

Dalla dinamica alla normativa sismica

Sistemi a un grado di libertà:
studio del comportamento non-lineare

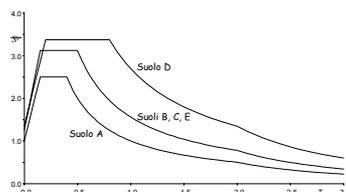
Caltagirone, 6 aprile 2004

Bruno Biondi

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

L'accelerazione massima del suolo, per terremoti
con elevato periodo di ritorno, è molto forte
($a_g = 0.35 \text{ g}$ in zone ad alta sismicità)

Per strutture con periodo medio-bassi si ha una
notevole amplificazione dell'accelerazione, rispetto
a quella del suolo (circa 2.5 volte)



$S_e \cong 0.88 \text{ g}$

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

L'accelerazione massima del suolo, per terremoti
con elevato periodo di ritorno, è molto forte
($a_g = 0.35 g$ in zone ad alta sismicità)

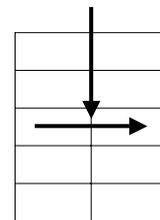
Per strutture con periodo medio-bassi si ha una
notevole amplificazione dell'accelerazione, rispetto
a quella del suolo (circa 2.5 volte)

Le azioni inerziali (forze orizzontali indotte dal
sisma) possono essere comparabili con le azioni
verticali

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

Azioni orizzontali comparabili
con le azioni verticali

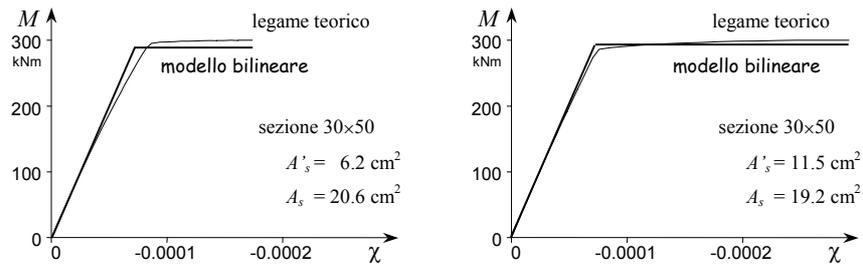
Le sollecitazioni provocate
dalle azioni orizzontali sono
molto forti



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

Comportamento oltre il limite elastico

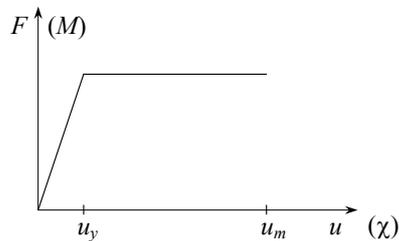
Occorre tener conto del comportamento non lineare delle singole sezioni



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

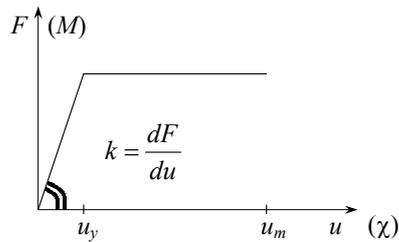


È caratterizzato da tre parametri fondamentali:

- Rigidezza
- Resistenza
- Duttilità

Comportamento oltre il limite elastico

Legame elastico-perfettamente plastico



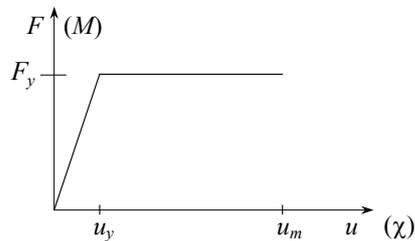
È caratterizzato da tre parametri fondamentali:

- Rigidezza
- Resistenza
- Duttilità

Rigidezza = inclinazione del diagramma

Comportamento oltre il limite elastico

Legame elastico-perfettamente plastico



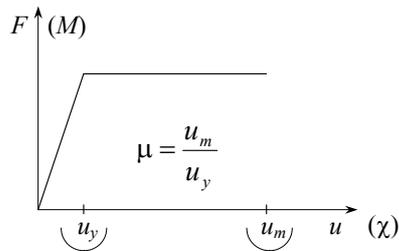
È caratterizzato da tre parametri fondamentali:

- Rigidezza
- Resistenza
- Duttilità

Resistenza = soglia di plasticizzazione

Comportamento oltre il limite elastico

Legame elastico-perfettamente plastico



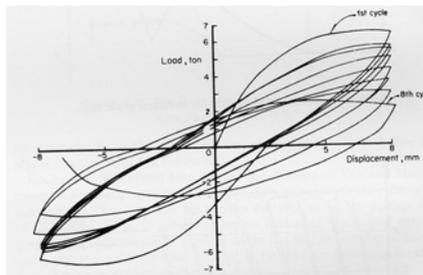
È caratterizzato da tre parametri fondamentali:

- Rigidezza
- Resistenza
- Duttilità

Duttilità = capacità di deformarsi plasticamente
senza sostanziali riduzioni della resistenza

Comportamento oltre il limite elastico

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



Definizione di duttilità

- Duttilità ciclica

$$\mu^{(ciclica)} = \frac{\bar{u}_{max}}{u_y} \quad \bar{u}_{max} = \text{massimo spostamento nei diversi cicli}$$

- Duttilità cumulata (fatica per basso n° di cicli)

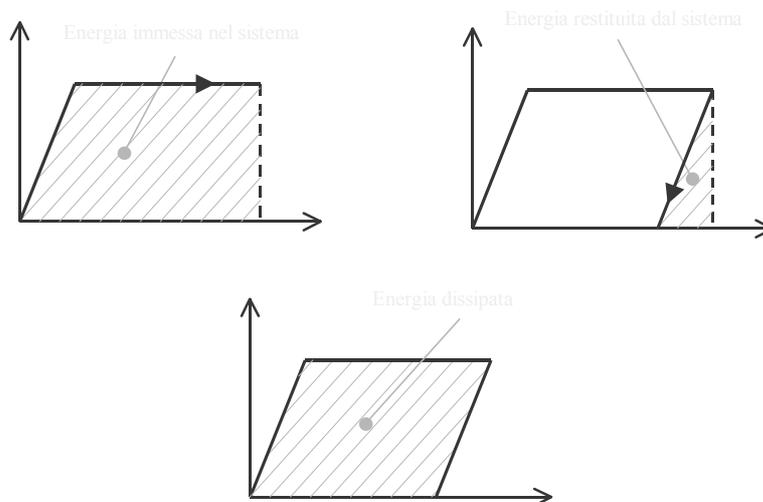
$$\mu^{(cumulata)} = 1 + \frac{\sum |u_{p,i}|}{u_y} \quad u_{p,i} = \text{spostamenti plastici nei diversi cicli}$$

- Duttilità equivalente (degrado del materiale)

$$\mu^{(equivalente)} = 1 + \frac{E_w}{F_y u_y} \quad E_w = \text{energia dissipata dal sistema}$$

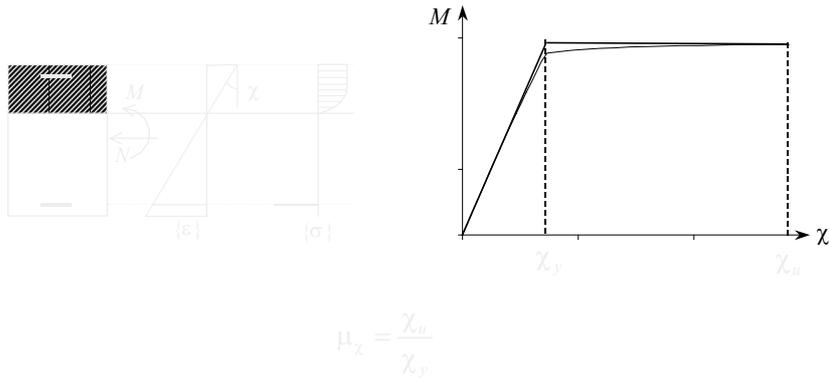
La duttilità misura la capacità di dissipare energia

Definizione di duttilità



Duttilità di sezioni in c.a.

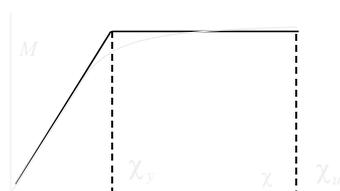
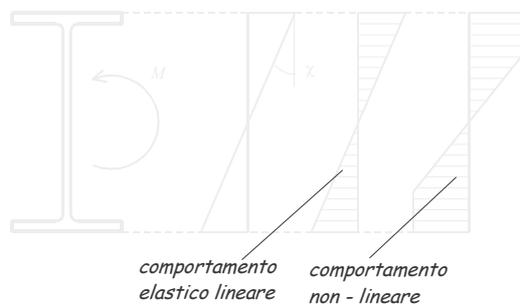
-Si determina costruendo un legame ($M - \chi$)
momento-curvatura della sezione



Duttilità di sezioni in c.a.

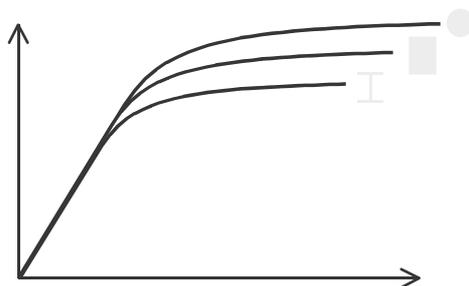
- Cresce al diminuire della percentuale di armatura tesa
- Cresce al crescere dell'armatura compressa
- Decresce al crescere dello sforzo assiale
- Cresce al crescere del grado di confinamento del calcestruzzo
- E' maggiore per sezioni di forma compatta

Duttilità di sezioni in acciaio



$$\mu_\chi = \frac{\chi_u}{\chi_y}$$

Duttilità di sezioni in acciaio

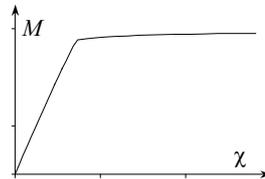


Dipende dalla geometria della sezione e dallo sforzo assiale

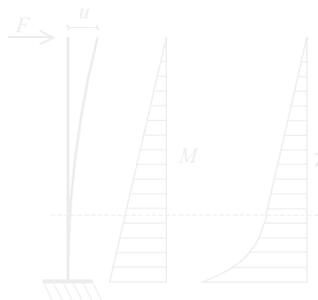
Duttilità di un elemento strutturale



Noto il legame ($M-\chi$)
della sezione si ricava
il diagramma di χ



Duttilità di un elemento strutturale

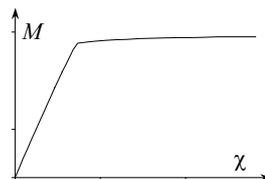


... e lo spostamento u

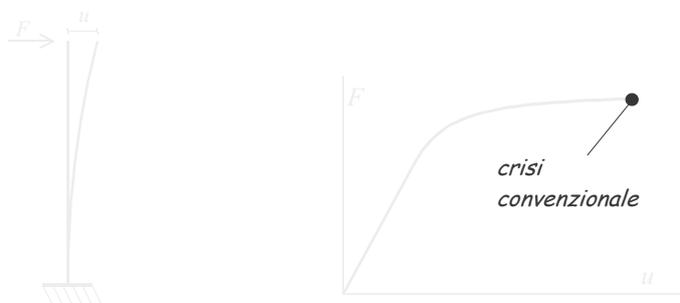
*comportamento
lineare*

*comportamento
non lineare*

Noto il legame ($M-\chi$)
della sezione si ricava
il diagramma di χ ...

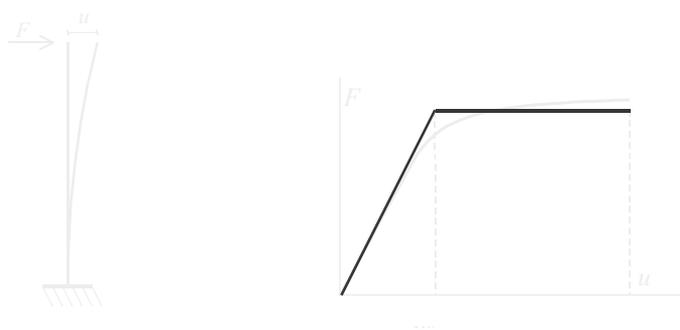


Duttilità di un elemento strutturale



Si ottiene quindi il legame $F-u$ dell'elemento

Duttilità di un elemento strutturale

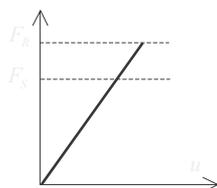


Si ottiene quindi il legame $F-u$ dell'elemento

e la duttilità allo spostamento $\mu_u = \frac{u_u}{u_y}$

Verifica in termini di duttilità

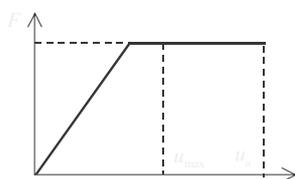
Per sistemi lineari la verifica è fatta sulle forze



$$F_R \geq F_S$$

$F_R = \text{forza resistente}$
 $F_S = \text{forza sollecitante}$

Per sistemi non lineari la verifica è fatta sugli spostamenti



$$u_u \geq u_{max}$$

$u_u = \text{spostamento ultimo}$
 $u_{max} = \text{spostamento impresso}$

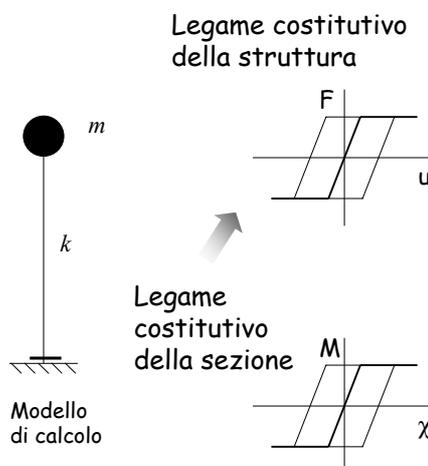
$$\mu_d \geq \mu_r$$

$\mu_d = \text{duttibilità disponibile}$
 $\mu_r = \text{duttibilità richiesta}$

Risposta sismica di un oscillatore semplice elasto-plastico



Foto



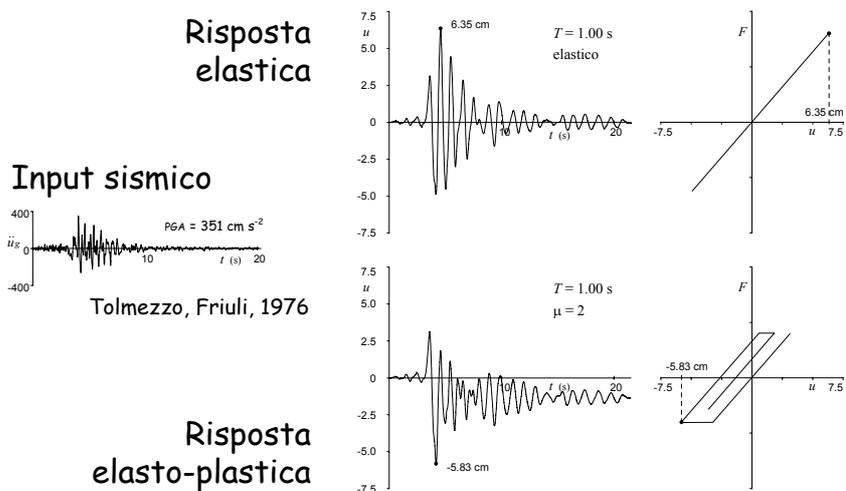
Risposta sismica di un oscillatore semplice elasto-plastico

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

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

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

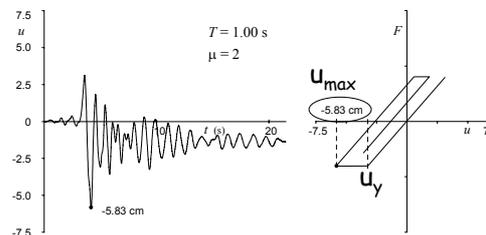


Richiesta di duttilità

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)

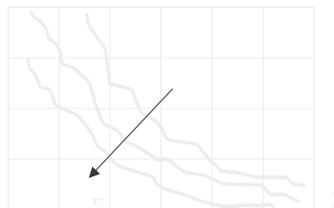
In genere, abbassando la resistenza aumenta la richiesta di duttilità

Risposta elasto-plastica



Richiesta di duttilità

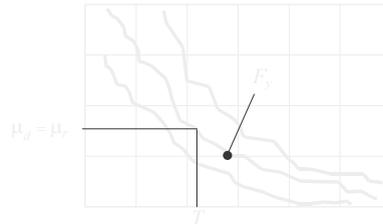
La duttilità richiesta è la minima duttilità che il sistema deve avere per sopravvivere al sisma



Dipende dal limite elastico e dal periodo al sisma

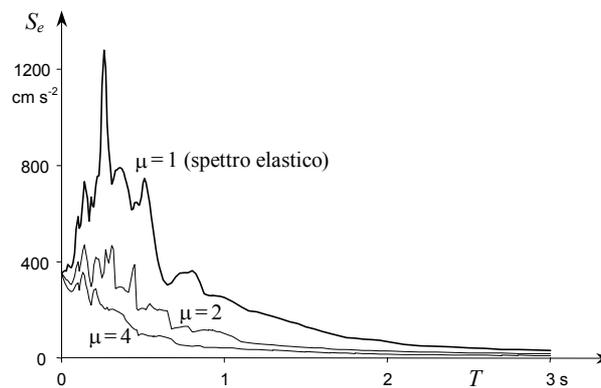
Richiesta di duttilità

Fissata la duttilità del sistema e noto il periodo può essere ricavata la forza di progetto



Ricordando che $F = m a$, possono essere costruite curve S_e - T a duttilità fissata

Spettri di risposta non-lineari

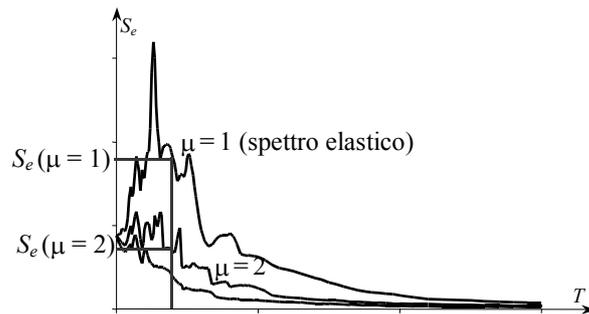


Spettro di risposta a duttilità assegnata

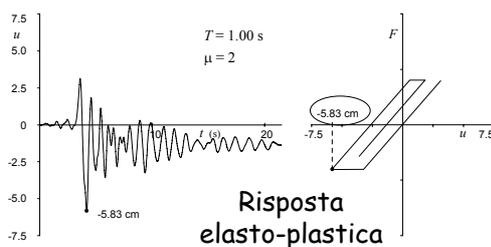
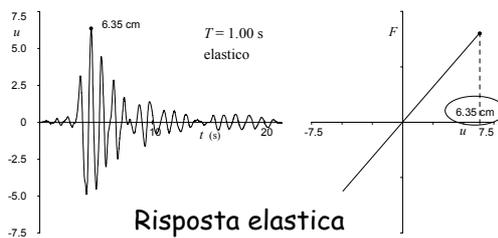
Per $\mu = 1$ si ottiene lo spettro di risposta elastico

Progettazione di strutture elasto-plastiche

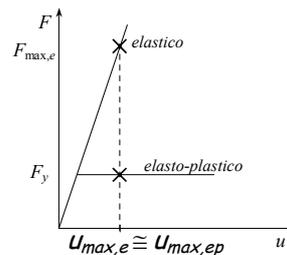
È possibile progettare la struttura con una forza ridotta, accettando la sua plasticizzazione, purché la duttilità disponibile sia maggiore di quella richiesta



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

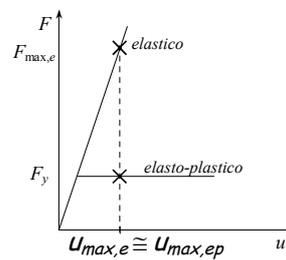
$F_{max,e}$

per la duttilità

μ

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

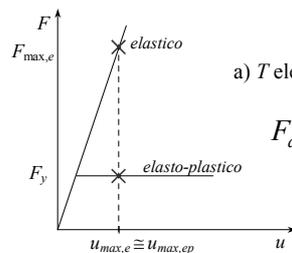
Le analisi numeriche
mostrano che lo
spostamento di
schemi elastici ed
elasto-plastici è più
o meno lo stesso



Progettazione di strutture elasto-plastiche

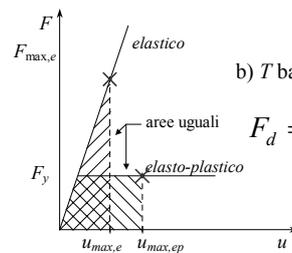
Il principio di uguaglianza di spostamenti vale solo
per strutture con periodo medio-alto

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



a) T elevato

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

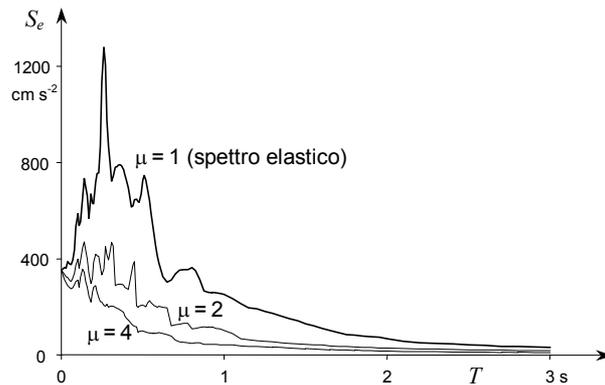


b) T basso

$$F_d = \frac{F_{max,e}}{\sqrt{2\mu - 1}}$$

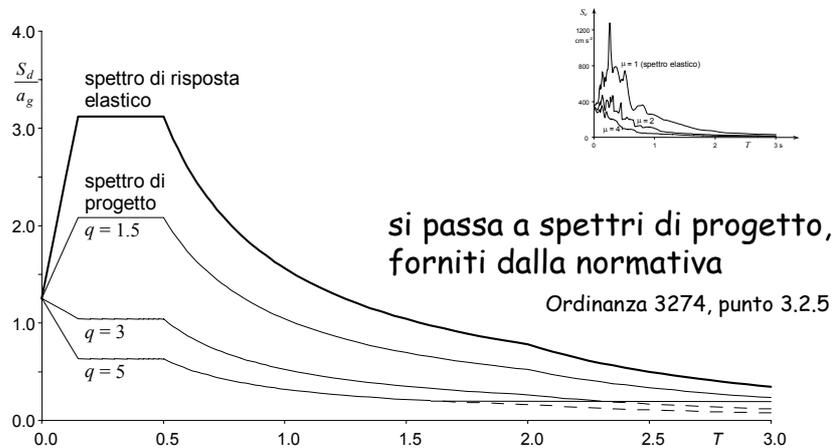
Spettri di progetto di normativa

Dagli spettri di risposta a duttilità assegnata

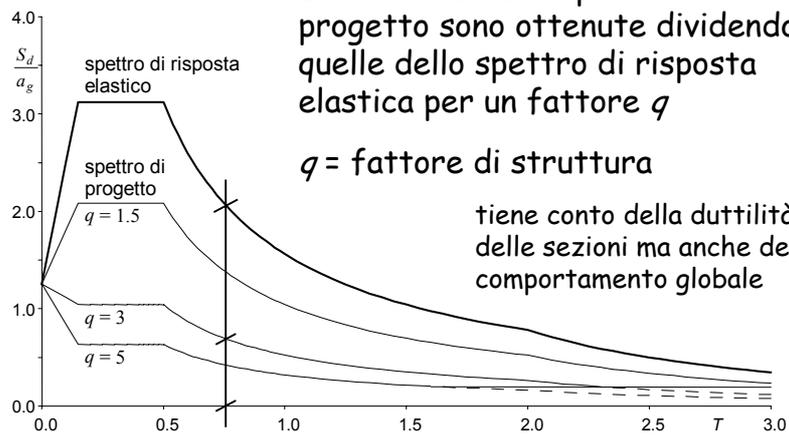


Spettri di progetto di normativa

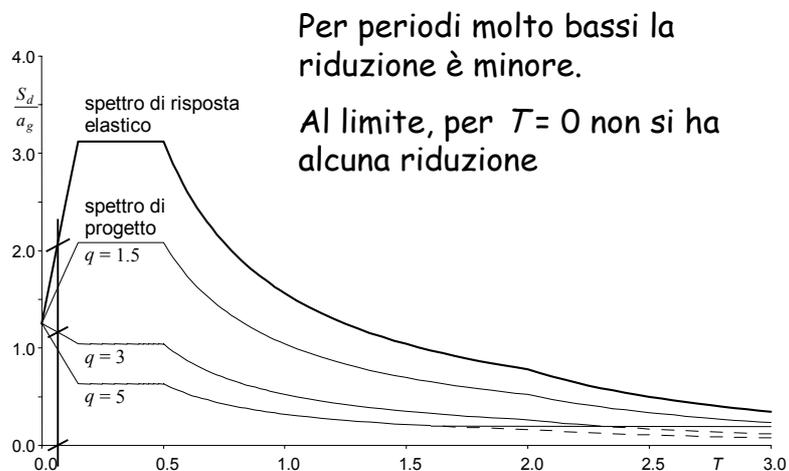
Dagli spettri di risposta a duttilità assegnata



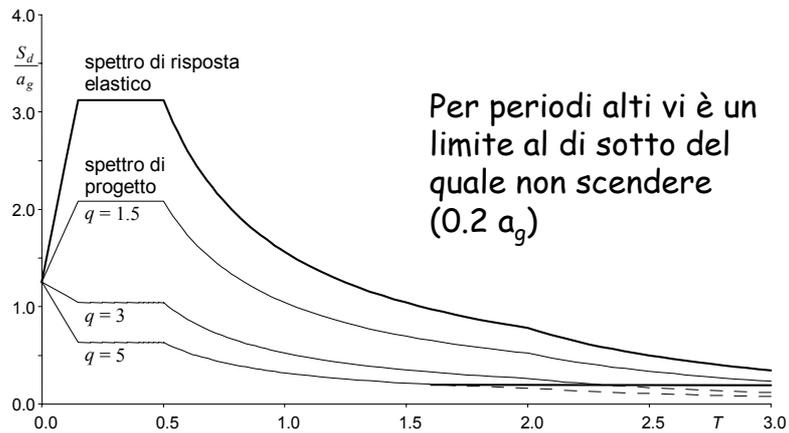
Spettri di progetto di normativa



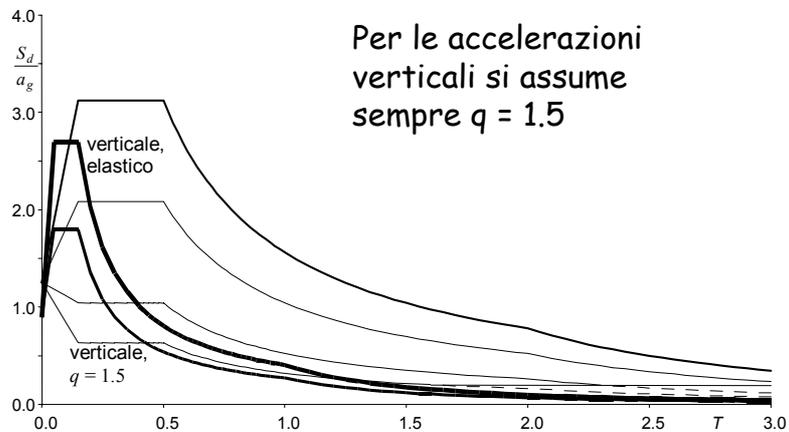
Spettri di progetto di normativa



Spettri di progetto di normativa



Spettri di progetto di normativa accelerazioni orizzontali e verticali



FINE

Tratto dalla presentazione
Azioni - 6

Con qualche modifica e aggiunta fatte da
B. Biondi

Per questa presentazione:

coordinamento

A. Gherzi

realizzazione

A. Gherzi

ultimo aggiornamento

6/03/2004