

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)

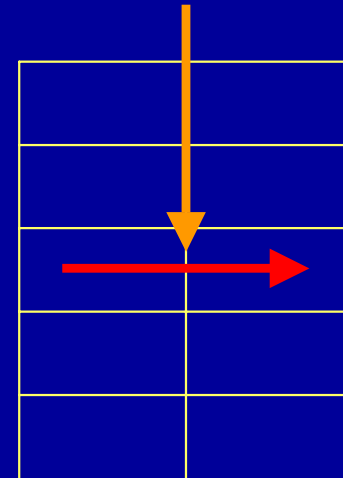
Le azioni inerziali (forze orizzontali indotte dal sisma) possono essere comparabili con le azioni verticali

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

Azioni orizzontali comparabili
con le azioni verticali

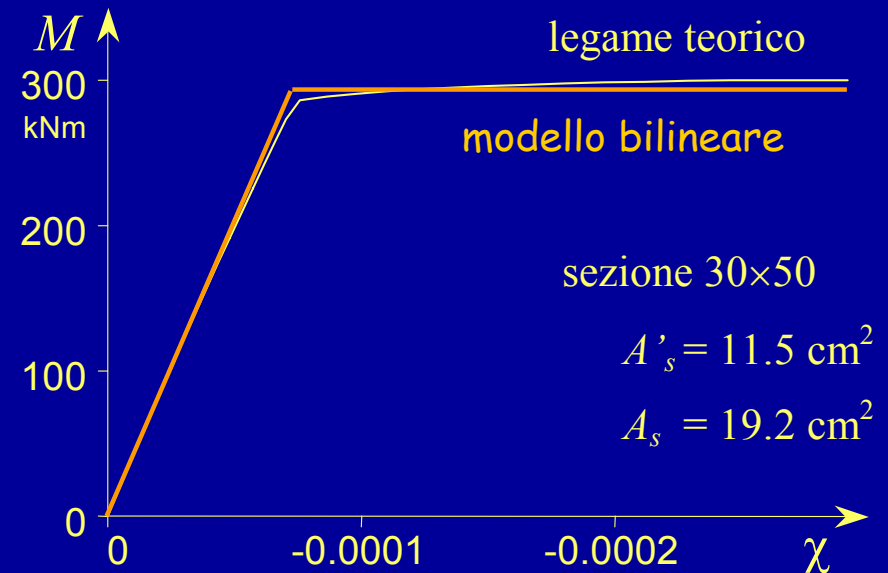
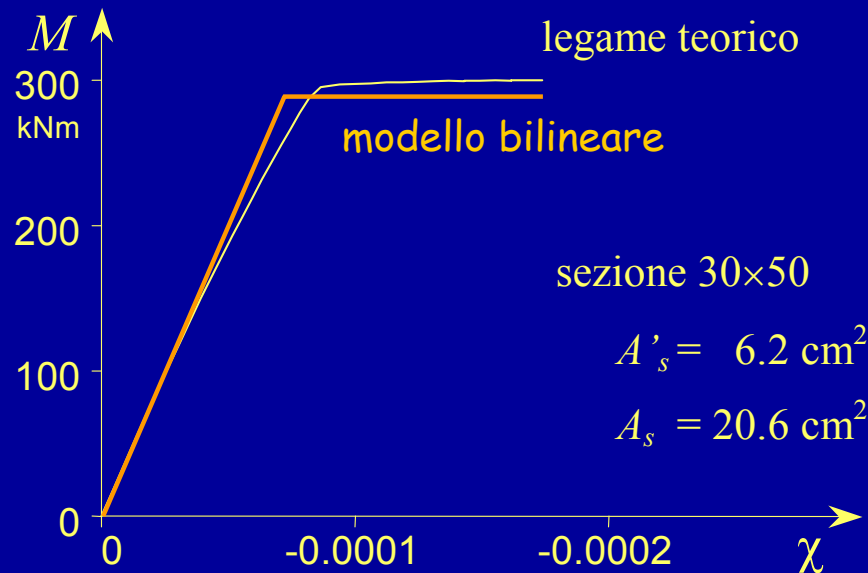
Le sollecitazioni provocate
dalle azioni orizzontali sono
molto forti

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



Comportamento oltre il limite elastico

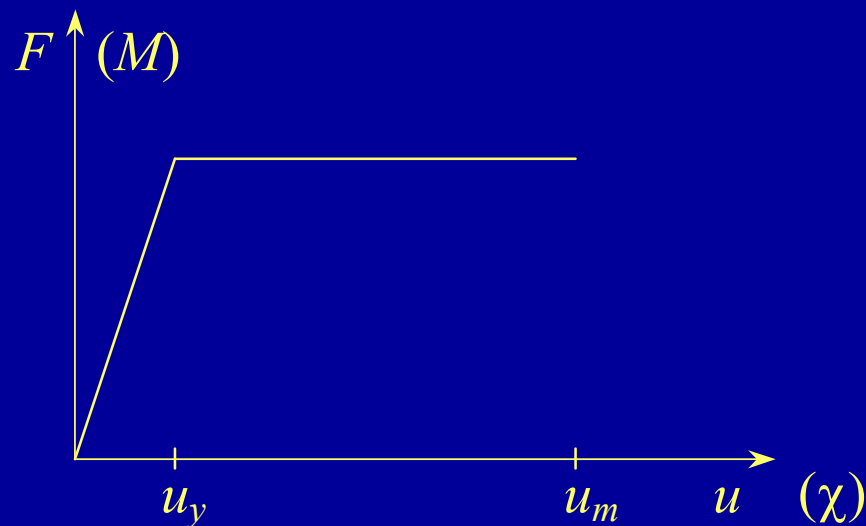
Occorre tener conto del comportamento non lineare delle singole sezioni



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

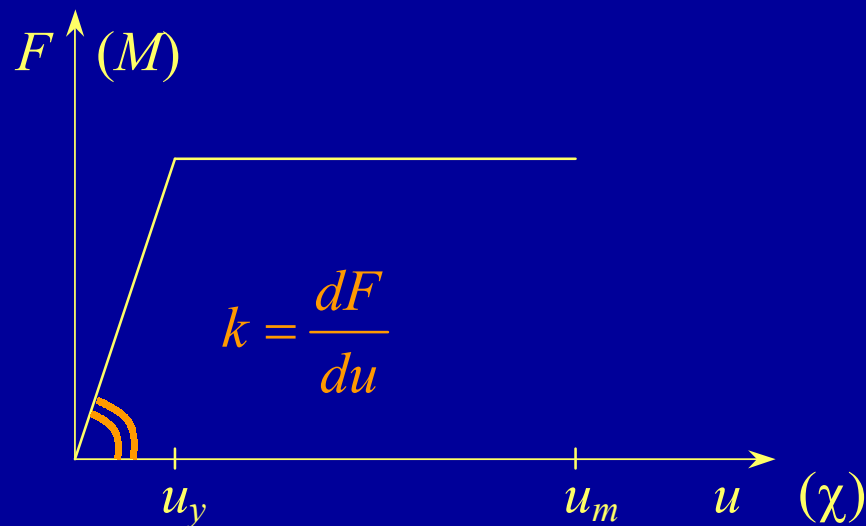


È caratterizzato da tre parametri fondamentali:

- Rigidezza
- Resistenza
- Duttilità

Comportamento oltre il limite elastico

Legame elastico-perfettamente plastico



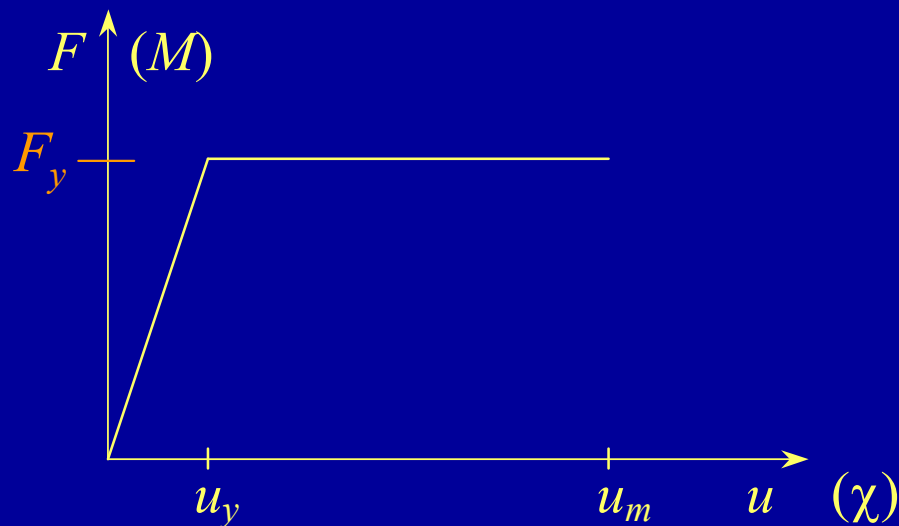
È caratterizzato da tre parametri fondamentali:

- Rigidezza
- Resistenza
- Duttilità

Rigidezza = inclinazione del diagramma

Comportamento oltre il limite elastico

Legame elastico-perfettamente plastico



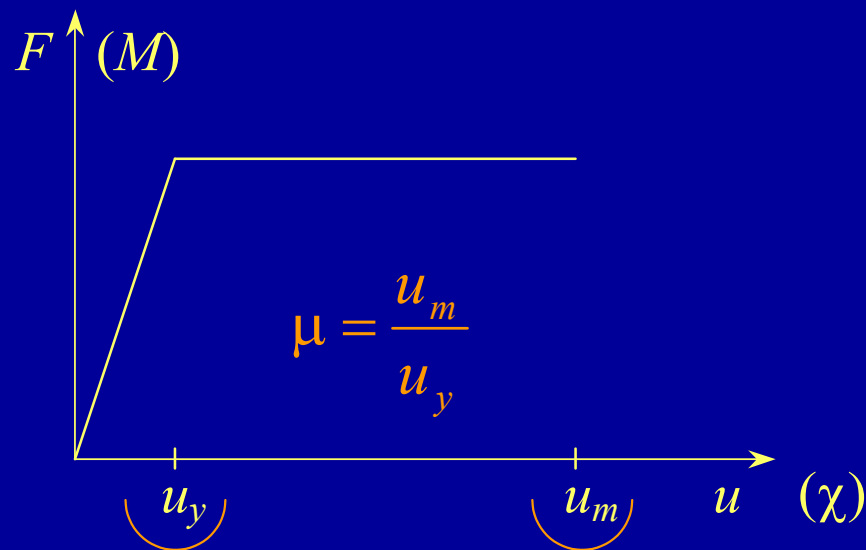
È caratterizzato da tre parametri fondamentali:

- Rigidezza
- Resistenza
- Duttilità

Resistenza = soglia di plasticizzazione

Comportamento oltre il limite elastico

Legame elastico-perfettamente plastico



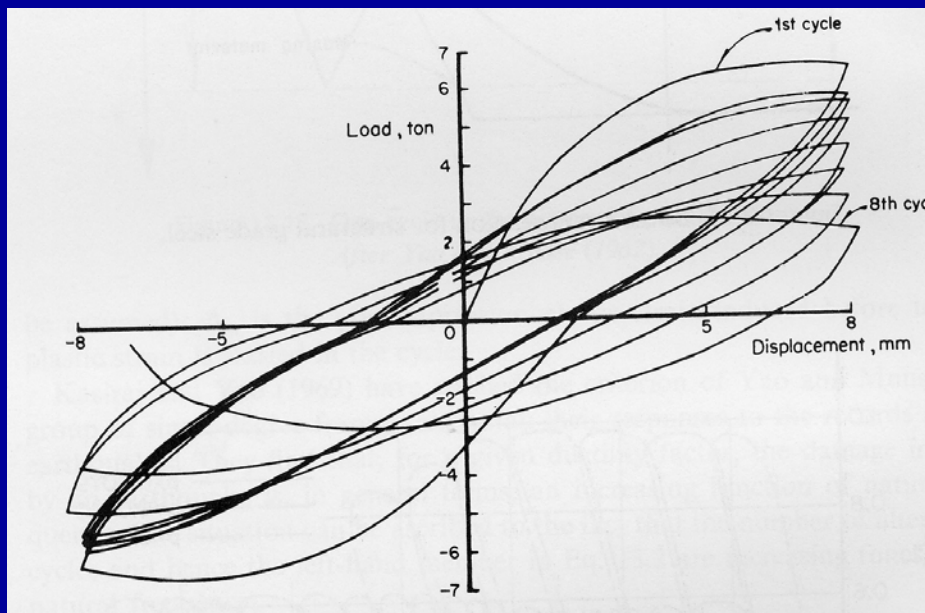
È caratterizzato da tre parametri fondamentali:

- Rigidezza
- Resistenza
- Duttilità

Duttilità = capacità di deformarsi plasticamente

Comportamento oltre il limite elastico

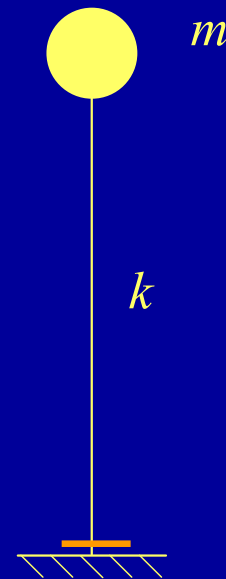
Per una valutazione della risposta sismica, occorre anche tener conto del comportamento ciclico, con i possibili degradi di rigidezza e resistenza



Risposta sismica di un oscillatore semplice elasto-plastico

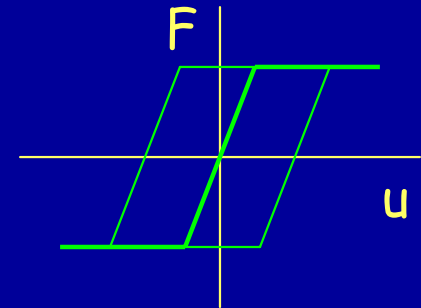


Foto

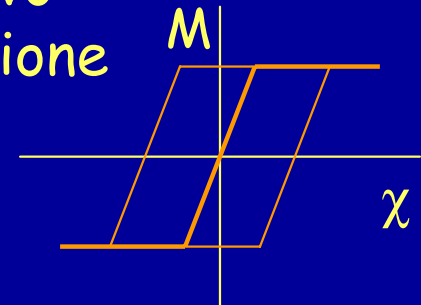


Modello
di calcolo

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

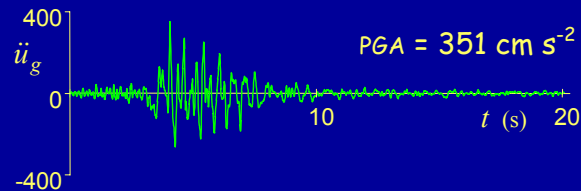
$$m \ddot{u} + c \dot{u} + k(u) u = -m \ddot{u}_g$$

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

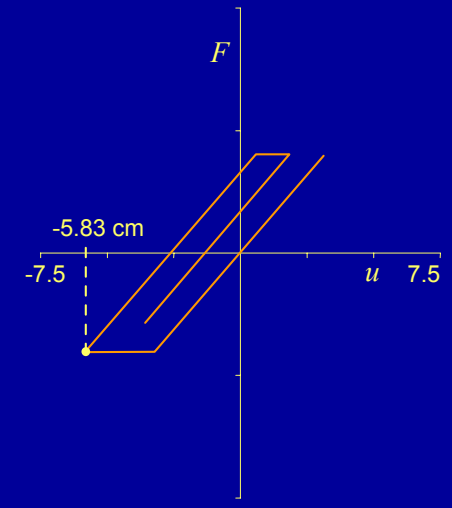
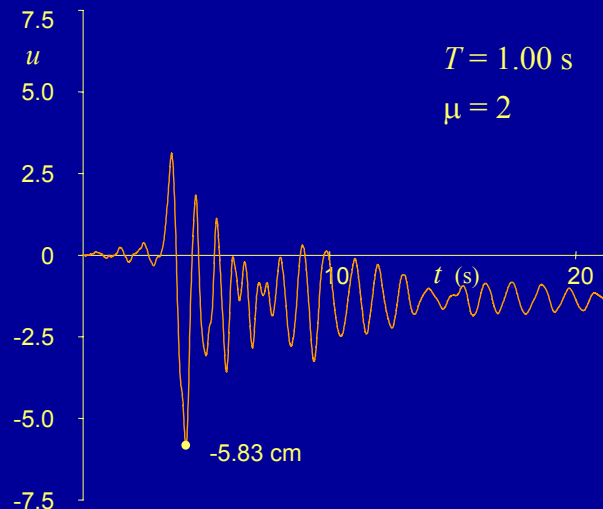
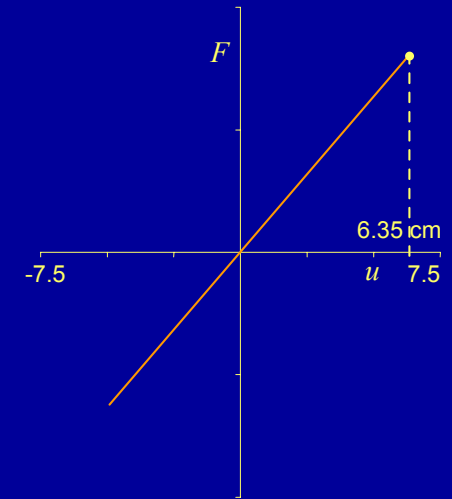
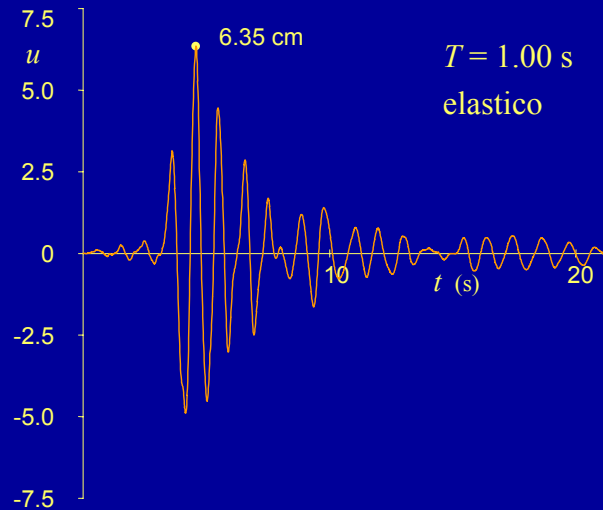
Risposta
elastica

Input sismico



Tolmezzo, Friuli, 1976

Risposta
elasto-plastica

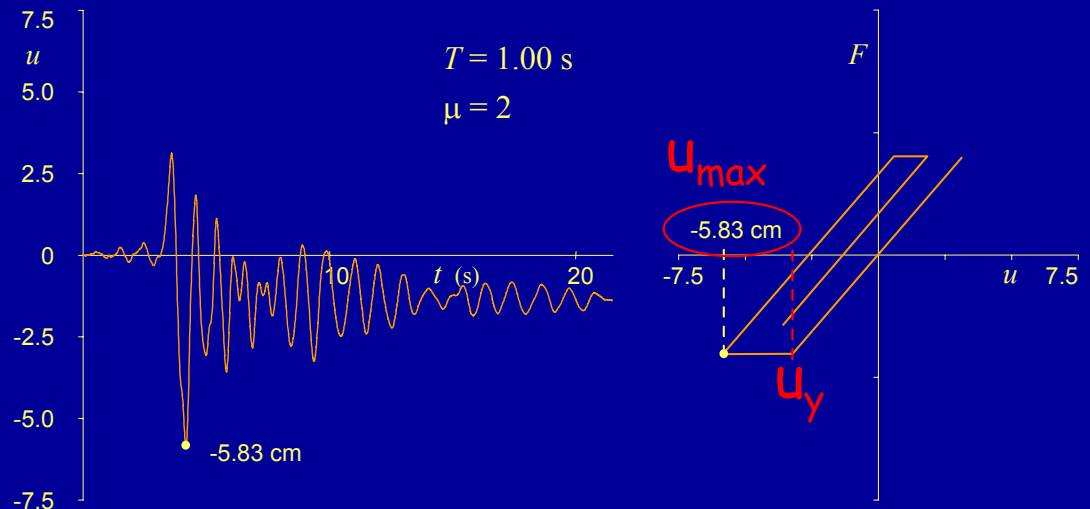


Richiesta di duttilità

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



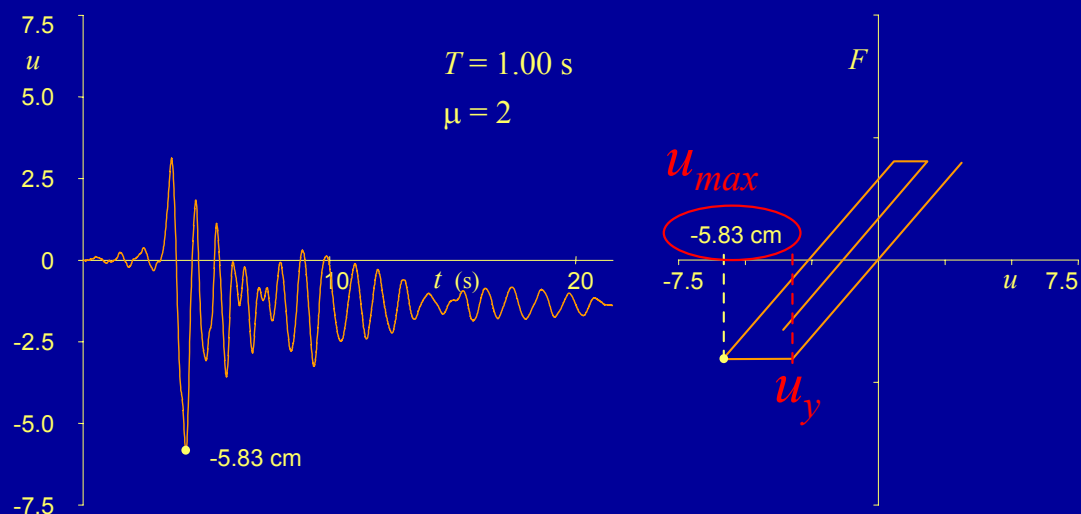
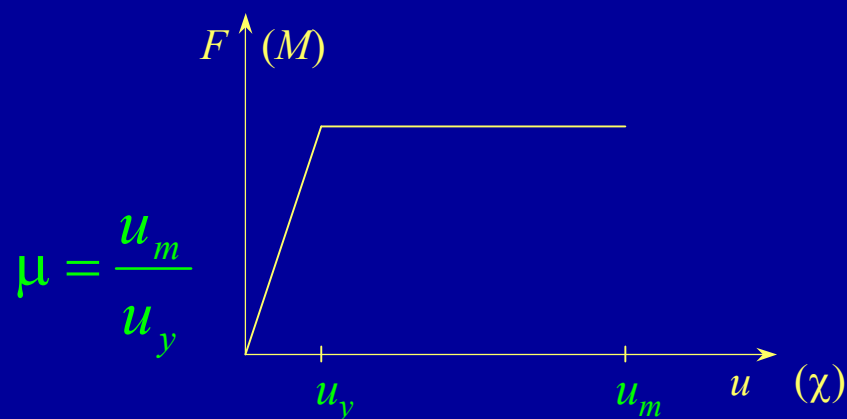
Progettazione di strutture elasto-plastiche

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

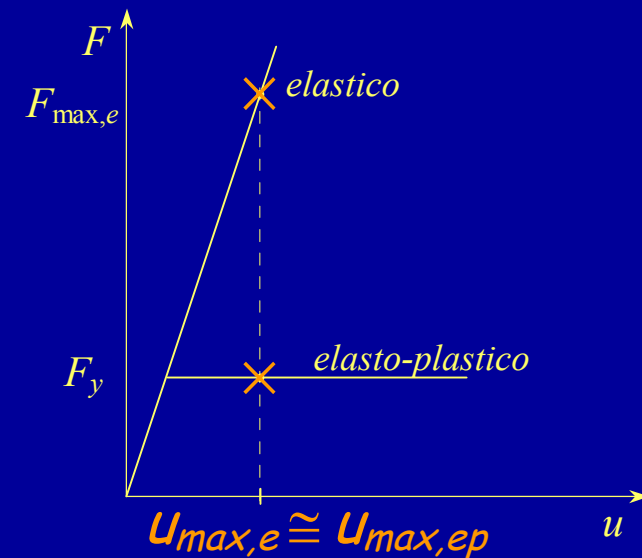
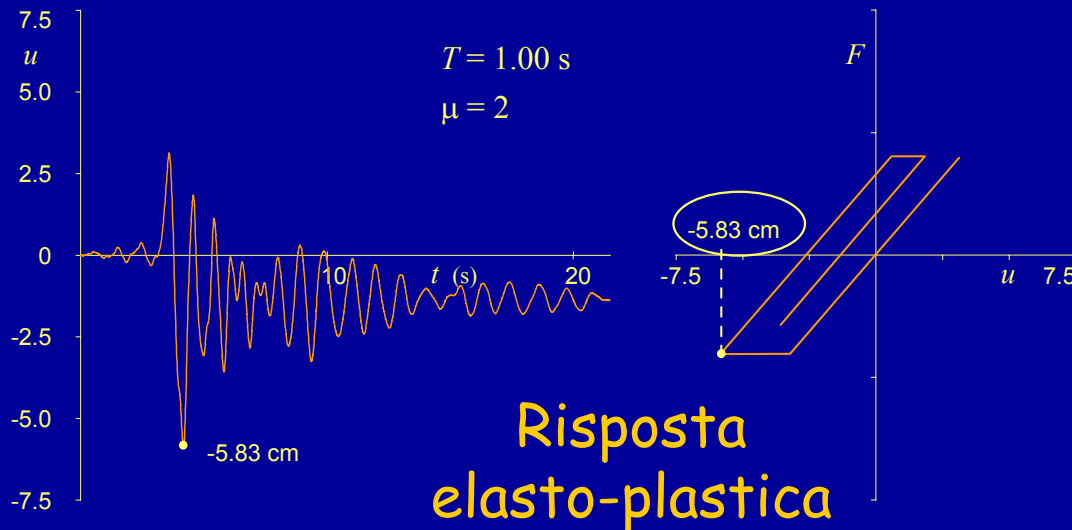
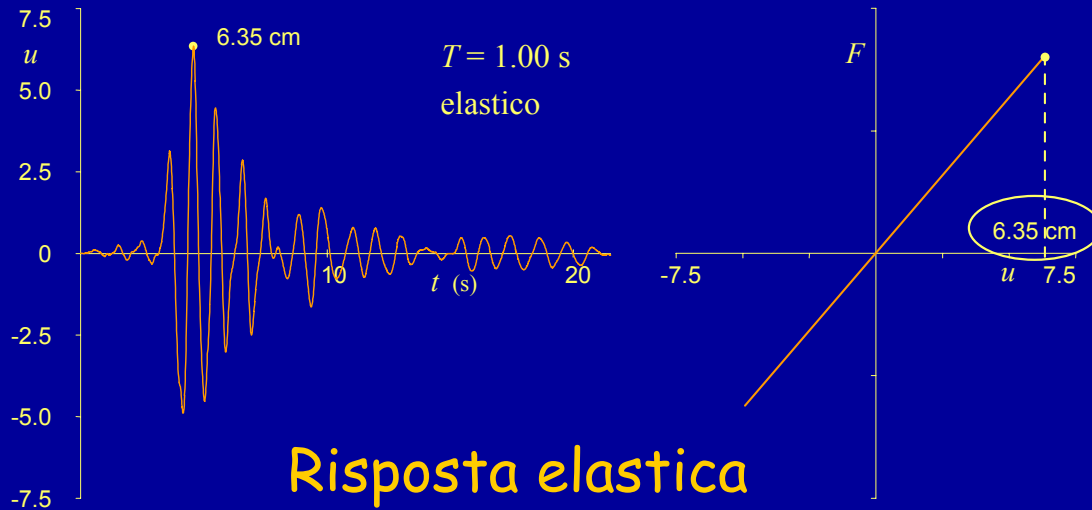


Ricordando che $F = m a$,
si può diagrammare in
funzione del periodo
l'accelerazione da usare
nel progetto,
per assegnati valori
della duttilità μ

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

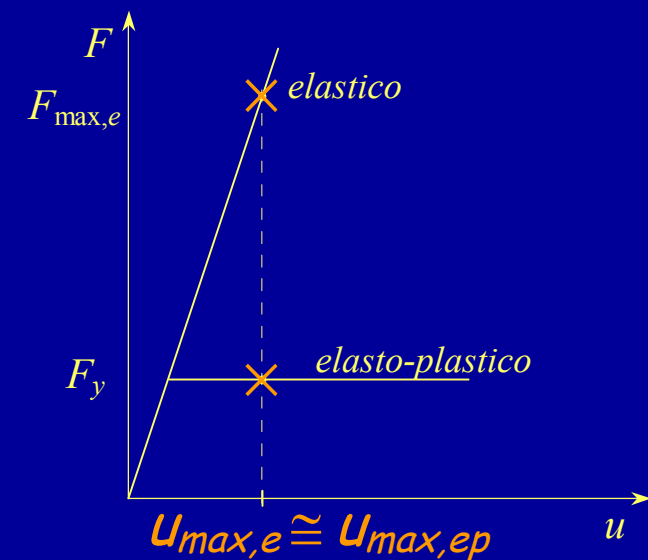
la forza necessaria
per mantenere la
struttura in campo
elastico

per la duttilità

 F_d $F_{max,e}$ μ

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

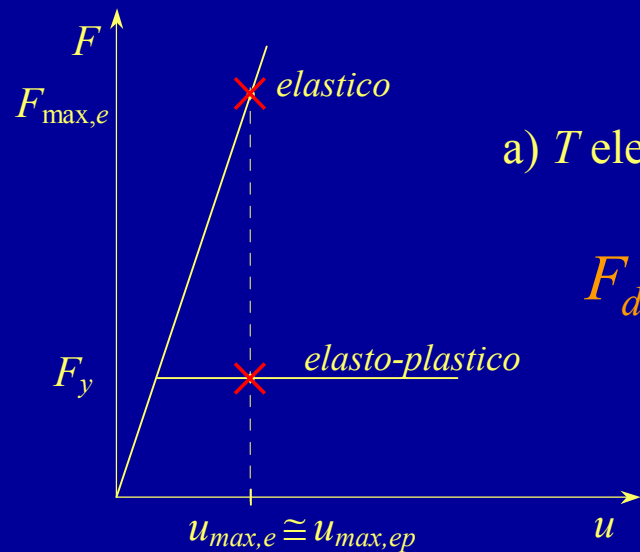
Le analisi numeriche
mostrano che lo
spostamento di
schemi elastici ed
elasto-plastici è più
o meno lo stesso



Progettazione di strutture elasto-plastiche

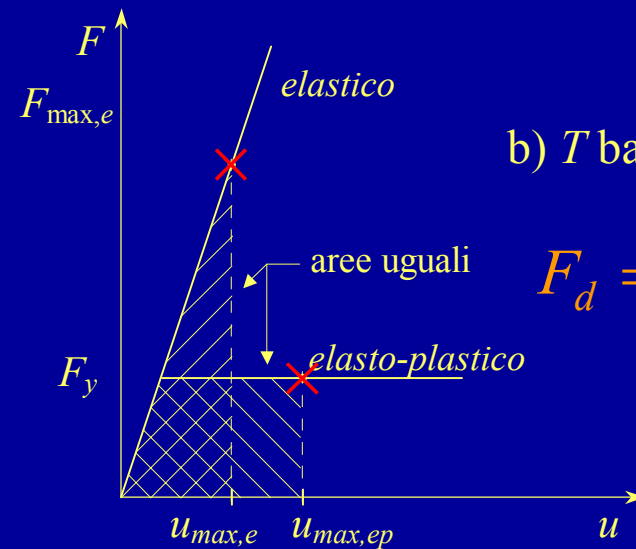
Il principio di uguaglianza di spostamenti vale solo per strutture con periodo medio-alto

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



a) T elevato

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

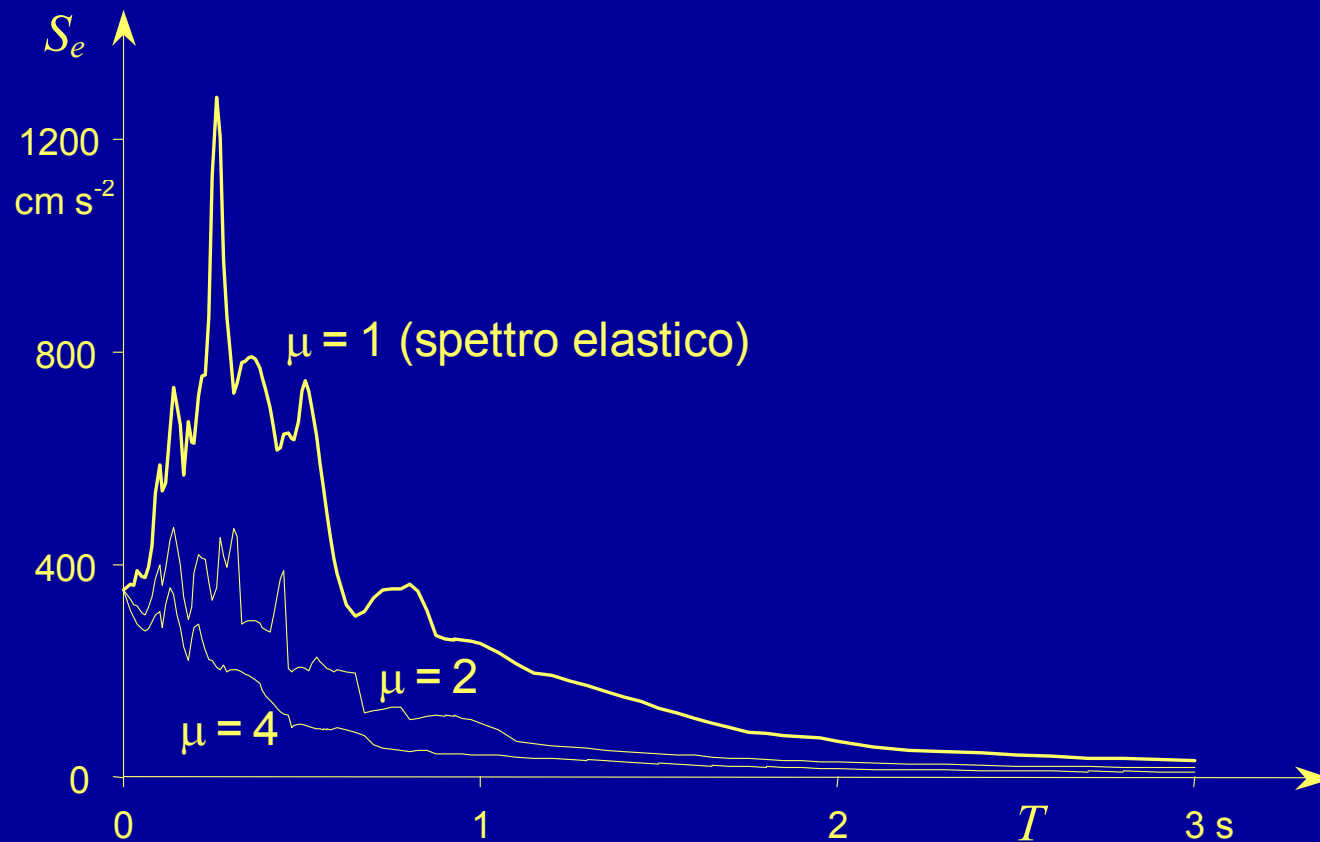


b) T basso

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

Spettri di progetto di normativa

Dagli spettri di risposta a duttilità assegnata



Spettri di progetto di normativa

Dagli spettri di risposta a duttilità assegnata



si passa a spettri di progetto,
forniti dalla normativa

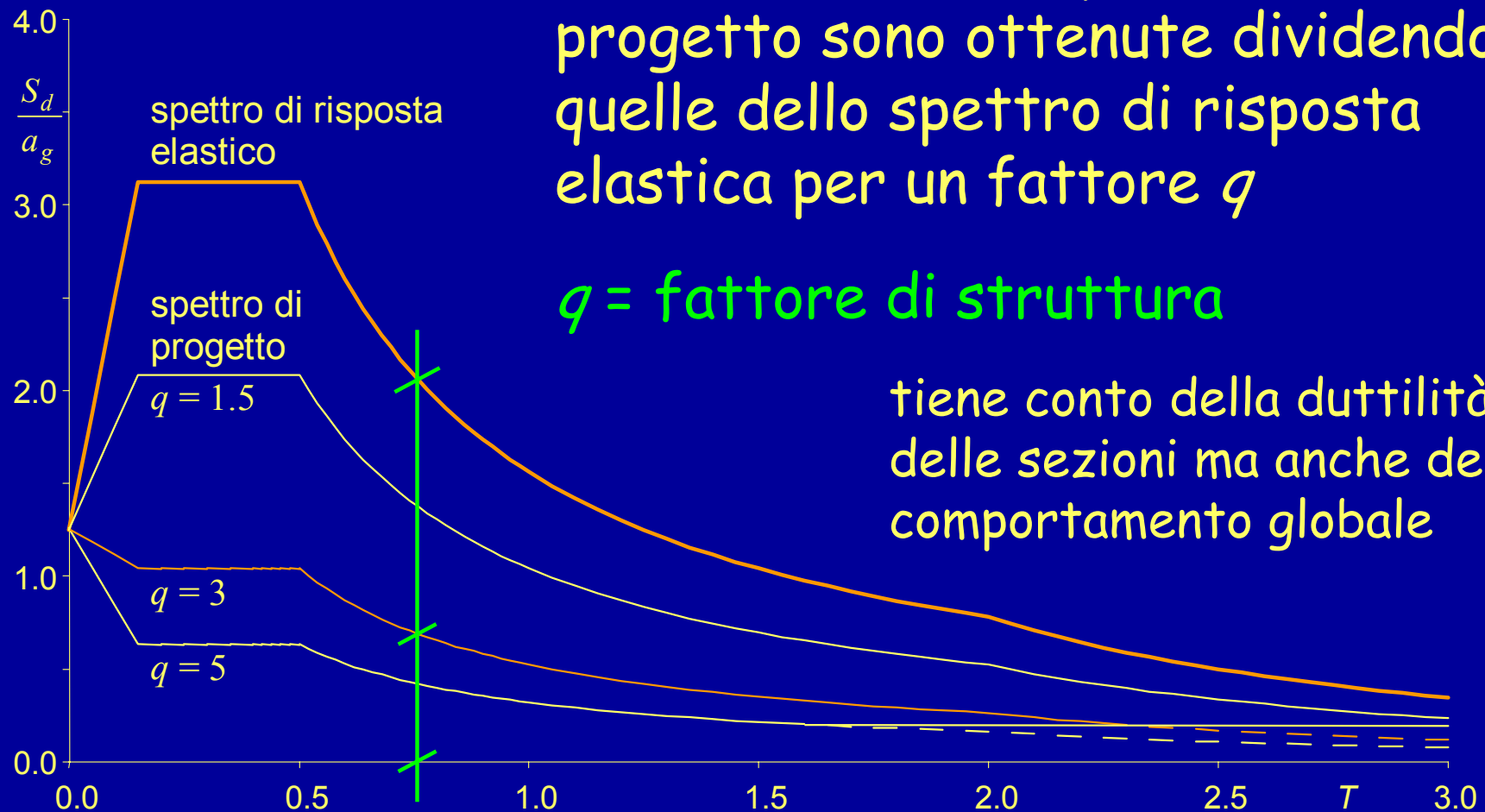
Ordinanza 3274, punto 3.2.5

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

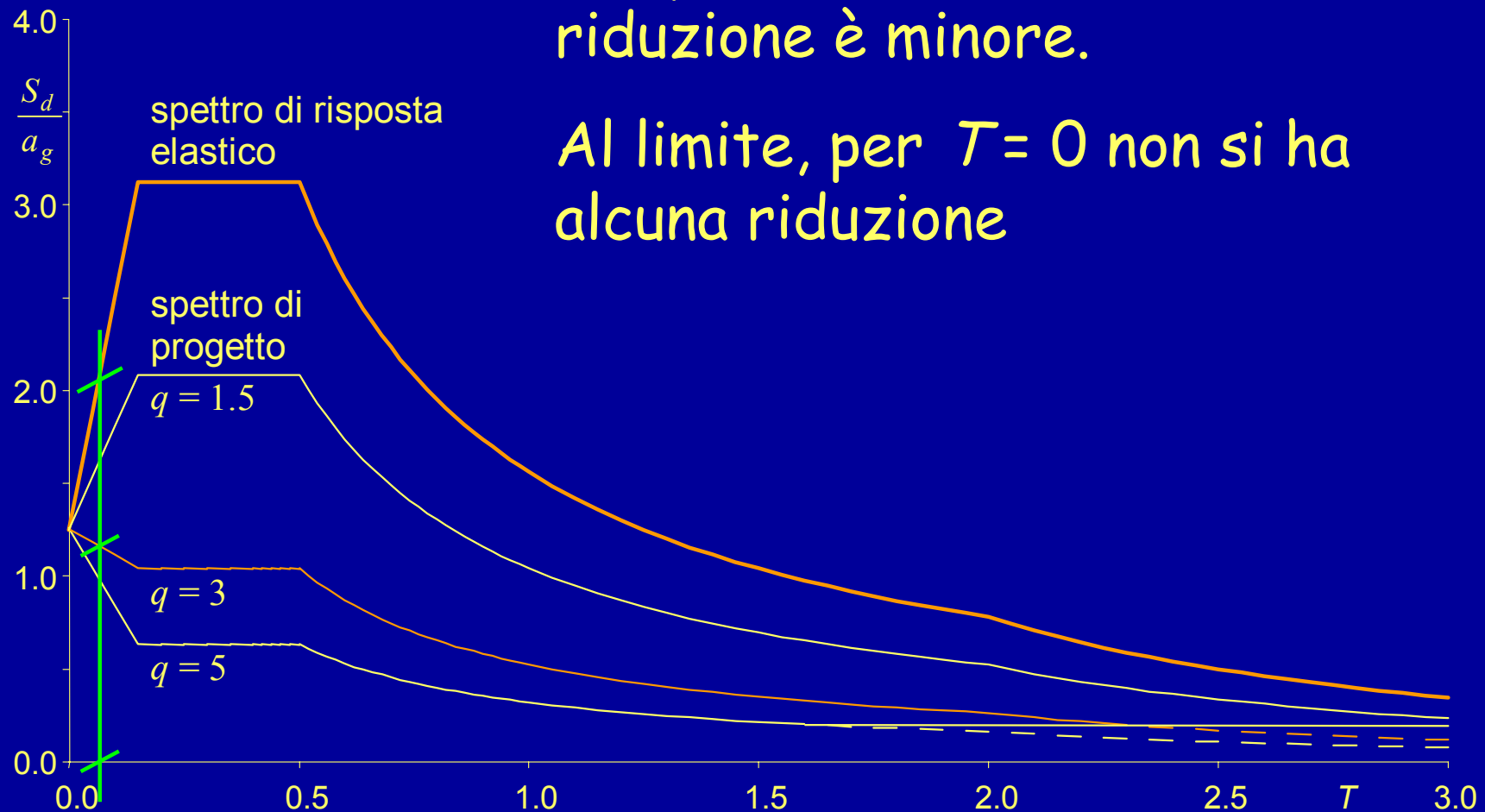
tiene conto della duttilità delle sezioni ma anche del comportamento globale



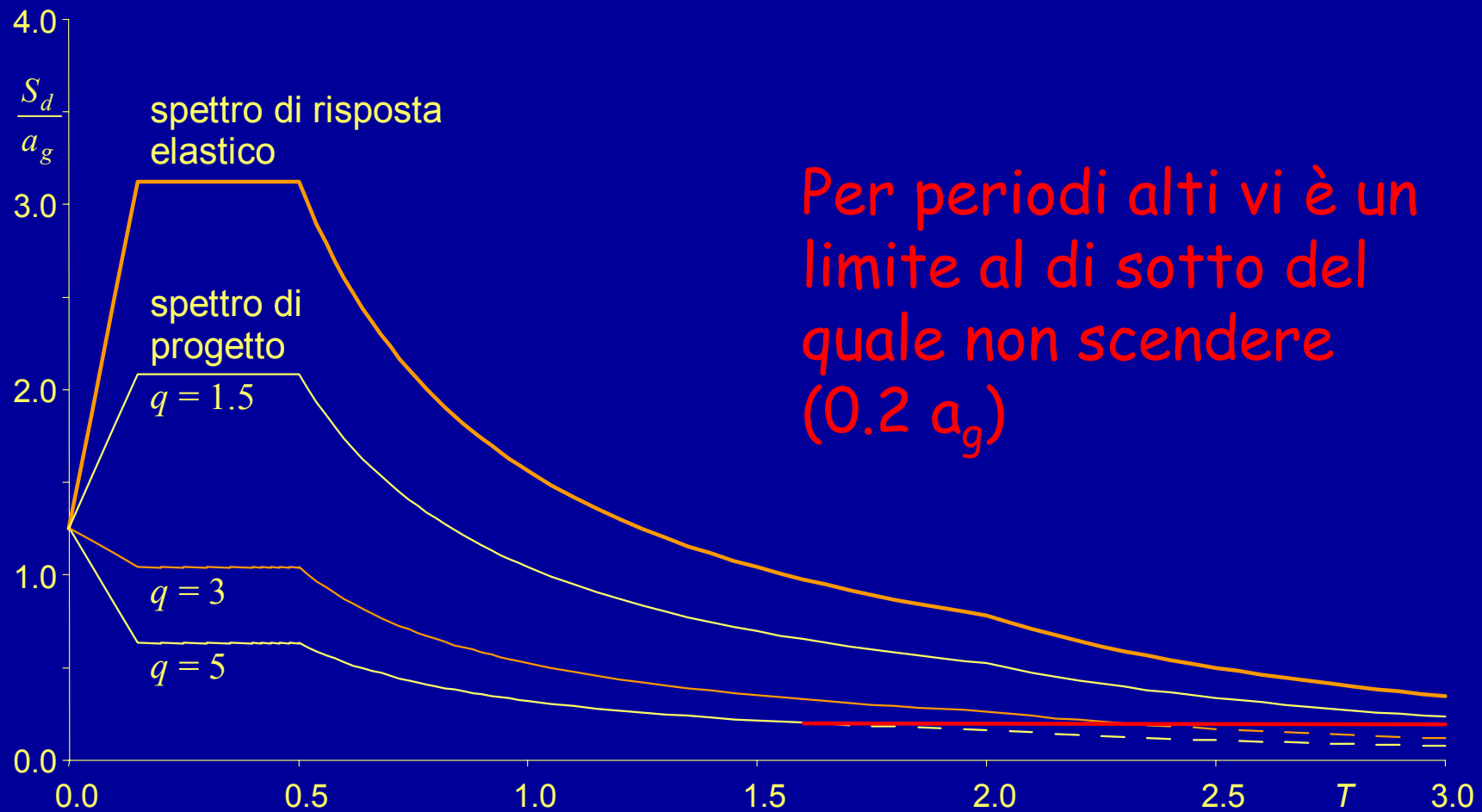
Spettri di progetto di normativa

Per periodi molto bassi la riduzione è minore.

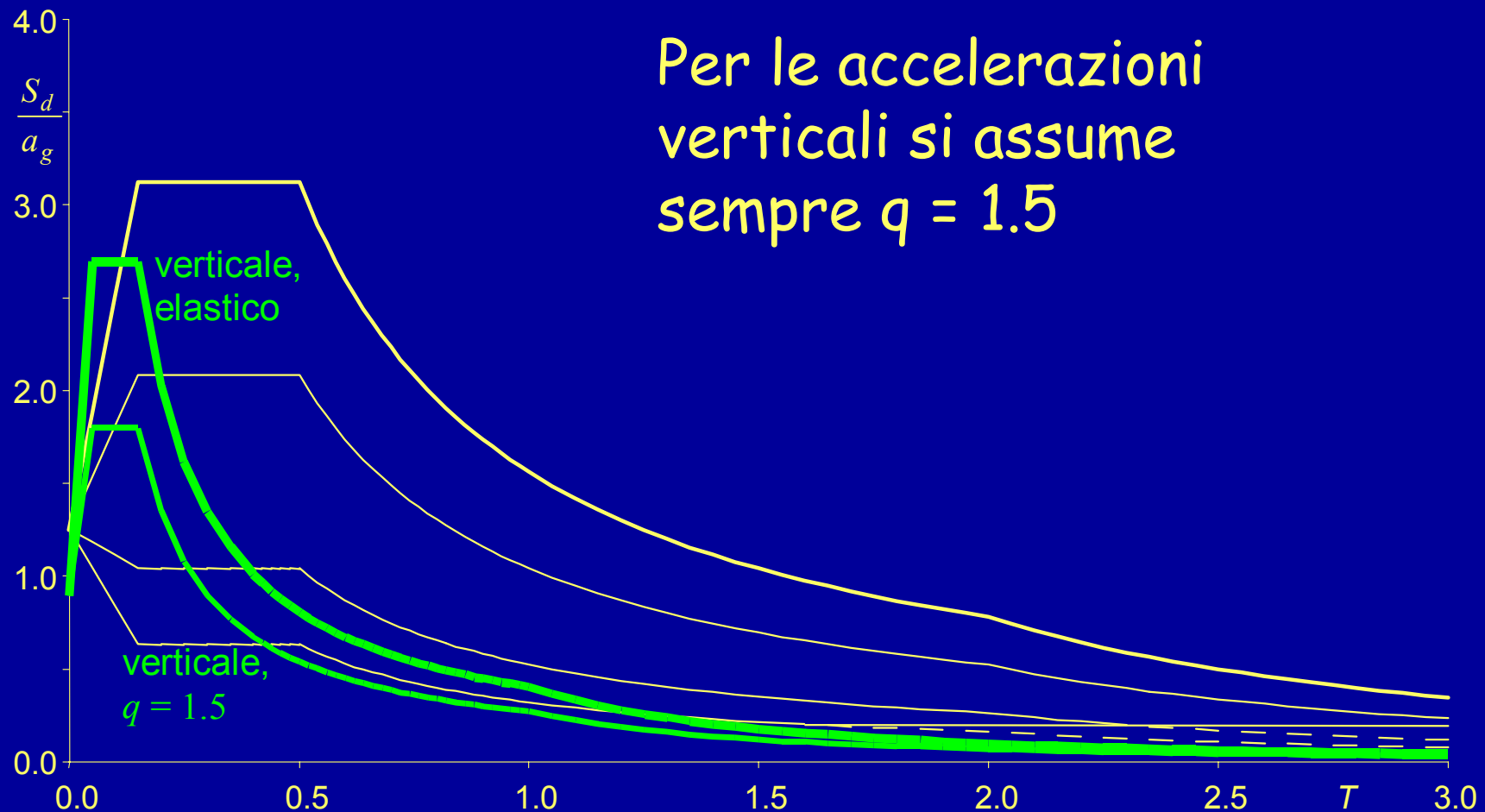
Al limite, per $T=0$ non si ha alcuna riduzione



Spettri di progetto di normativa



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