

# Dalla dinamica alla normativa sismica

Sistemi a un grado di libertà:  
studio del comportamento elasto-plastico

Catania, 9 marzo 2004

Aurelio Ghersi

# 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 (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)

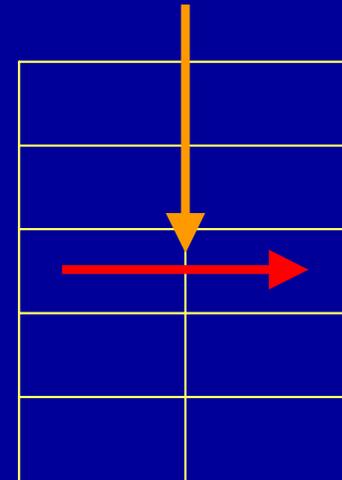
Le azioni inerziali (forze orizzontali indotte dal sisma) possono essere comparabili con le azioni verticali

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

Azioni orizzontali comparabili  
con le azioni verticali

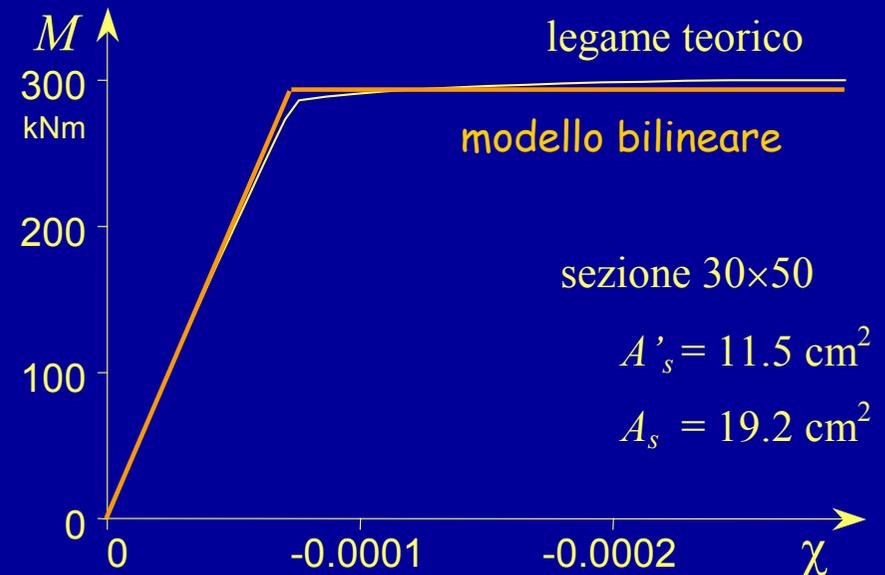
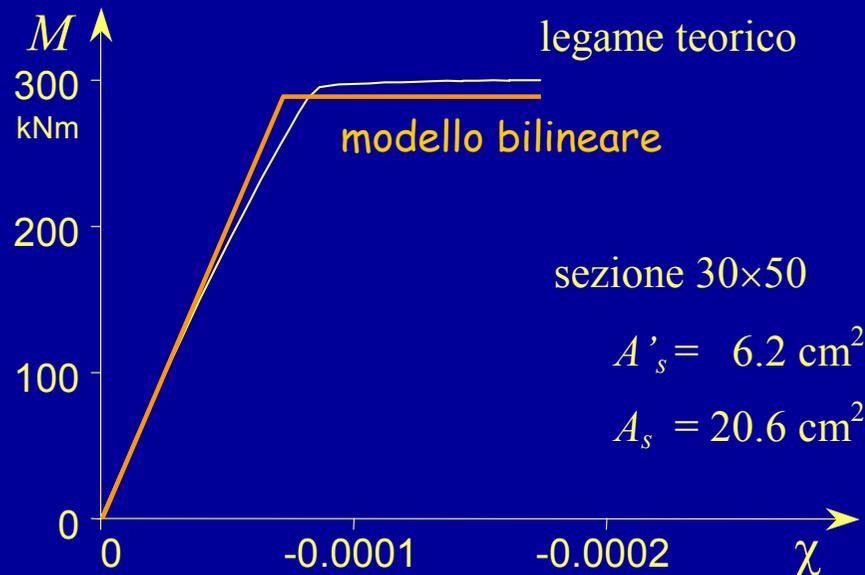
Le sollecitazioni provocate  
dalle azioni orizzontali sono  
molto forti

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



# Comportamento oltre il limite elastico

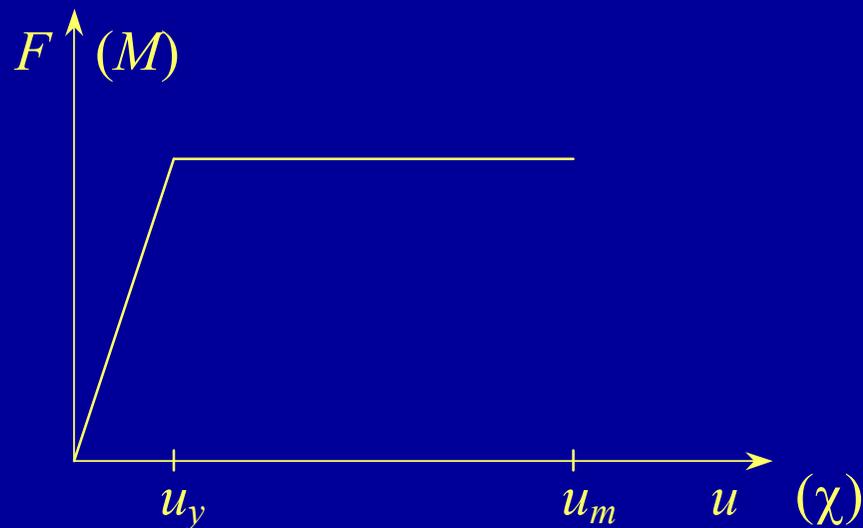
Occorre tener conto del comportamento non lineare delle singole sezioni



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

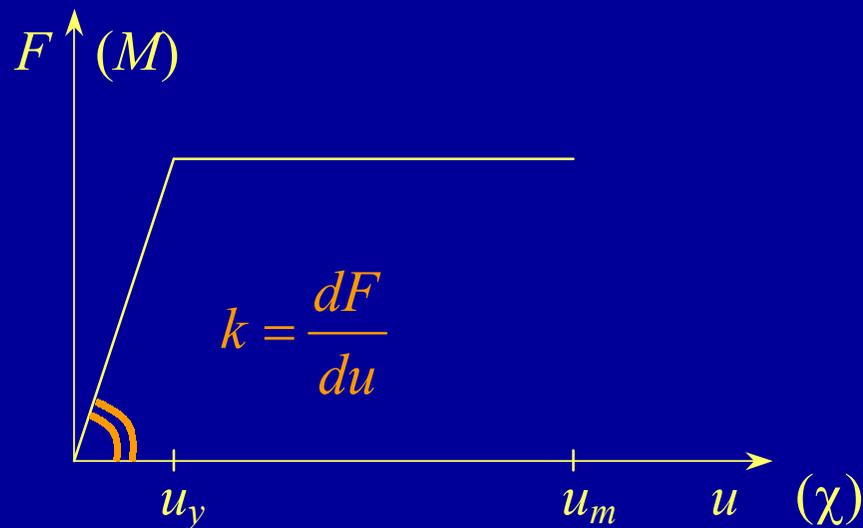


È caratterizzato da tre parametri fondamentali:

- Rigidezza
- Resistenza
- Duttilità

# Comportamento oltre il limite elastico

Legame elastico-perfettamente plastico



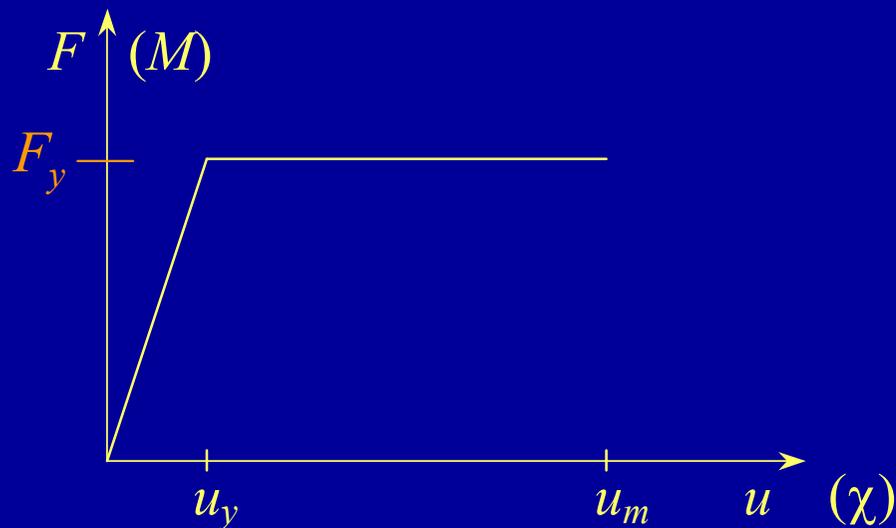
È caratterizzato da tre parametri fondamentali:

- Rigidezza
- Resistenza
- Duttilità

Rigidezza = inclinazione del diagramma

# Comportamento oltre il limite elastico

Legame elastico-perfettamente plastico



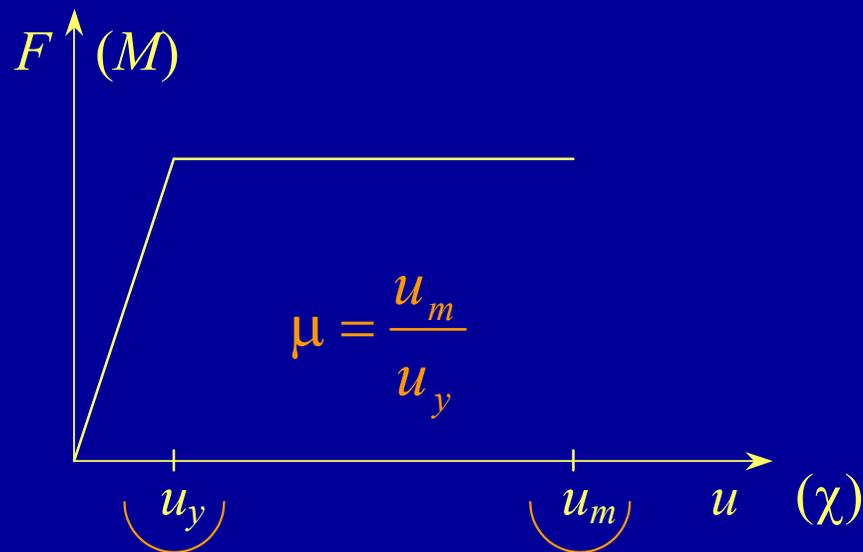
È caratterizzato da tre parametri fondamentali:

- Rigidezza
- Resistenza
- Duttilità

Resistenza = soglia di plasticizzazione

# Comportamento oltre il limite elastico

Legame elastico-perfettamente plastico



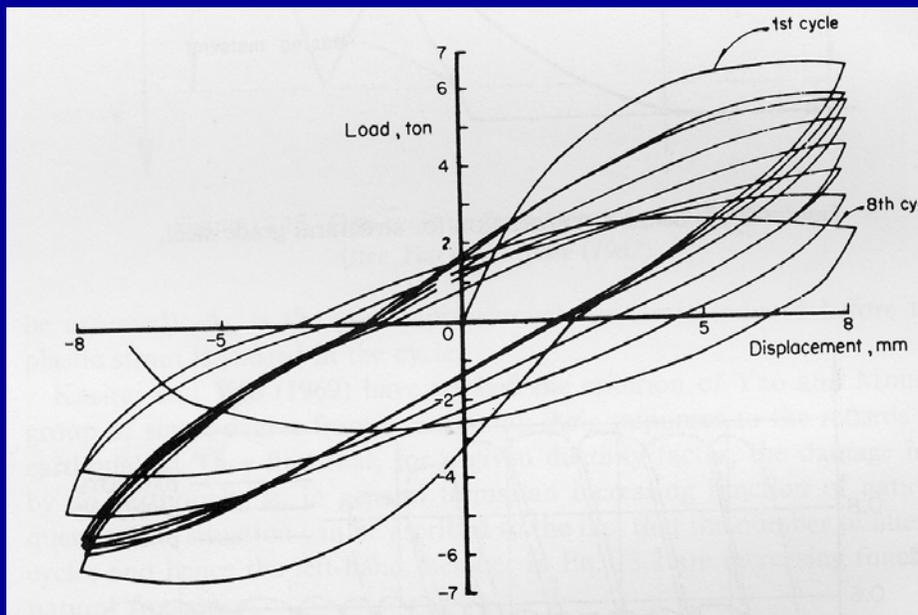
È caratterizzato da tre parametri fondamentali:

- Rigidezza
- Resistenza
- Duttilità

Duttilità = capacità di deformarsi plasticamente

# Comportamento oltre il limite elastico

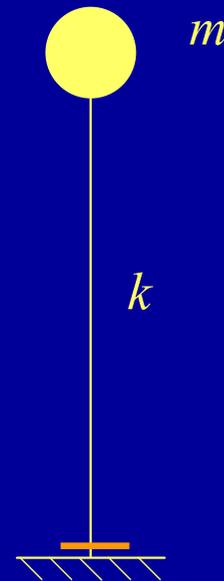
Per una valutazione della risposta sismica, occorre anche tener conto del comportamento ciclico, con i possibili degradi di rigidità e resistenza



# Risposta sismica di un oscillatore semplice elasto-plastico

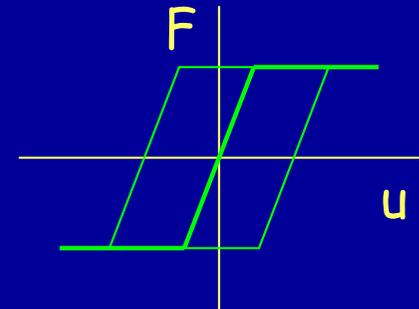


Foto

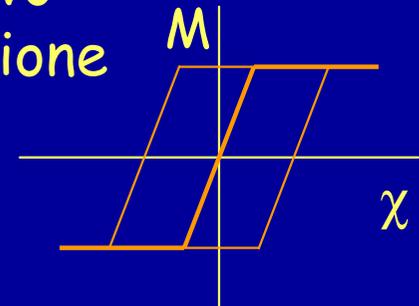


Modello  
di calcolo

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

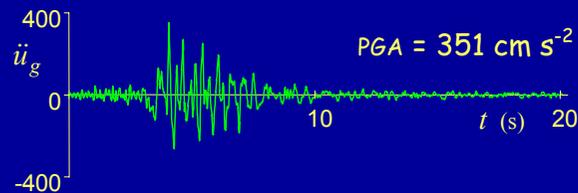
$$m \ddot{u} + c \dot{u} + k(u) u = -m \ddot{u}_g$$

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

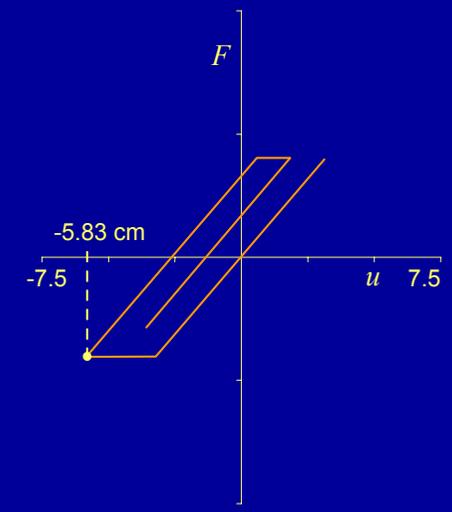
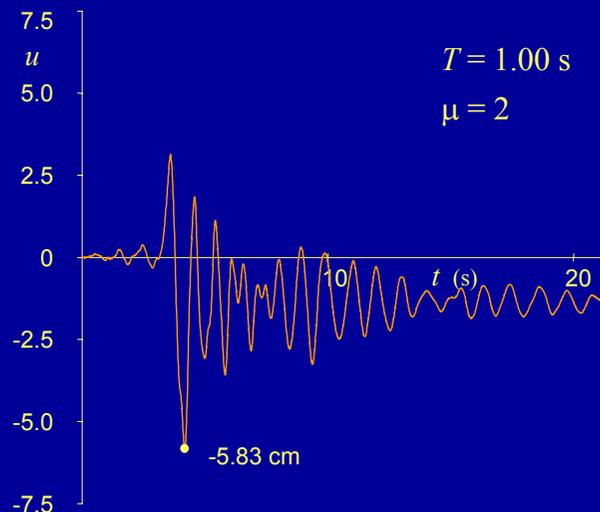
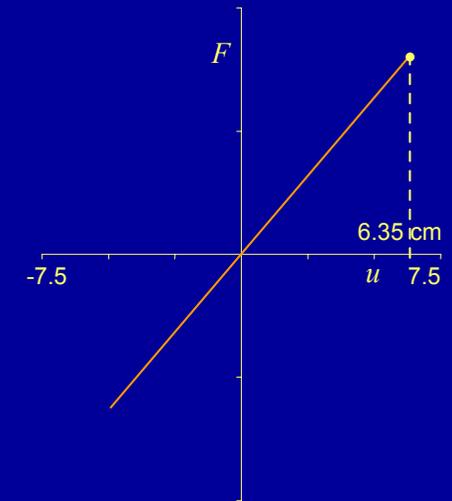
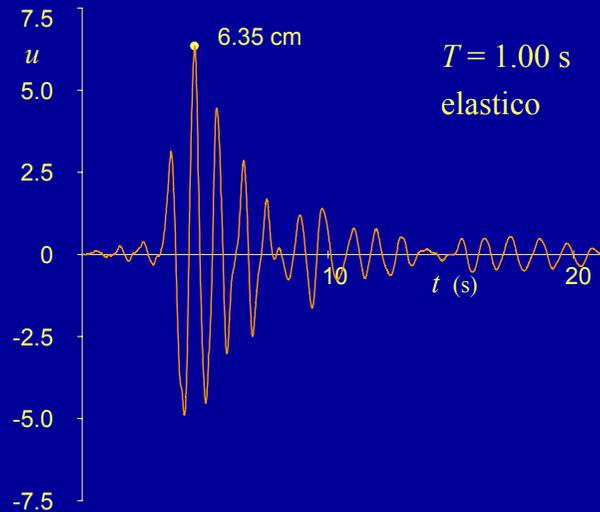
Risposta  
elastica

Input sismico



Tolmezzo, Friuli, 1976

Risposta  
elasto-plastica

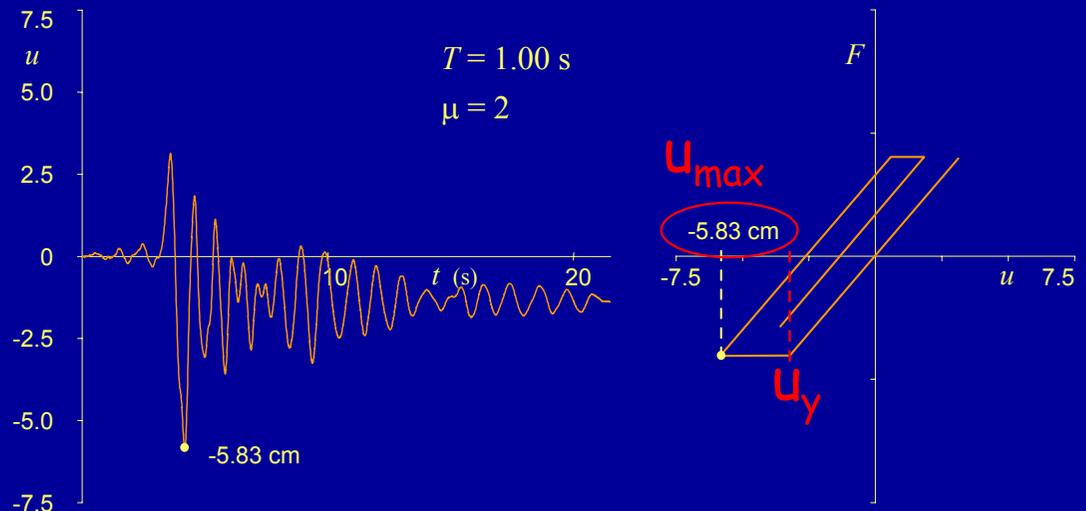


# Richiesta di duttilità

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



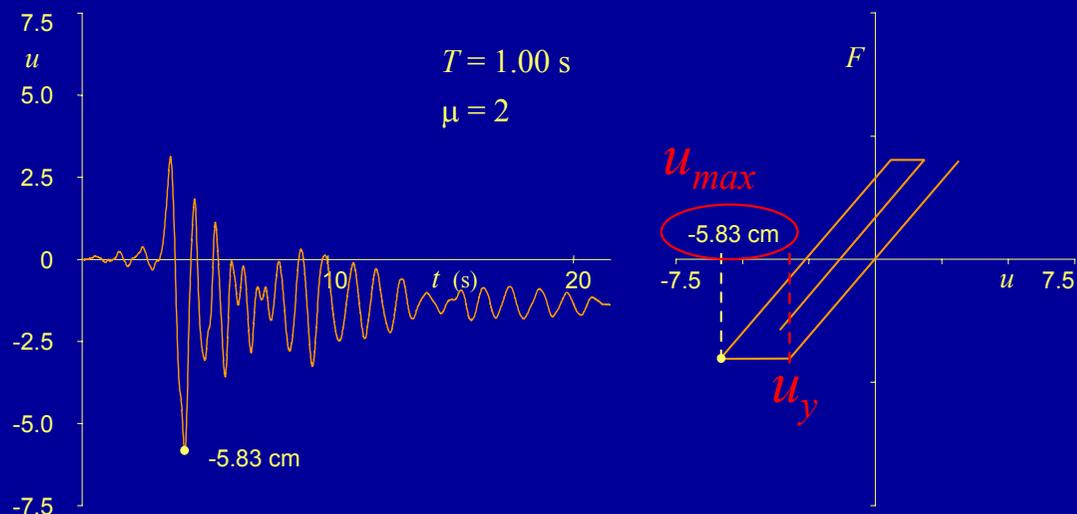
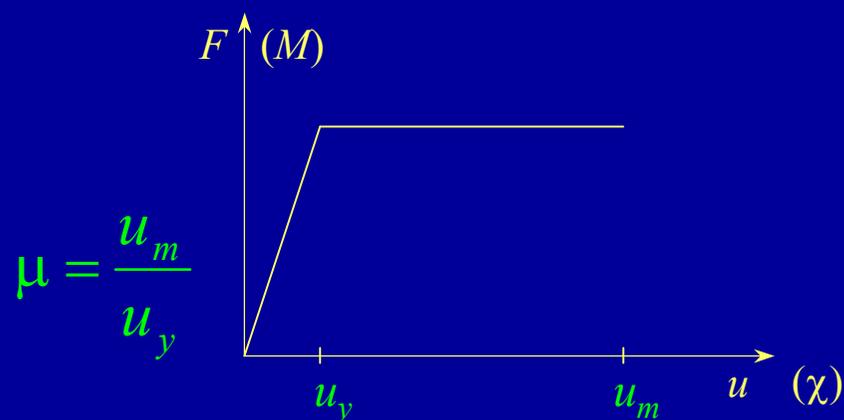
# Progettazione di strutture elasto-plastiche

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

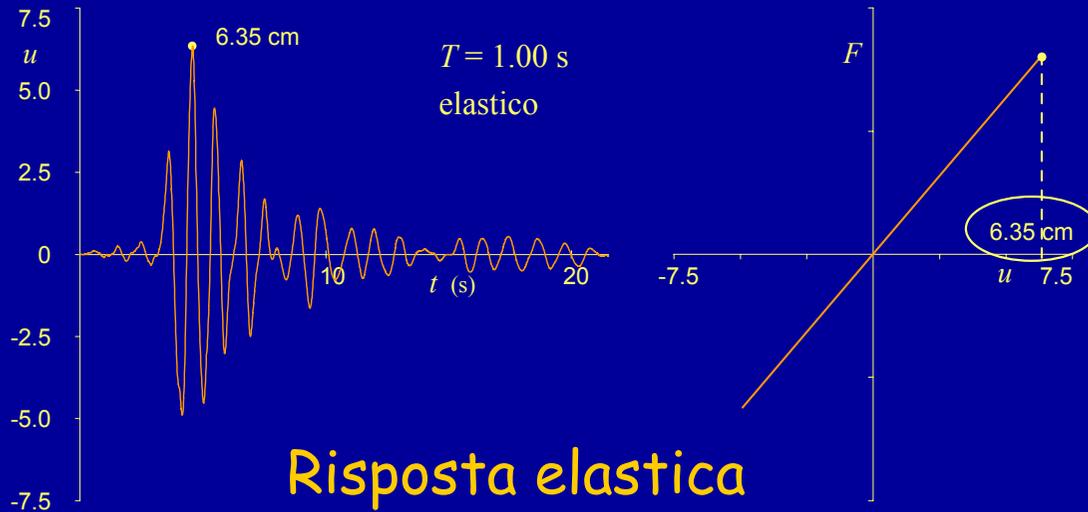


Ricordando che  $F = m a$ ,  
si può diagrammare in  
funzione del periodo  
l'accelerazione da usare  
nel progetto,  
per assegnati valori  
della duttilità  $\mu$

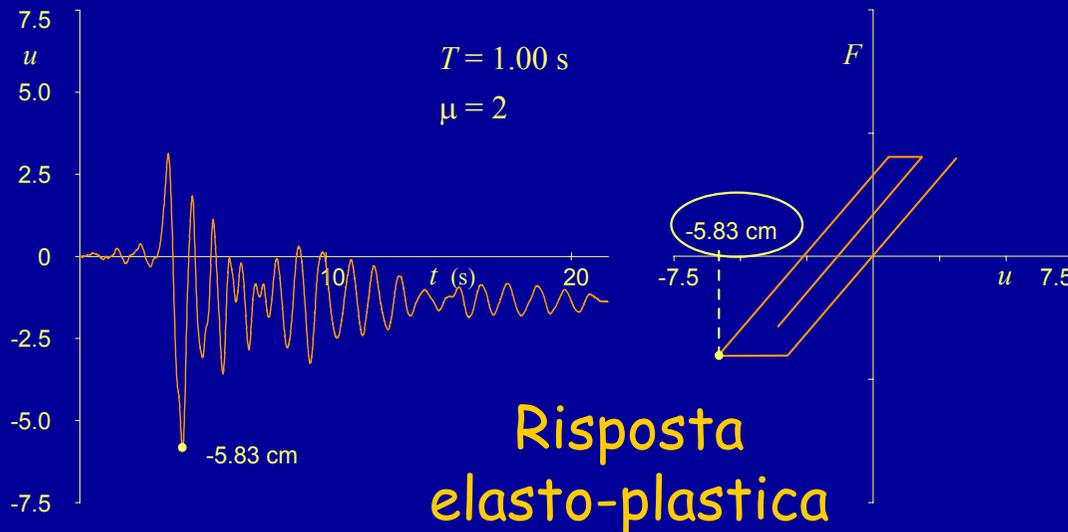
Spettro di risposta a duttilità assegnata

# Progettazione di strutture elasto-plastiche

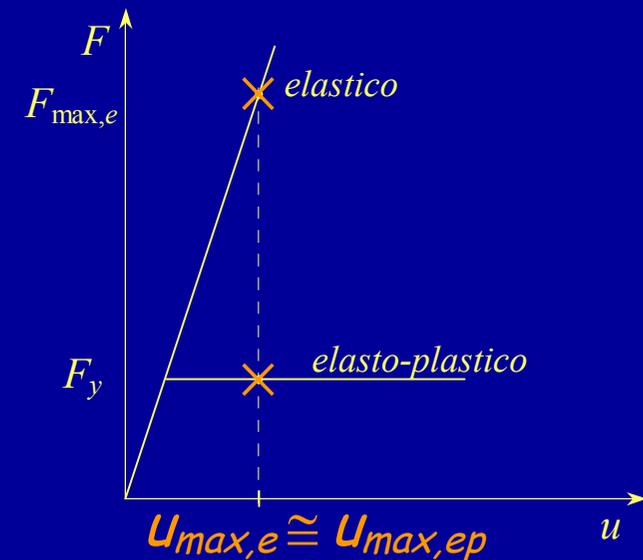
Le analisi numeriche mostrano che lo spostamento di schemi elastici ed elasto-plastici è più o meno lo stesso



Risposta elastica



Risposta elasto-plastica



# Progettazione di strutture elasto-plastiche

La forza di progetto  
può essere ottenuta  
dividendo

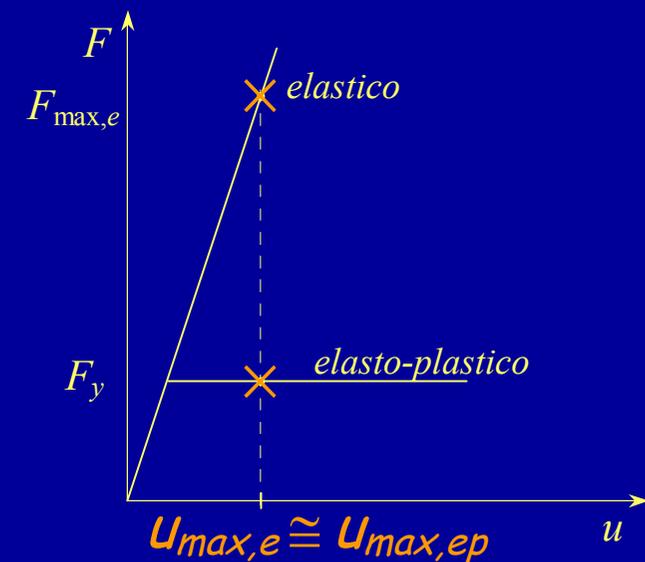
la forza necessaria  
per mantenere la  
struttura in campo  
elastico

per la duttilità

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

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

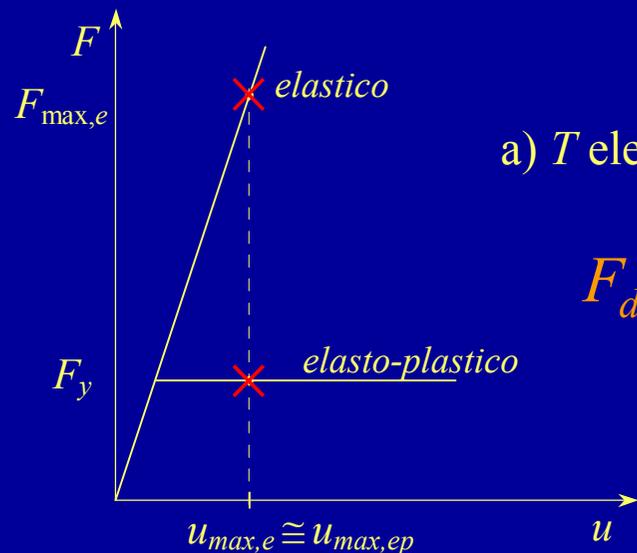
Le analisi numeriche  
mostrano che lo  
spostamento di  
schemi elastici ed  
elasto-plastici è più  
o meno lo stesso



# Progettazione di strutture elasto-plastiche

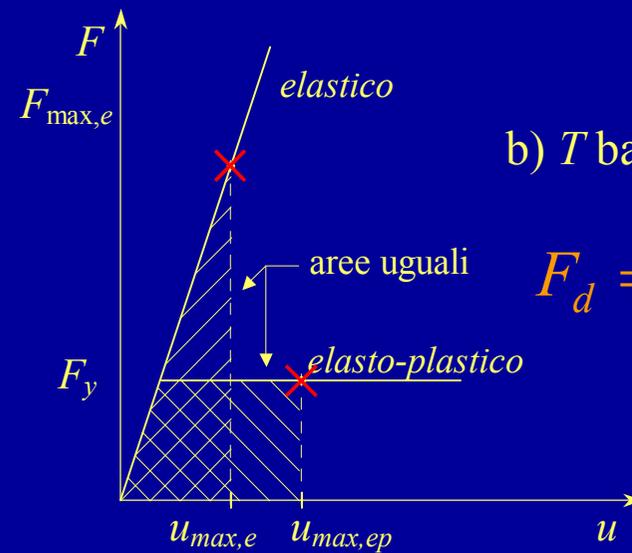
Il principio di uguaglianza di spostamenti vale solo per strutture con periodo medio-alto

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



a)  $T$  elevato

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

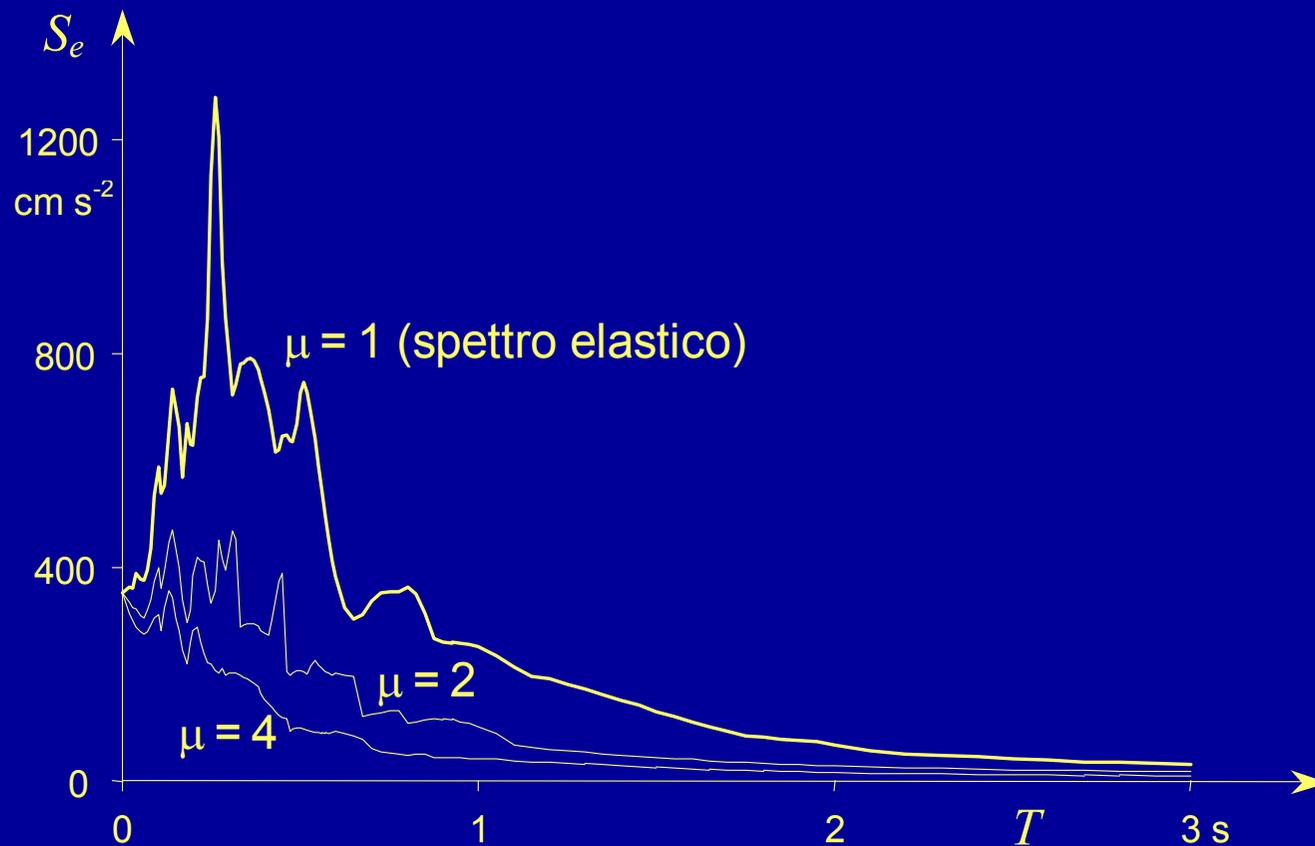


b)  $T$  basso

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

# Spettri di progetto di normativa

Dagli spettri di risposta a duttilità assegnata



# Spettri di progetto di normativa

Dagli spettri di risposta a duttilità assegnata



si passa a spettri di progetto,  
forniti dalla normativa

Ordinanza 3274, punto 3.2.5

# Spettri di progetto di normativa

Le ordinate dello spettro di progetto sono ottenute dividendo quelle dello spettro di risposta elastica per un fattore  $q$

$q$  = fattore di struttura

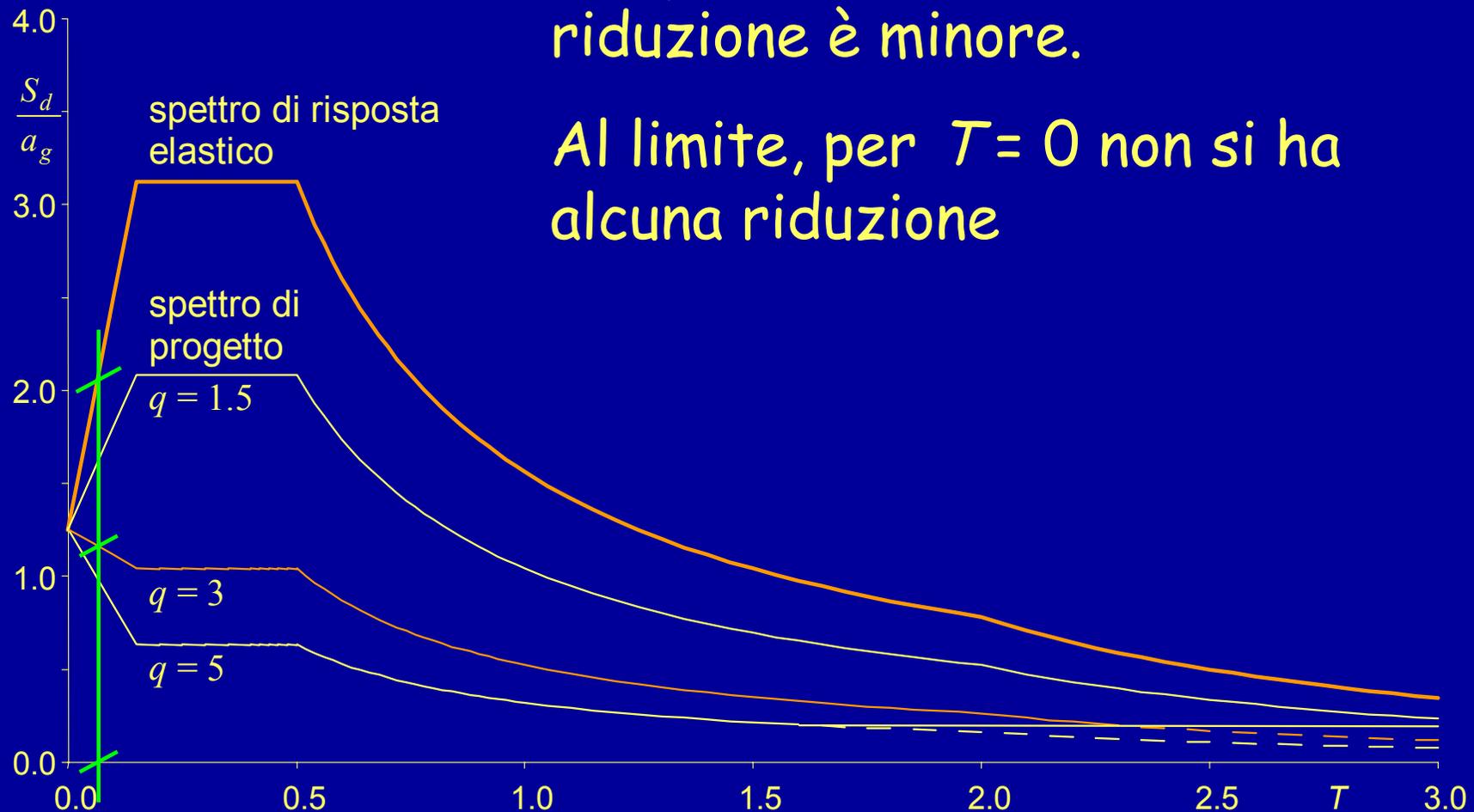
tiene conto della duttilità delle sezioni ma anche del comportamento globale



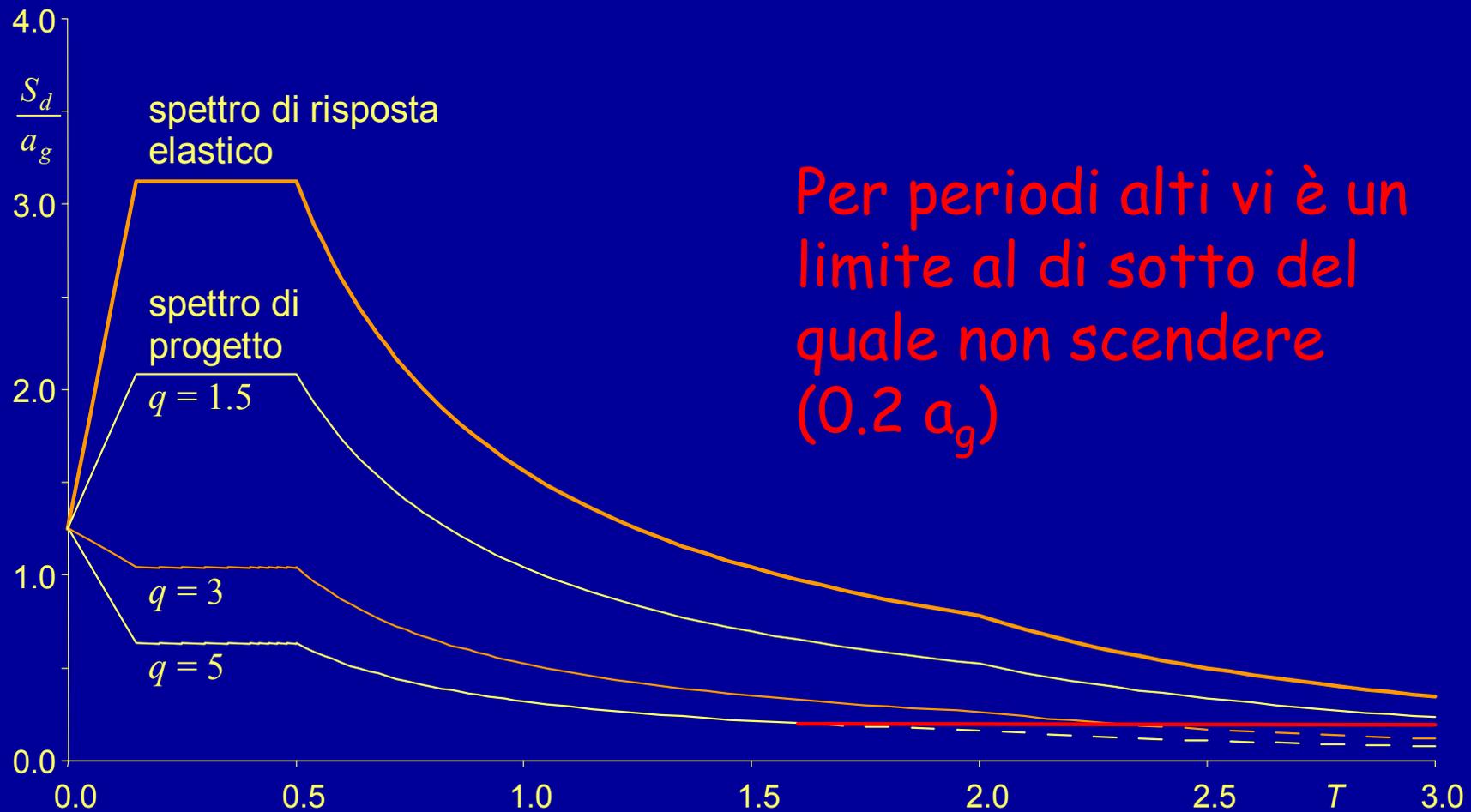
# Spettri di progetto di normativa

Per periodi molto bassi la riduzione è minore.

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

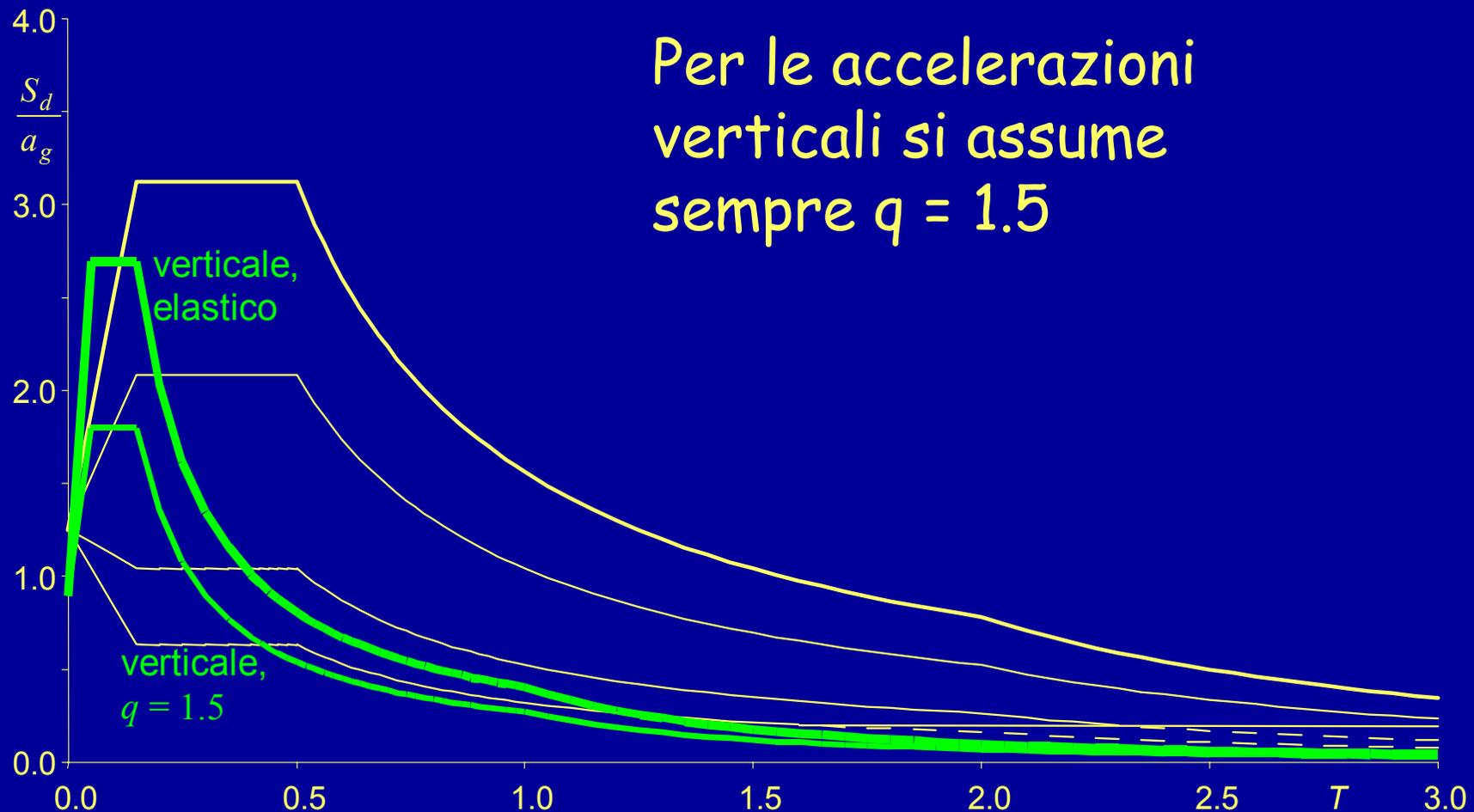


# Spettri di progetto di normativa



Per periodi alti vi è un limite al di sotto del quale non scendere ( $0.2 a_g$ )

# Spettri di progetto di normativa accelerazioni orizzontali e verticali



FINE

Immagini tratte dal libro:  
A. Ghersi, P. Lenza  
Edifici antisismici in c.a.  
(in preparazione)

Per questa presentazione:

coordinamento

A. Ghersi

realizzazione

A. Ghersi

ultimo aggiornamento

6/03/2004