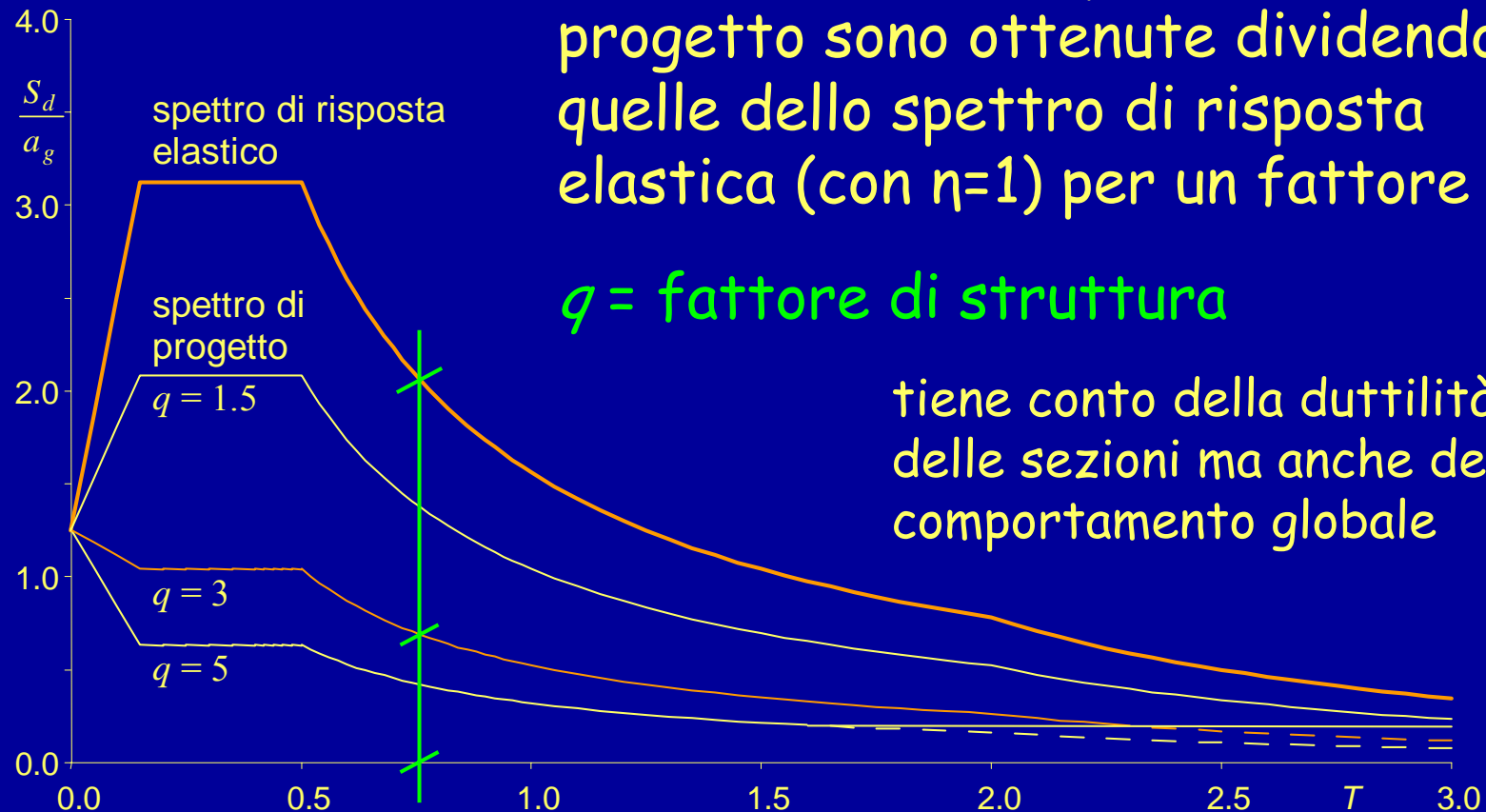
La riduzione della pseudo-accelerazione per effetto dello smorzamento decresce al crescere della deformazione inelastica

Spettri di progetto di normativa

Le ordinate dello spettro di progetto sono ottenute dividendo quelle dello spettro di risposta elastica (con $\eta=1$) per un fattore q

q = fattore di struttura

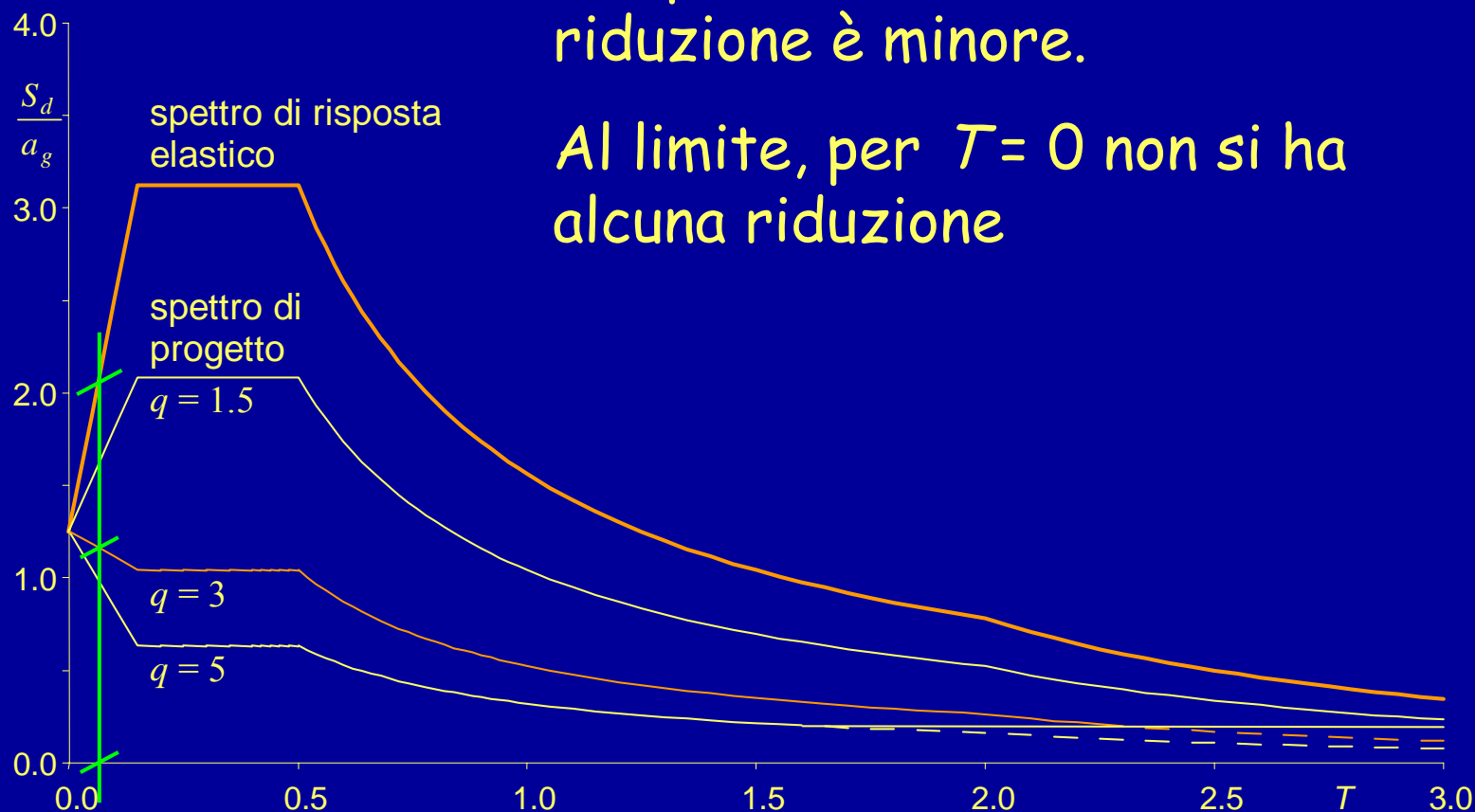
tiene conto della duttilità delle sezioni ma anche del comportamento globale



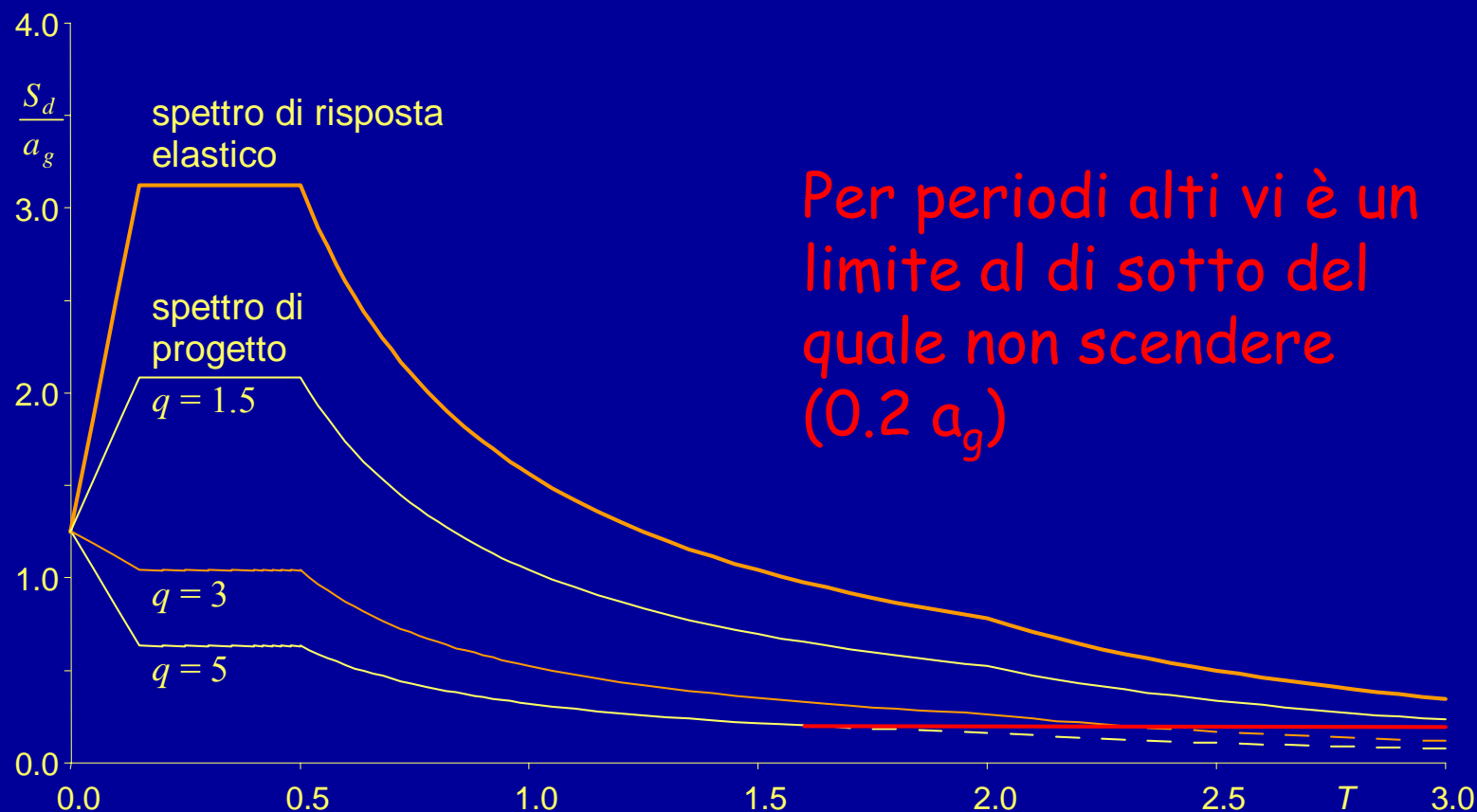
Spettri di progetto di normativa

Per periodi molto bassi la riduzione è minore.

Al limite, per $T = 0$ non si ha alcuna riduzione

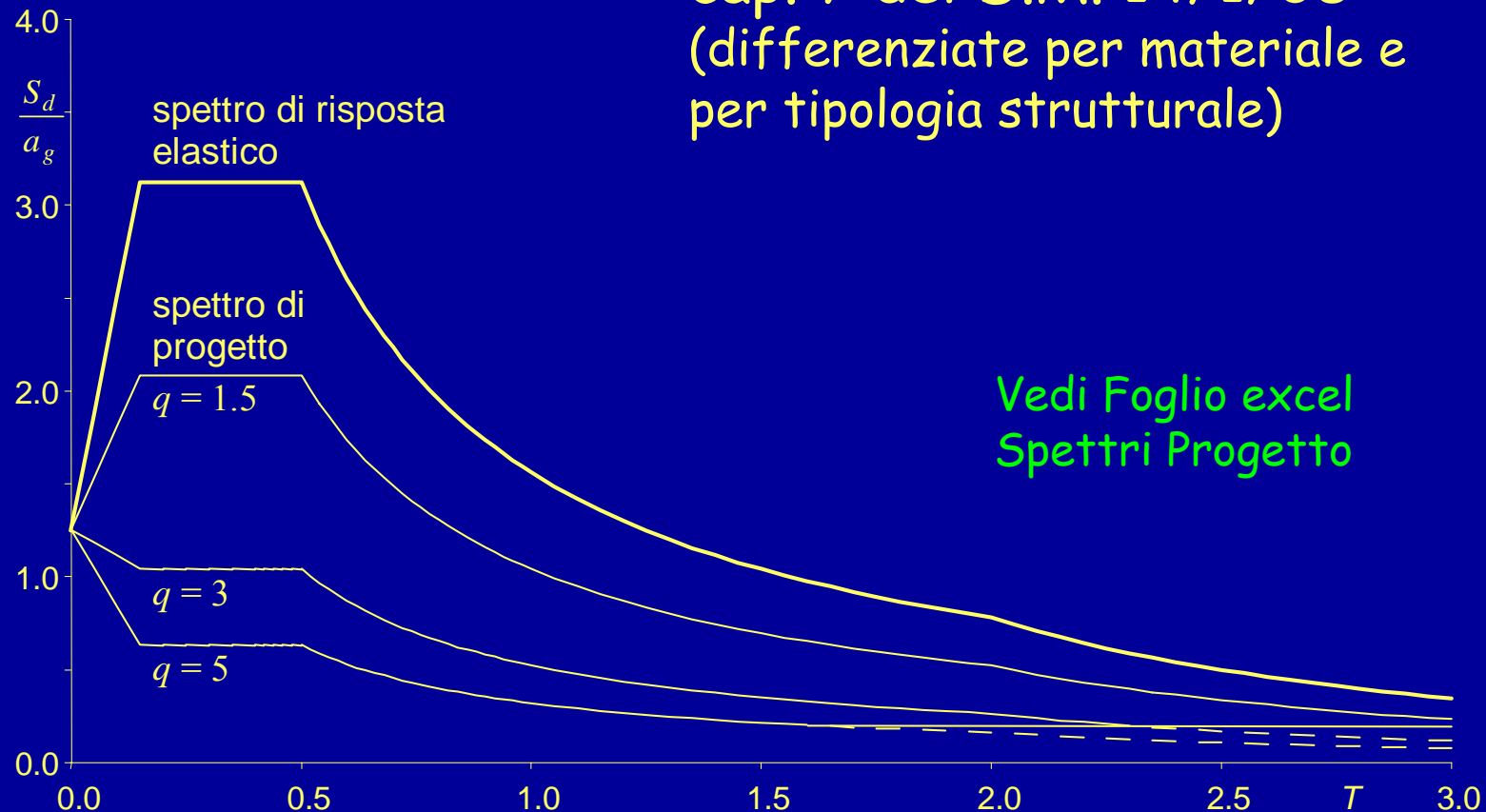


Spettri di progetto di normativa

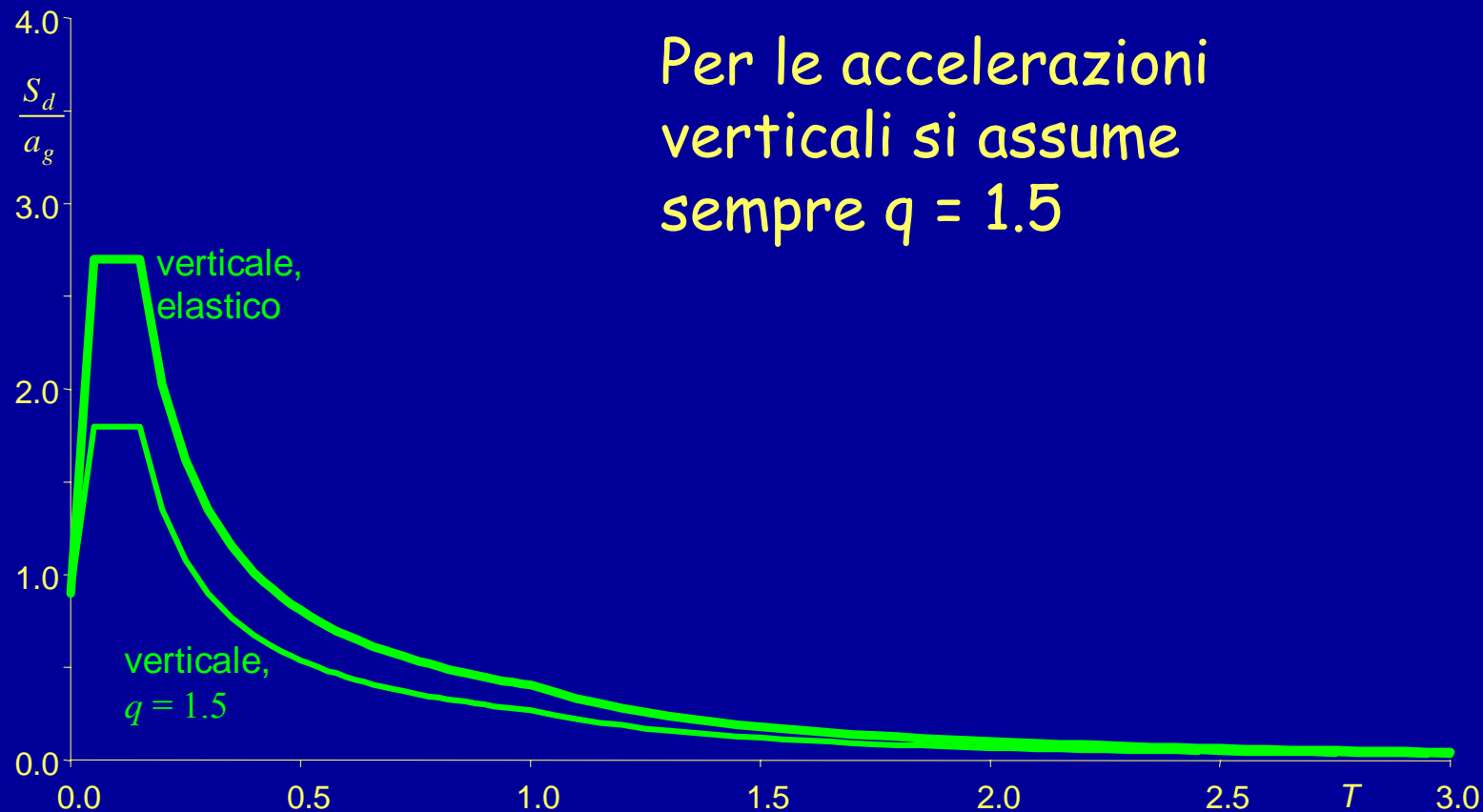


Spettri di progetto di normativa accelerazioni orizzontali

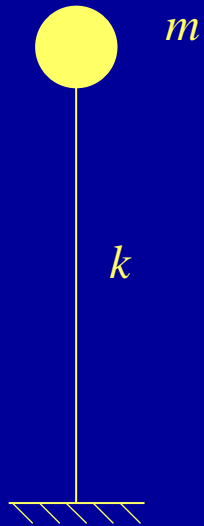
Il valore del fattore di struttura q è definito nel
cap. 7 del D.M. 14/1/08
(differenziate per materiale e
per tipologia strutturale)



Spettri di progetto di normativa accelerazioni verticali



Esempio



Dati:

$L = 10 \text{ m}$

$m = 250 \text{ t}$

$E = 28500 \text{ MPa}$

Sezione $60\text{cm} \times 60\text{cm}$

Suolo A

$q = 2.0$

$$K = \frac{3EI}{L^3} = 923.4 \text{ kN/m}$$

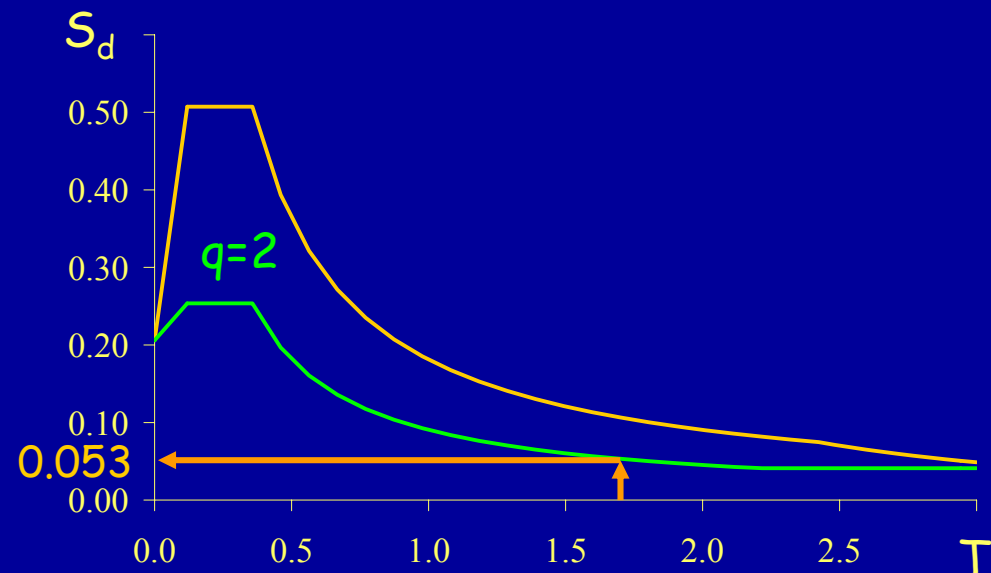
$$T = 2\pi\sqrt{\frac{m}{K}} = 1.70\text{s}$$

$$F = mS_d = 250\text{t} \times 0.053 \times g = 130.57\text{kN}$$

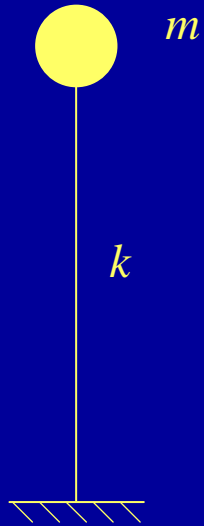
$$M = F \times L = 1305.7\text{kNm}$$

$$N = m \times g = 2452\text{kN}$$

Sezione 60×60 armata
con $7\Phi 24$ per lato ha un:
 $M_{Rd} = 1200\text{kNm}$



Esempio



Dati:

$L = 10 \text{ m}$

$m = 250 \text{ t}$

$E = 28500 \text{ MPa}$

Sezione $70\text{cm} \times 70\text{cm}$

Suolo A

$q = 2.0$

$$K = \frac{3EI}{L^3} = 1710.7 \text{ kN/m}$$

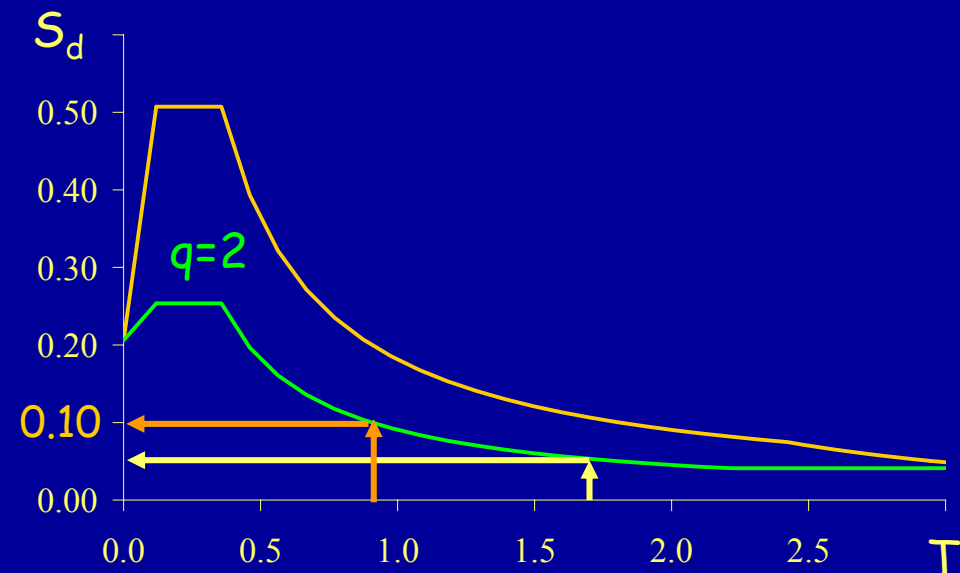
$$T = 2\pi\sqrt{\frac{m}{K}} = 0.92\text{s}$$

$$F = mS_d = 250\text{t} \times 0.10 \times g = 245.25\text{kN}$$

$$M = F \times L = 2452.5\text{kNm}$$

$$N = m \times g = 2452\text{kN}$$

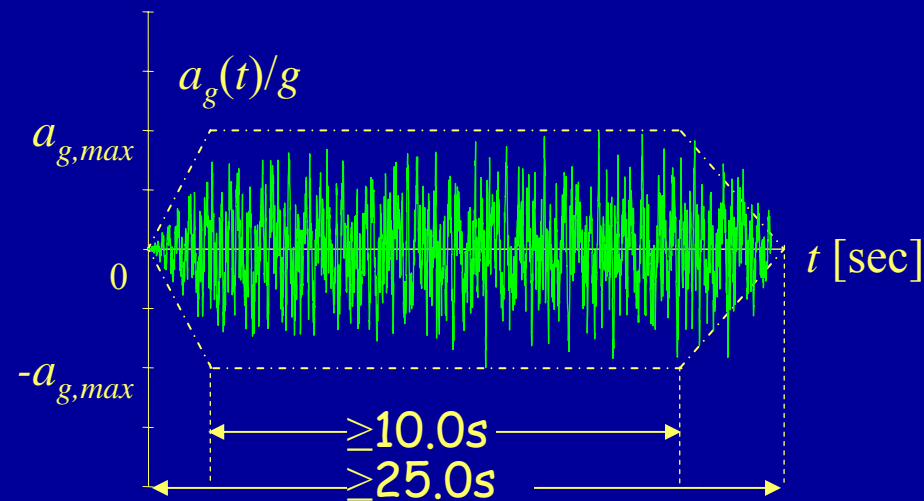
Sezione 70×70 armata
con $8\Phi 24$ per lato ha un:
 $M_{Rd} = 1700\text{kNm}$



Impiego di accelerogrammi

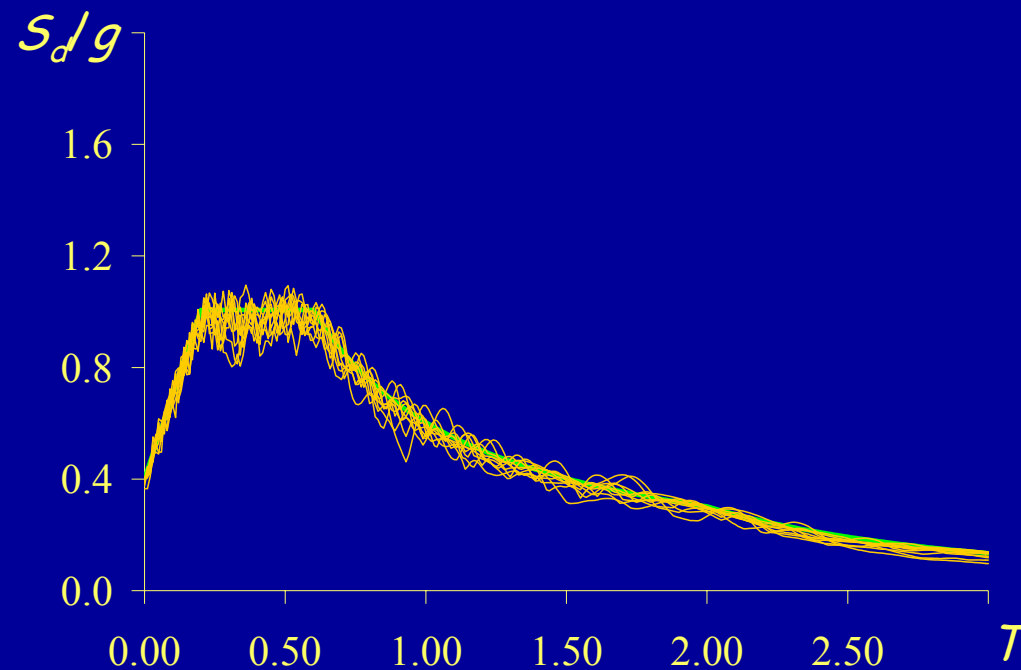
Gli stati limite, ultimi e di esercizio, possono essere verificati mediante l'uso di accelerogrammi, o artificiali o simulati o naturali.

Accelerogrammi artificiali



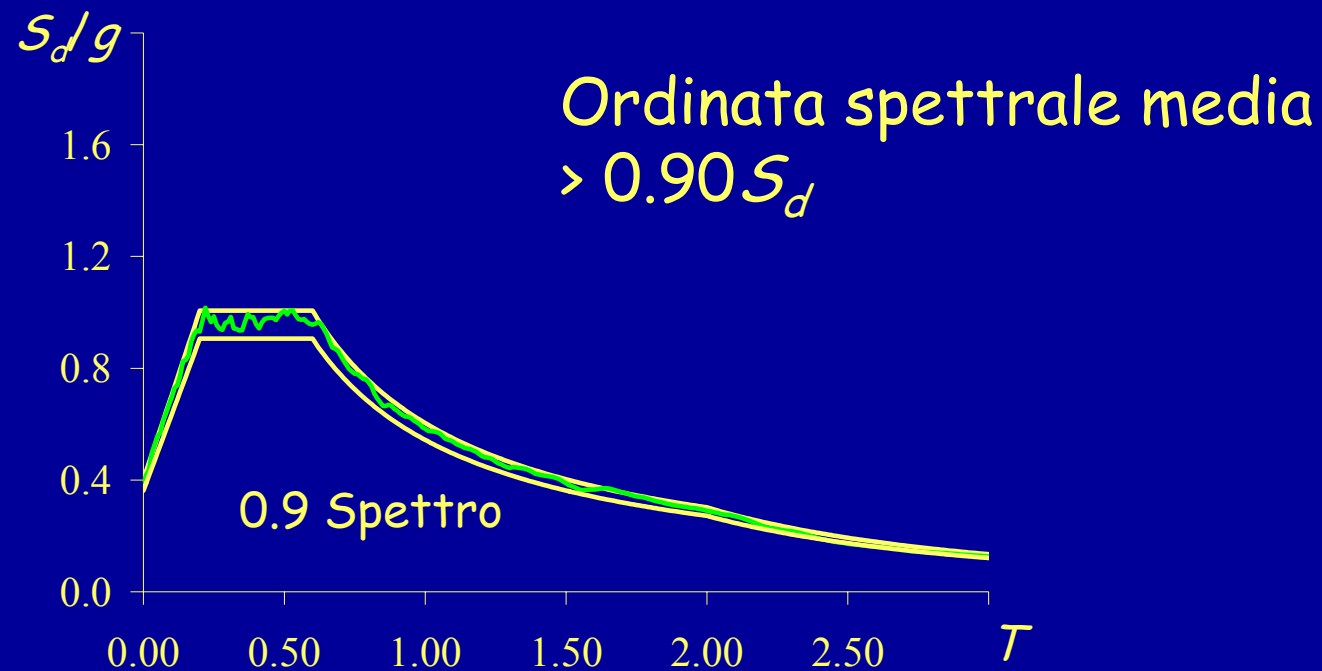
Impiego di accelerogrammi accelerogrammi artificiali

Gli accelerogrammi artificiali devono avere uno spettro di risposta elastico coerente con lo spettro di risposta adottato nella progettazione.



Impiego di accelerogrammi accelerogrammi artificiali

Gli accelerogrammi artificiali devono avere uno spettro di risposta elastico coerente con lo spettro di risposta adottato nella progettazione.



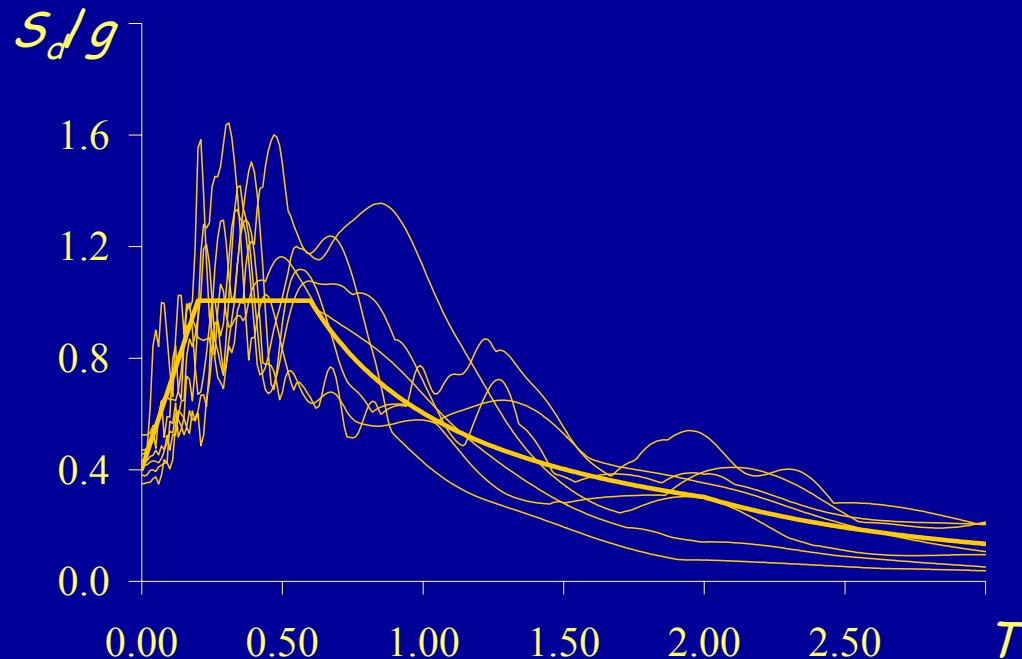
Impiego di accelerogrammi accelerogrammi generati

Sono generati mediante simulazione del meccanismo di sorgente e della propagazione

Le ipotesi relative alle caratteristiche sismogenetiche della sorgente e del mezzo di propagazione devono essere debitamente giustificate

Impiego di accelerogrammi accelerogrammi registrati

Devono essere rappresentativi della sismicità del sito, delle caratteristiche della sorgente, della magnitudo, della distanza dalla sorgente e della massima accelerazione orizzontale attesa

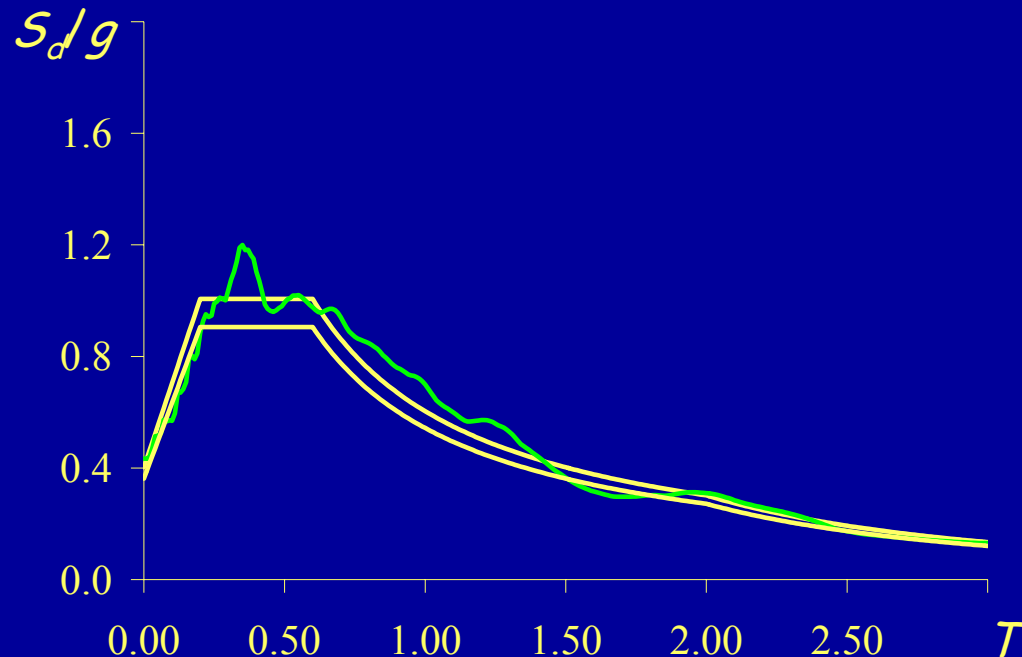


Devono essere scalati in modo da approssimare gli spettri di risposta nel campo di periodi di interesse

Impiego di accelerogrammi

accelerogrammi registrati

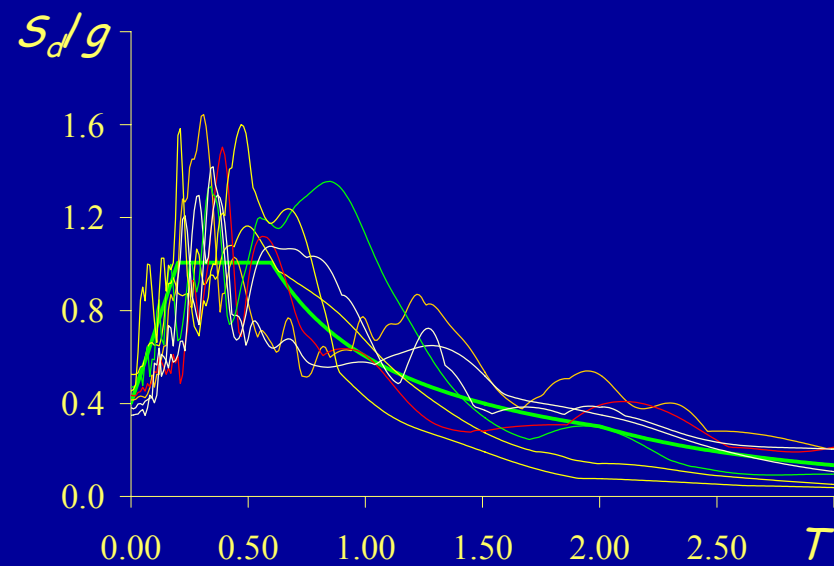
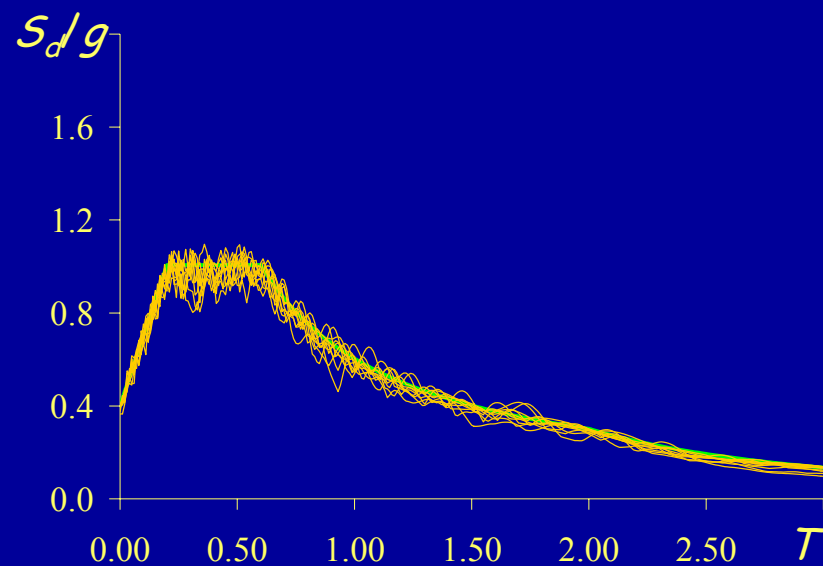
Devono essere rappresentativi della sismicità del sito, delle caratteristiche della sorgente, della magnitudo, della distanza dalla sorgente e della massima accelerazione orizzontale attesa



Devono essere scalati in modo da approssimare gli spettri di risposta nel campo di periodi di interesse

Impiego di accelerogrammi quali accelerogrammi usare?

Il dibattito è ancora aperto



FINE

Corso di Aggiornamento
Norme Tecniche per le Costruzioni

Modulo 1
Sicurezza Strutturale ed Azioni

Ordine degli Ingegneri, Catania
15 ottobre 2008
Melina Bosco

Azioni sulle costruzioni

Classificazione

- in base al modo di esplicarsi
- secondo la risposta strutturale
- secondo la variazione della loro intensità nel tempo

Azioni sulle costruzioni

Classificazione delle azioni in base al modo di esplicarsi

a) *dirette*

forze concentrate, carichi distribuiti, fissi o mobili;

b) *indirette*

spostamenti impressi, variazioni di temperatura e di umidità, ritiro, precompressione, cedimenti di vincolo, ecc.

c) *degrado*

- endogeno: alterazione naturale del materiale di cui è composta l'opera strutturale;
- esogeno: alterazione delle caratteristiche dei materiali costituenti l'opera strutturale, a seguito di agenti esterni.

Azioni sulle costruzioni

Classificazione delle azioni secondo la risposta strutturale

a) *statiche*

azioni applicate alla struttura che non provocano accelerazioni significative della stessa o di alcune sue parti;

b) *pseudo statiche*

azioni dinamiche rappresentabili mediante un'azione statica equivalente;

c) *dinamiche*

azioni che causano significative accelerazioni della struttura o dei suoi componenti.

Azioni sulle costruzioni

Classificazione delle azioni secondo la variazione della loro intensità nel tempo

a) *permanenti* (G):

azioni che agiscono durante la vita nominale della costruzione la cui variazione di intensità nel tempo è così piccola e lenta da poterle considerare con sufficiente approssimazione costanti nel tempo:

- peso proprio di tutti gli elementi strutturali; peso proprio del terreno, quando pertinente; forze indotte dal terreno (esclusi gli effetti di carichi variabili applicati al terreno); forze risultanti dalla pressione dell'acqua (quando si configurino costanti nel tempo) (G1);
- peso proprio di tutti gli elementi non strutturali (G2);
- spostamenti e deformazioni imposti, previsti dal progetto e realizzati all'atto della costruzione;
- pretensione e precompressione (P);
- ritiro e viscosità;
- spostamenti differenziali;

Azioni sulle costruzioni

Classificazione delle azioni secondo la variazione della loro intensità nel tempo

b) *variabili* (Q):

azioni sulla struttura o sull'elemento strutturale con valori istantanei che possono risultare sensibilmente diversi fra loro nel tempo:

- di lunga durata: agiscono con un'intensità significativa, anche non continuativamente, per un tempo non trascurabile rispetto alla vita nominale della struttura;
- di breve durata: azioni che agiscono per un periodo di tempo breve rispetto alla vita nominale della struttura;

Azioni sulle costruzioni

Classificazione delle azioni secondo la variazione della loro intensità nel tempo

c) *eccezionali* (A):

azioni che si verificano solo eccezionalmente nel corso della vita nominale della struttura;

- incendi;
- esplosioni;
- urti ed impatti;

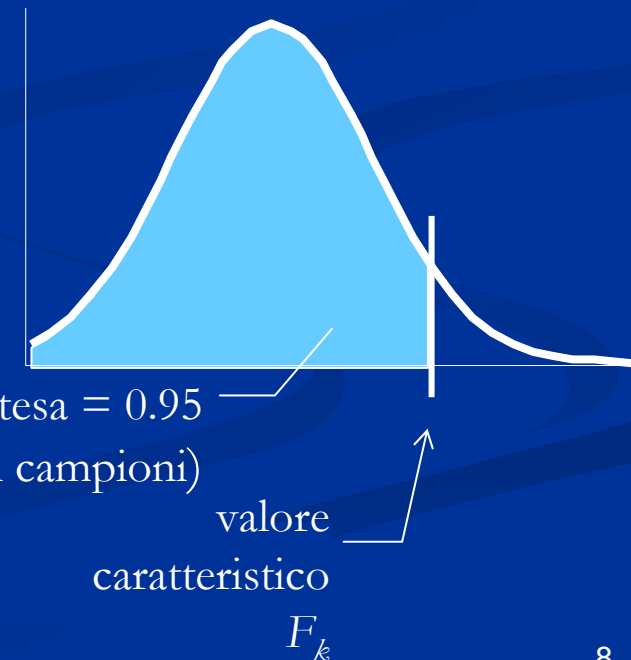
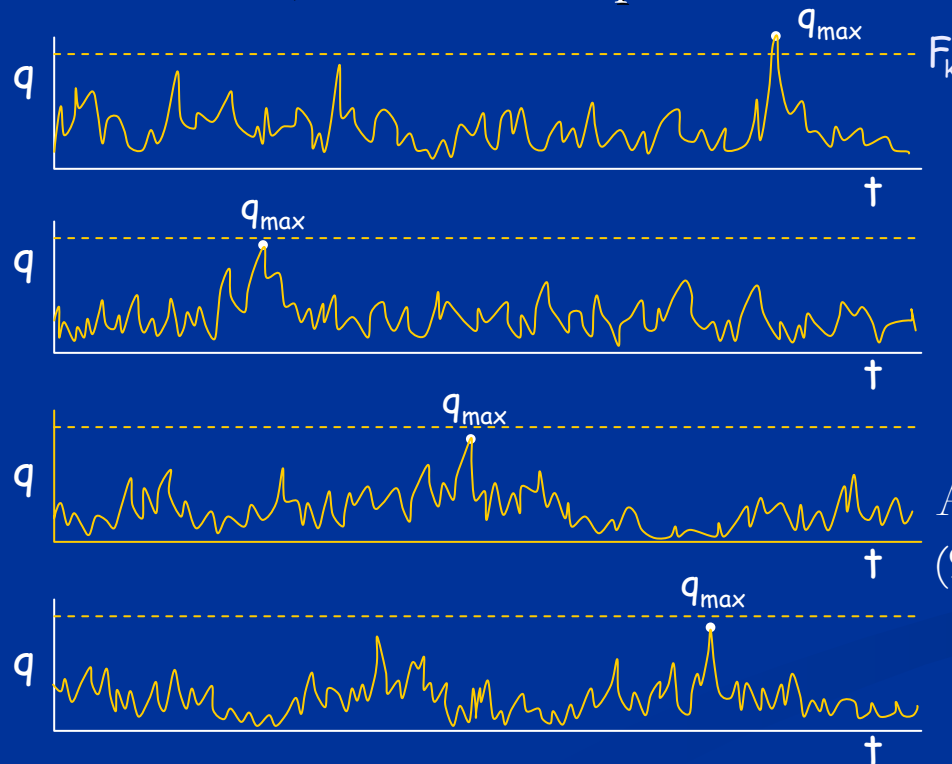
d) *sismiche* (E):

azioni derivanti dai terremoti.

Caratterizzazione delle azioni elementari

Valore Caratteristico delle azioni (G_{1k} , G_{2k} , Q_k , A_k):

valore corrispondente ad un frattile pari al 95 % della popolazione dei massimi, in relazione al periodo di riferimento dell'azione variabile



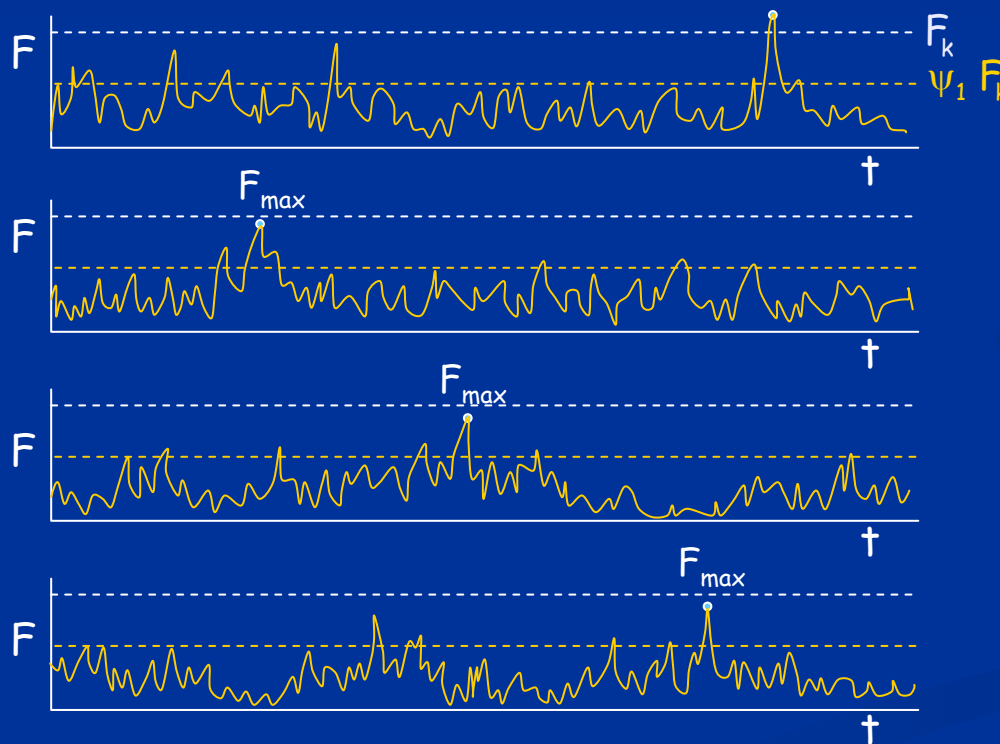
Caratterizzazione delle azioni elementari

Valori di azioni variabili corrispondenti a probabilità di superamento via via maggiori:

- Valore raro (o di combinazione) $\Psi_0 Q_{kj}$
valore di durata breve ma ancora significativa nei riguardi della possibile concomitanza con altre azioni variabili
- Valore frequente $\Psi_1 Q_{kj}$
- Valore quasi permanente $\Psi_2 Q_{kj}$

Caratterizzazione delle azioni elementari

Valore frequente



È il frattile 95% della distribuzione temporale in un periodo di riferimento

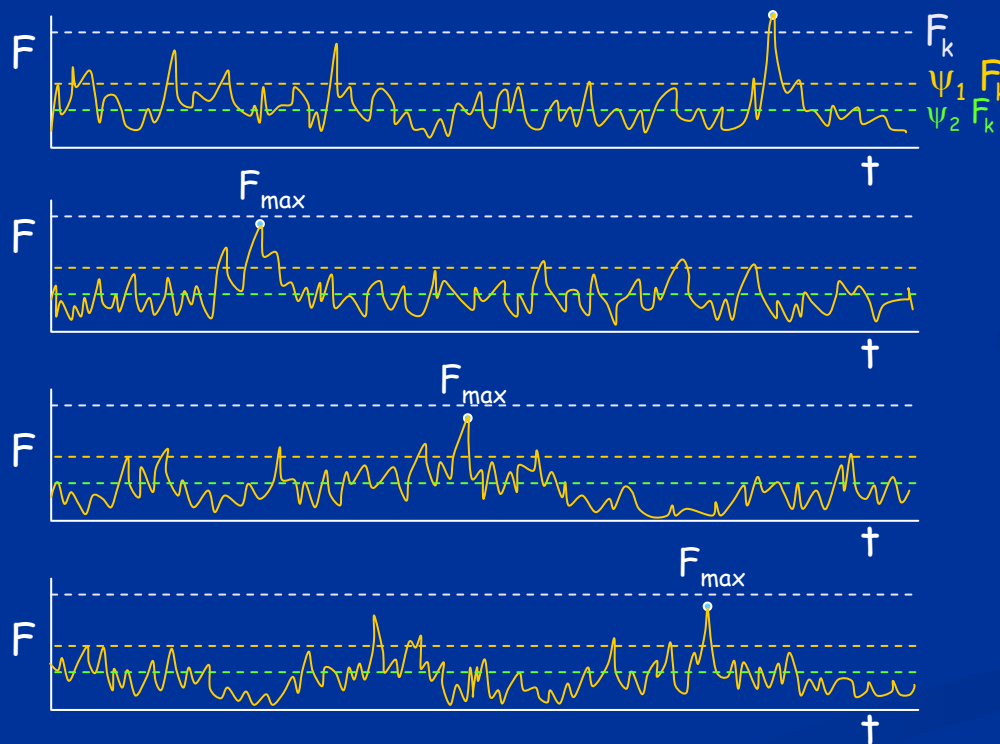
Cioè è superato solo nel 5% del periodo di riferimento

ψ_1 dipende dal tipo di carico

$\psi_1 = 0.5$ carico variabile per abitazione
0.2 per vento

Caratterizzazione delle azioni elementari

Valore quasi permanente



È la media della distribuzione temporale in un periodo di riferimento

ψ_2 dipende dal tipo di carico

$\psi_2 = 0.3$ c. var. per abitazione
 0 per vento

Coefficienti di combinazione

Categoria/Azione variabile

Ψ_0 Ψ_1 Ψ_2

Categoria A	Ambienti ad uso residenziale	0.7	0.5	0.3
Categoria B	Uffici	0.7	0.5	0.3
Categoria C	Ambienti suscettibili di affollamento	0.7	0.7	0.6
Categoria D	Ambienti ad uso commerciale	0.7	0.7	0.6
Categoria E	Biblioteche, archivi, magazzini e ambienti uso industr.	1.0	0.9	0.8
Categoria F	Rimesse e parcheggi (per autoveicoli di peso ≤ 30 kN)	0.7	0.7	0.6
Categoria G	Rimesse e parcheggi (per autoveicoli di peso > 30 kN)	0.7	0.5	0.3
Categoria H	Coperture	0.0	0.0	0.0
Vento		0.6	0.2	0.0
Neve (a quota ≤ 1000 m s.l.m.)		0.5	0.2	0.0
Neve (a quota > 1000 m s.l.m.)		0.7	0.5	0.2
Variazioni termiche		0.6	0.5	0.0

Combinazione delle azioni

Stati Limite Ultimi

1

Combinazione fondamentale

$$\gamma_{G1}G_1 + \gamma_{G2}G_2 + \gamma_P P + \gamma_{Q1}Q_{k1} + \gamma_{Q2}\Psi_{02}Q_{k2} + \gamma_{Q3}\Psi_{03}Q_{k3} + \dots$$

			EQU	A1 STR	A2 GEO
Carichi permanenti	favorevoli	γ_{G1}	0.90	1.00	1.00
	sfavorevoli		1.10	1.30	1.00
Carichi permanenti non strutturali*	favorevoli	γ_{G2}	0.00	0.00	0.00
	sfavorevoli		1.50	1.50	1.30
Carichi variabili	favorevoli	γ_Q	0.00	0.00	0.00
	sfavorevoli		1.50	1.50	1.30

* Nel caso in cui i carichi permanenti non strutturali siano compiutamente definiti si potranno adottare gli stessi coefficienti validi per le azioni permanenti

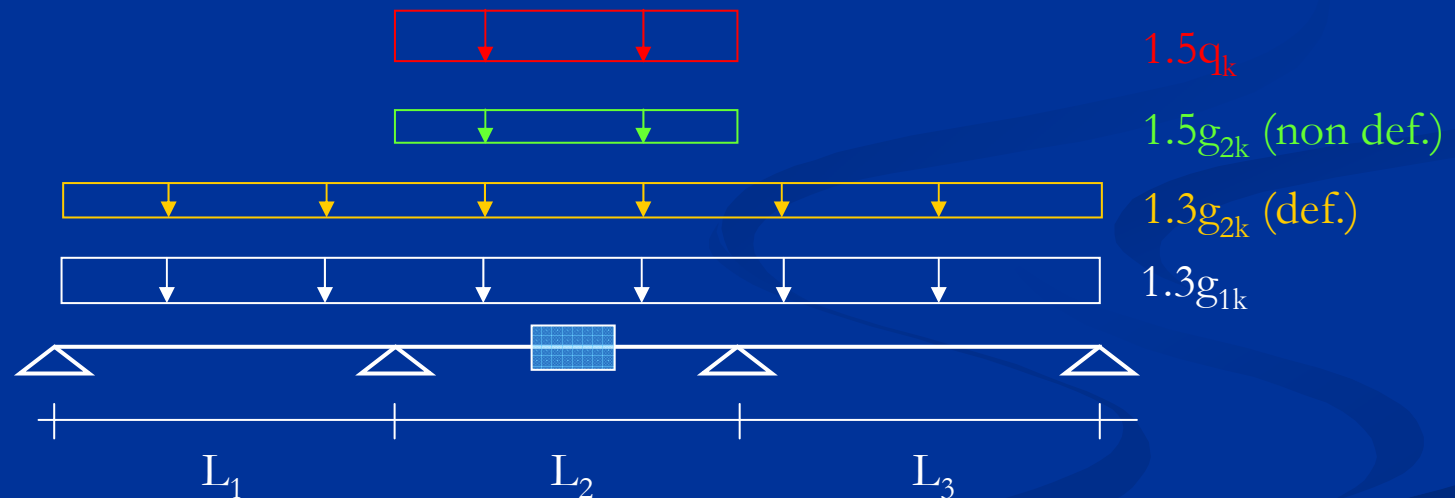
Combinazione delle azioni

Stati Limite Ultimi

1

Combinazione fondamentale

$$\gamma_{G1}G_1 + \gamma_{G2}G_2 + \gamma_P P + \gamma_{Q1}Q_{k1} + \gamma_{Q2}\Psi_{02}Q_{k2} + \gamma_{Q3}\Psi_{03}Q_{k3} + \dots$$



Combinazione delle azioni

Stati Limite di Esercizio

2

Combinazione caratteristica rara

generalmente impiegata per gli stati limite di esercizio irreversibili

$$G_1 + G_2 + P + Q_{k1} + \psi_{02}Q_{k2} + \psi_{03}Q_{k3} + \dots$$

3

Combinazione frequente

generalmente impiegata per gli stati limite di esercizio reversibili

$$G_1 + G_2 + P + \psi_{11}Q_{k1} + \psi_{22}Q_{k2} + \psi_{23}Q_{k3} + \dots$$

4

Combinazione quasi permanente

impiegata per gli effetti a lungo termine

$$G_1 + G_2 + P + \psi_{21}Q_{k1} + \psi_{22}Q_{k2} + \dots$$

Combinazione delle azioni

5

Combinazione sismica

impiegata per gli stati limite ultimi e di esercizio connessi all'azione sismica E

$$E + G_1 + G_2 + P + \psi_{21}Q_{k1} + \psi_{22}Q_{k2} + \dots$$

Nel DM 96

T.A.: $\alpha + \alpha_p$ (sollecitazioni dovute al sisma + sollecitazioni dovute agli altri carichi agenti contemporaneamente escluso il vento)

S.L.U: $1.5 \alpha + \alpha_p$ (1.5 sollecitazioni dovute al sisma + sollecitazioni dovute agli altri carichi agenti nella combinazione:
 $\gamma_g G_k + \gamma_p P_k + \gamma_q [Q_{1k} + \Sigma \psi_{0i} Q_{1ki}]$)

Combinazione delle azioni

6

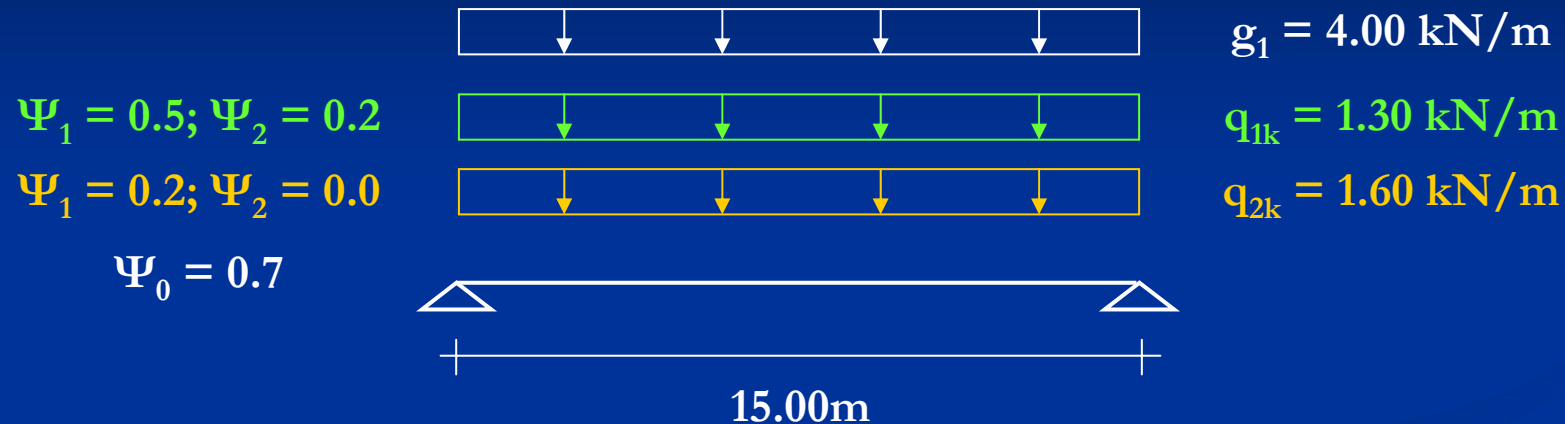
Combinazione eccezionale

impiegata per gli stati limite ultimi e di esercizio connessi
alle azioni eccezionali di progetto A_d

$$G_1 + G_2 + P + A_d + \psi_{22}Q_{k1} + \psi_{22}Q_{k2} + \dots$$

Combinazione delle azioni

Esempio



(SLU) $\gamma_{G1}G_1 + \gamma_{G2}G_2 + \gamma_P P + \gamma_{Q1}Q_{k1} + \gamma_{Q2}\Psi_{02}Q_{k2} + \gamma_{Q3}\Psi_{03}Q_{k3} + \dots$

$$q = 1.3 \times 4.00 + 1.5 \times (1.30 + 1.60 \times 0.7) = 8.83 \text{ kN/m}$$

$$q = 1.3 \times 4.00 + 1.5 \times (1.30 \times 0.7 + 1.60) = 8.965 \text{ kN/m}$$

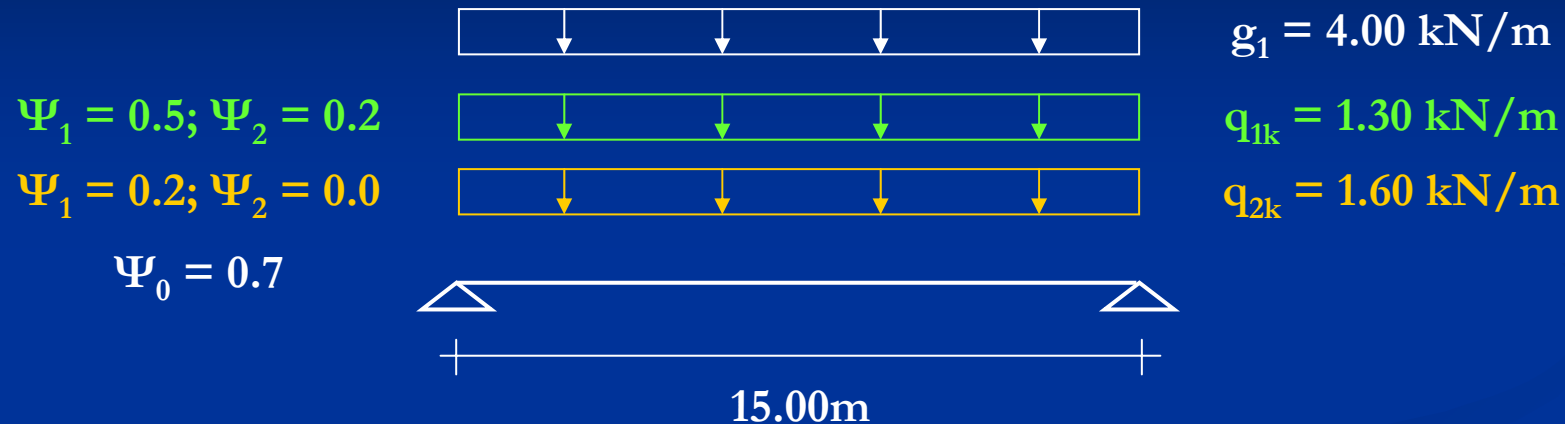
Comb. caratteristica rara $G_1 + G_2 + P + Q_{k1} + \Psi_{02}Q_{k2} + \Psi_{03}Q_{k3} + \dots$

$$q = 4.00 + (1.30 + 1.60 \times 0.7) = 6.42 \text{ kN/m}$$

$$q = 4.00 + (1.30 \times 0.7 + 1.60) = 6.51 \text{ kN/m}$$

Combinazione delle azioni

Esempio



Combinazione Frequente $G_1 + G_2 + P + \psi_{11}Q_{k1} + \psi_{22}Q_{k2} + \psi_{23}Q_{k3} + \dots$

$$q = 4.00 + (1.30 \times 0.5 + 1.60 \times 0.0) = 4.65 \text{ kN/m}$$

$$q = 4.00 + (1.30 \times 0.2 + 1.60 \times 0.2) = 4.58 \text{ kN/m}$$

Combinazione Quasi Permanente $G_1 + G_2 + P + \psi_{21}Q_{k1} + \psi_{22}Q_{k2} + \dots$

$$q = 4.00 + (1.30 \times 0.2 + 1.60 \times 0.0) = 4.26 \text{ kN/m}$$

Combinazione delle azioni

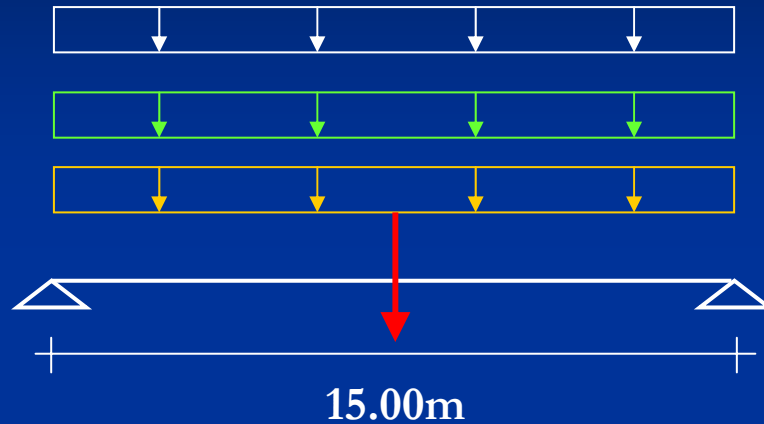
Esempio

$$\Psi_1 = 0.5; \Psi_2 = 0.2$$

$$\Psi_1 = 0.2; \Psi_2 = 0.0$$

$$\Psi_0 = 0.7$$

$$\Psi_1 = 0.6; \Psi_2 = 0.3$$

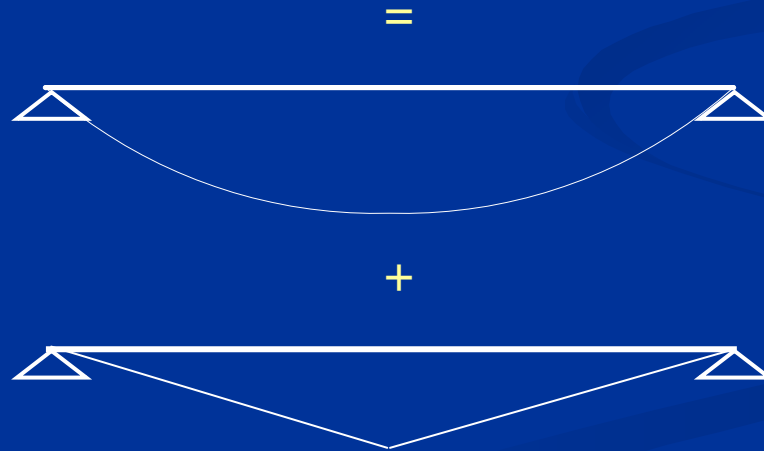


$$g_1 = 4.00 \text{ kN/m}$$

$$q_{1k} = 1.30 \text{ kN/m}$$

$$q_{2k} = 1.60 \text{ kN/m}$$

$$Q_{3k} = 10.00 \text{ kN}$$

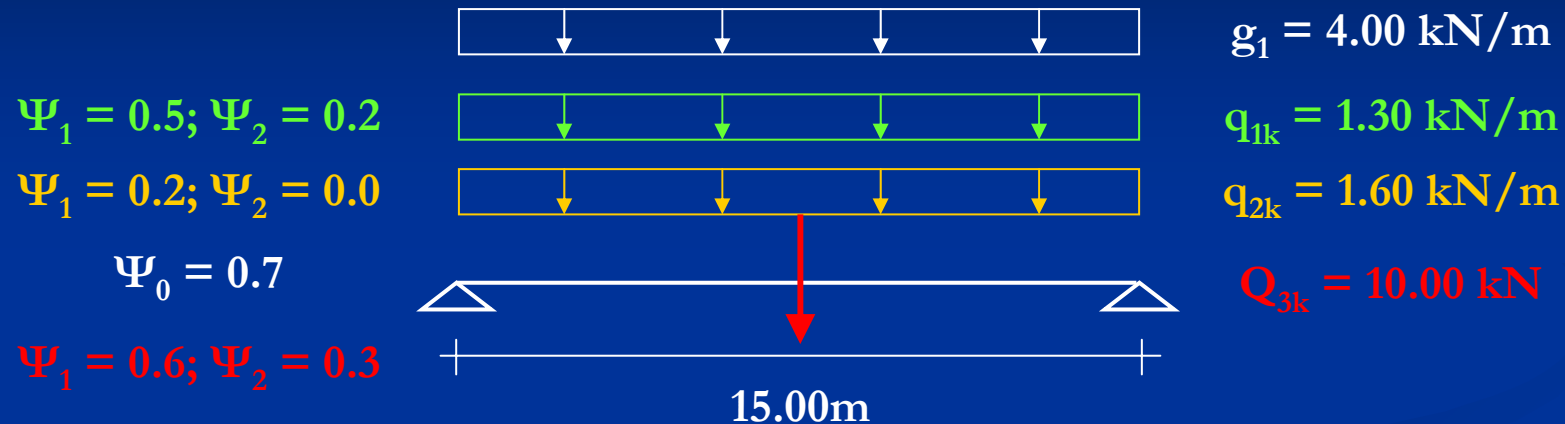


$$\frac{q \cdot l^2}{8}$$

$$\frac{F \cdot l}{4}$$

Combinazione delle azioni

Esempio



Combinazione Fondamentale (Stato Limite Ultimo)

$$q = 1.3 \times 4.00 + 1.5 \times (1.30 \times 0.7 + 1.60) = 8.965 \text{ kN/m} \quad (q_{2k} \text{ principale})$$

$$F = 1.5 \times 10.0 \times 0.7 = 10.5 \text{ kN}$$

$$M_{ed} = 8.965 \times 15^2 / 8 + 10.5 \times 15 / 4 = 252.14 + 39.38 = 291.52 \text{ kNm}$$

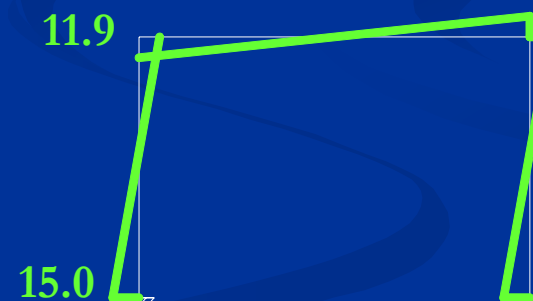
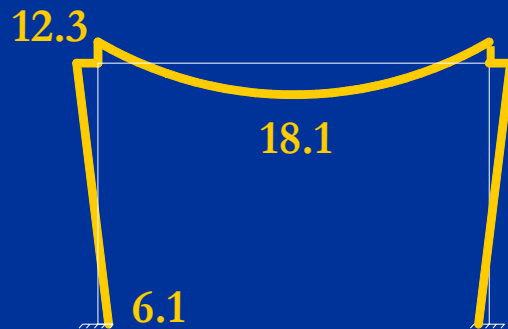
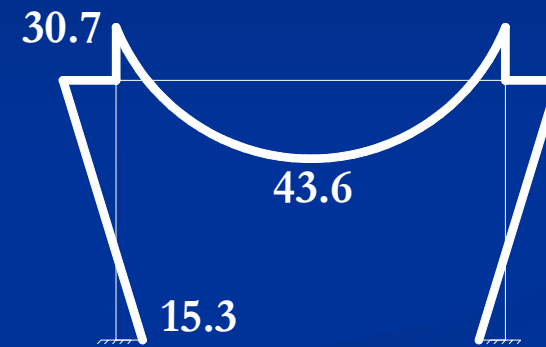
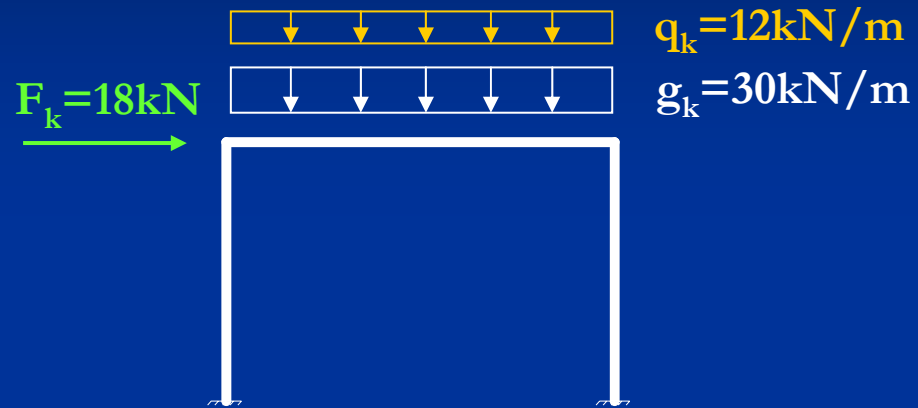
$$q = 1.3 \times 4.00 + 1.5 \times (1.30 \times 0.7 + 1.60 \times 0.7) = 8.245 \text{ kN/m} \quad (Q_{3k} \text{ principale})$$

$$F = 1.5 \times 10.0 = 15.0 \text{ kN}$$

$$M_{ed} = 8.245 \times 15^2 / 8 + 15.0 \times 15 / 4 = 231.89 + 56.25 = 288.14 \text{ kNm}$$

Combinazione delle azioni

Esempio



Azioni permanenti e variabili da carichi verticali

Azioni sulle costruzioni

Pesi dell'unità di volume dei principali materiali strutturali

MATERIALI	kN/m ³	MATERIALI	kN/m ³
<u>Calcestruzzi cementizi e malte</u>		<u>Materiale lapideo</u>	
Calcestruzzo ordinario	24,0	Tufo vulcanico	17,0
Calcestruzzo armato (e/o precompresso)	25,0	Calcare compatto	26,0
Calcestruzzi "leggeri": da determinarsi caso per caso	14,0 ÷ 20,0	Calcare tenero	22,0
Calcestruzzi "pesanti": da determinarsi caso per caso	28,0 ÷ 50,0	Gesso	13,0
Malta di calce	18,0	Granito	27,0
Malta di cemento	21,0	Laterizio (pieno)	18,0
Calce in polvere	10,0	<u>Legnami</u>	
Cemento in polvere	14,0	Conifere e pioppo	4,0 ÷ 6,0
Sabbia	17,0	Latifoglie (escluso pioppo)	6,0 ÷ 8,0
<u>Metalli e leghe</u>		<u>Sostanze varie</u>	
Acciaio	78,5	Carta	10,0
Ghisa	72,5	Vetro	25,0
Alluminio	27,0	Per materiali non compresi nella tabella si potrà far riferimento a specifiche indagini sperimentali o a normative di comprovata validità assumendo i valori nominali come valori caratteristici.	

Azioni sulle costruzioni

Generalità

La “robustezza” dell’opera deve essere verificata imponendo azioni nominali convenzionali, in aggiunta alle altre azioni esplicite (non sismiche e da vento), applicate secondo due direzioni orizzontali ortogonali e consistenti in una frazione dei carichi pari all’1% al fine di verificare il comportamento complessivo

Azioni sulle costruzioni

Carichi permanenti non strutturali

Il peso proprio di elementi divisorii interni può essere ragguagliato ad un carico permanente uniformemente distribuito g_{2k} , purché vengano adottate le misure costruttive atte ad assicurare una adeguata ripartizione del carico.

- per elementi divisorii con	$G_{2k} \leq 1.00 \text{ kN/m}$	$g_{2k} = 0.40 \text{ kN/m}^2$
- per elementi divisorii con	$1.00 < G_{2k} \leq 2.00 \text{ kN/m}$	$g_{2k} = 0.80 \text{ kN/m}^2$
- per elementi divisorii con	$2.00 < G_{2k} \leq 3.00 \text{ kN/m}$	$g_{2k} = 1.20 \text{ kN/m}^2$
- per elementi divisorii con	$3.00 < G_{2k} \leq 4.00 \text{ kN/m}$	$g_{2k} = 1.60 \text{ kN/m}^2$
- per elementi divisorii con	$4.00 < G_{2k} \leq 5.00 \text{ kN/m}$	$g_{2k} = 2.00 \text{ kN/m}^2$
- per elementi divisorii con	$G_{2k} > 5.00 \text{ kN/m}$	effettivo posizionamento

Azioni sulle costruzioni

Carichi permanenti non strutturali

Esempio elementi divisori interni

Mattoni Forati

$$0.08\text{m} \times 3.0\text{m} \times 6.0 \text{ kN/m}^3$$

Intonaco

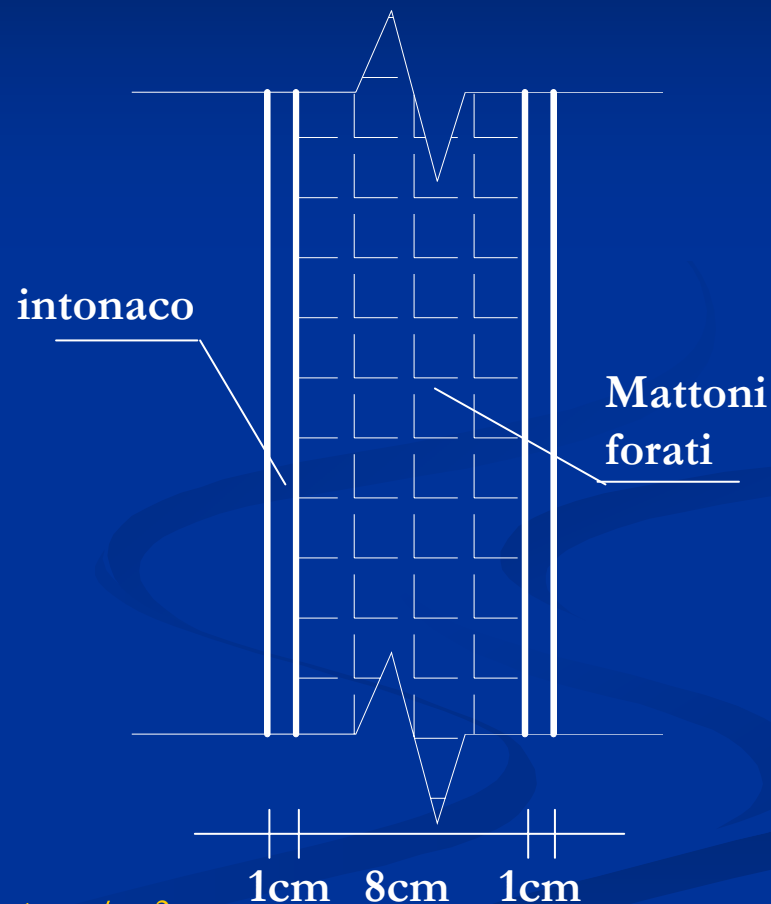
$$0.02\text{m} \times 3.0\text{m} \times 18.0 \text{ kN/m}^3$$

Totale

$$G_{2k} = 2.52 \text{ kN/m}$$

per elementi divisori con
 $2.00 < G_{2k} \leq 3.00 \text{ kN/m}$

$$g_{2k} = 1.20 \text{ kN/m}^2$$



Azioni sulle costruzioni

Carichi permanenti non strutturali

Esempio elementi divisori interni

Mattoni Forati

$$0.08\text{m} \times 3.0\text{m} \times 6.0 \text{ kN/m}^3$$

Intonaco

$$0.04\text{m} \times 3.0\text{m} \times 18.0 \text{ kN/m}^3$$

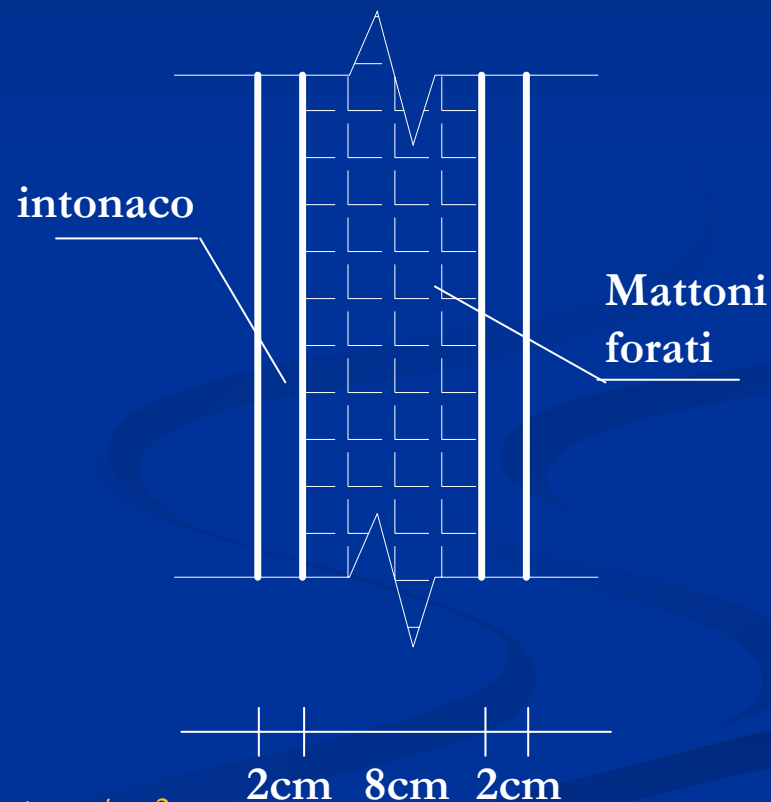
Totale

$$G_{2k} = 3.6 \text{ kN/m}$$

per elementi divisori con

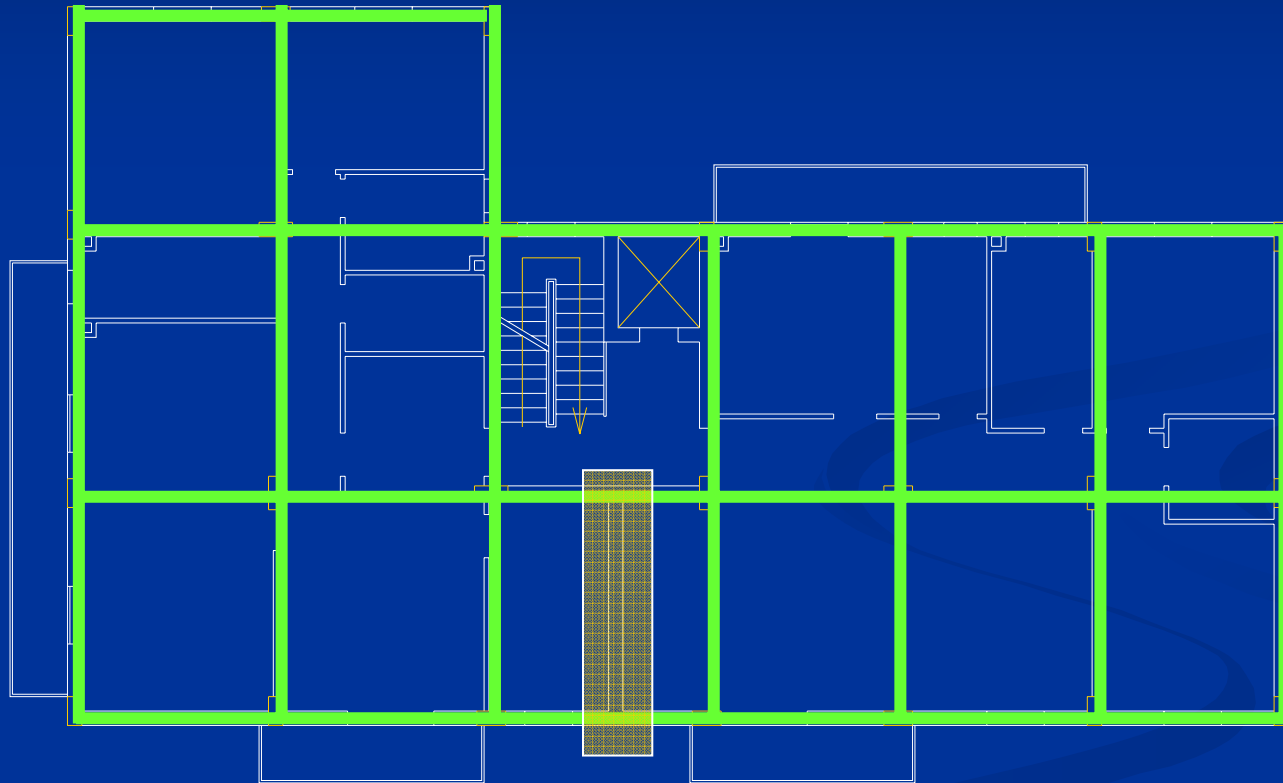
$$3.00 < G_{2k} \leq 4.00 \text{ kN/m}$$

$$g_{2k} = 1.60 \text{ kN/m}^2$$



Azioni sulle costruzioni

Carichi permanenti non strutturali



Azioni sulle costruzioni

Carichi permanenti non strutturali

Esempio tompagno

Mattoni Forati Esterni

0.12m x 3.0m x 6.0 kN/m³

Mattoni Forati Interni

0.08m x 3.0m x 6.0 kN/m³

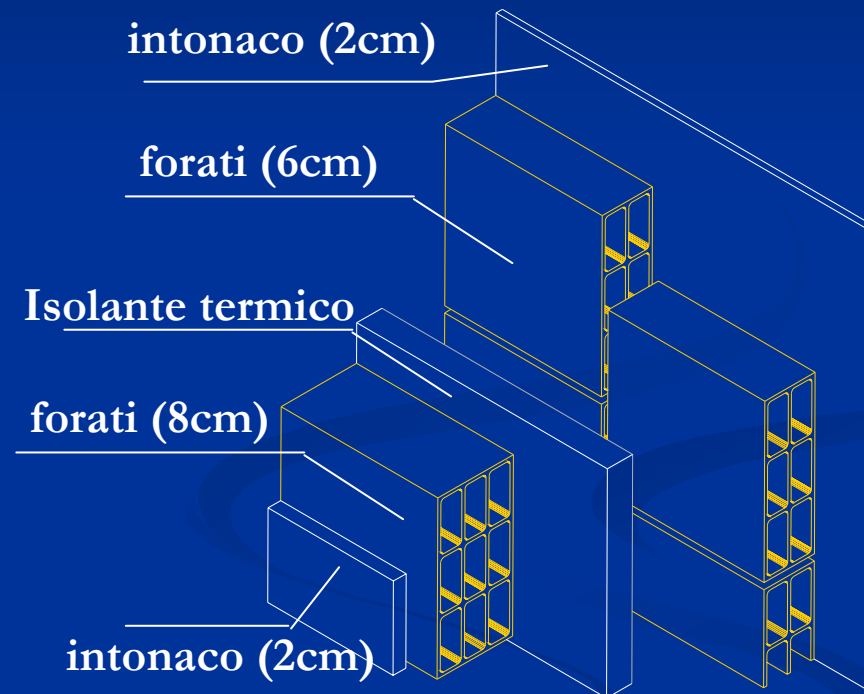
Intonaco (esterno + interno)

0.04m x 3.0m x 18.0 kN/m³

Isolante termico, barriera al vapore

Totale

$$G_{2k} = 5.76 \text{ kN/m}$$



Considerare il carico
nella sua effettiva posizione

Azioni sulle costruzioni

Carichi variabili

Carichi orizzontali lineari
 Carichi verticali concentrati
 Carichi verticali uniformemente ripartiti

Cat.	Ambienti	q_k [kN/m ²]	Q_k [kN]	H_k [kN/m]
A	Ambienti ad uso residenziale. Sono compresi in questa categoria i locali di abitazione e relativi servizi, alberghi. (ad esclusione delle aree suscettibili di affollamento)	2.00	2.00	1.00
B	Uffici Cat. B1 Uffici non aperti al pubblico Cat. B2 Uffici aperti al pubblico	2.00 3.00	2.00 2.00	1.00 1.00
C	Ambienti suscettibili di affollamento Cat. C1 Ospedali, ristoranti, caffè, banche, scuole Cat. C2 Balconi, ballatoi e scale comuni, sale convegni, cinema, teatri, chiese, tribune con posti fissi Cat. C3 Ambienti privi di ostacoli per il libero movimento delle persone, quali musei, sale per esposizioni, stazioni ferroviarie, sale da ballo, palestre, tribune libere, edifici per eventi pubblici, sale da concerto, palazzetti per lo sport etc.	3.00 4.00 5.00	2.00 4.00 5.00	1.00 2.00 3.00

Azioni sulle costruzioni

Carichi variabili

Carichi orizzontali lineari
 Carichi verticali concentrati
 Carichi verticali uniformemente ripartiti

Cat.	Ambienti	q_k [kN/m ²]	Q_k [kN]	H_k [kN/m]
D	Ambienti ad uso commerciale.			
	Cat. D1 Negozi Cat. D2 Centri commerciali, mercati, grandi magazzini librerie...	4.00 5.00	4.00 5.00	2.00 2.00
E	Biblioteche, archivi, magazzini e ambienti ad uso industriale.			
	Cat. E1 Biblioteche, archivi, magazzini, depositi, laboratori manifatturieri Cat. E2 Ambienti ad uso industriale, da valutarsi caso per caso	≥ 6.00 ---	6.00 ---	1.00* ---
F-G	Rimesse e parcheggi.			
	Cat. F Rimesse e parcheggi automezzi di peso a pieno Cat. G Rimesse e parcheggi per automezzi di peso a pieno carico superiore a 30 kN: da valutarsi caso per caso	2.50 ---	2*10.00 ---	1.00** ---

* non comprende le azioni orizzontali eventualmente esercitate dai materiali immagazzinati

** per i soli parapetti o partizioni nelle zone pedonali. Le azioni sulle barriere esercitate dagli automezzi dovranno essere valutate caso per caso

Azioni sulle costruzioni

Carichi variabili

Carichi orizzontali lineari
 Carichi verticali concentrati
 Carichi verticali uniformemente ripartiti

Cat.	Ambienti	q_k [kN/m ²]	Q_k [kN]	H_k [kN/m]
H	Coperture e sottotetti			
	Cat. H1 Coperture e sottotetti accessibili per sola manutenzione	0.50	1.20	1.00
	Cat. H2 Coperture praticabili	Secondo categoria di appartenenza		
	Cat. H3 Coperture speciali (impianti, eliporti, altri) da valutarsi caso per caso			
		----	----	----

FINE