Workshop

Progetto di edifici antisismici con struttura in c.a.

Catania

aula IT del DAU

10-20 settembre 2013

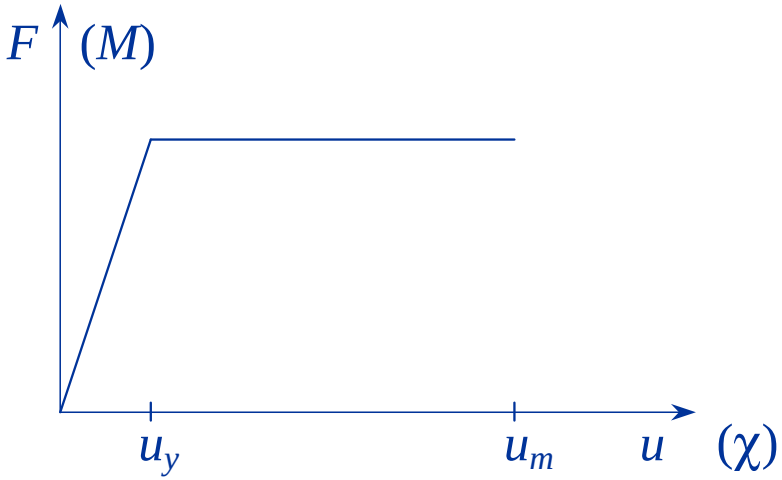
11 – Risposta di schema a un grado di libertà in campo inelastico

Risposta sismica

Schemi a un grado di libertà in campo plastico

Comportamento oltre il limite elastico

Legame elastico-perfettamente plastico

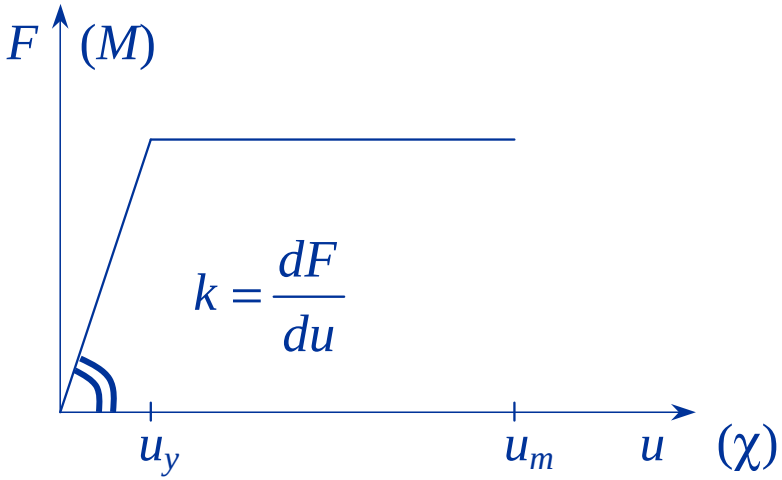


È caratterizzato da tre parametri fondamentali:

- Rigidezza
- Resistenza
- Duttilità

Comportamento oltre il limite elastico

Legame elastico-perfettamente plastico



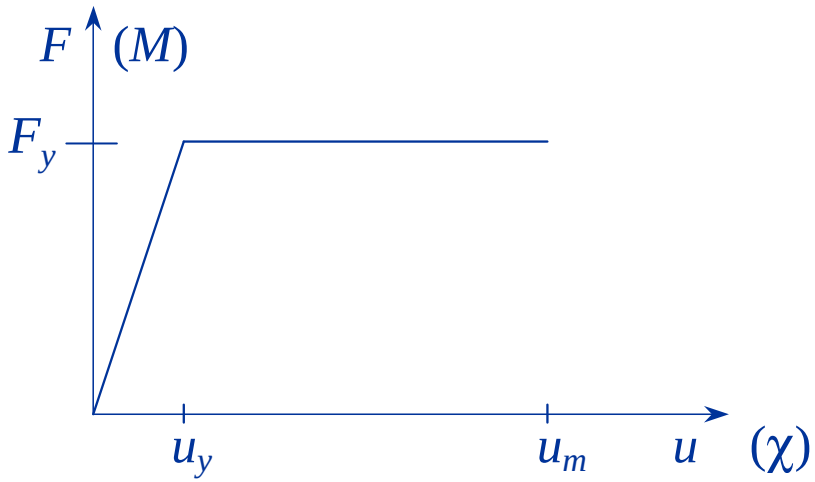
È caratterizzato da tre parametri fondamentali:

- Rigidezza
- Resistenza
- Duttilità

Rigidezza = inclinazione del diagramma

Comportamento oltre il limite elastico

Legame elastico-perfettamente plastico



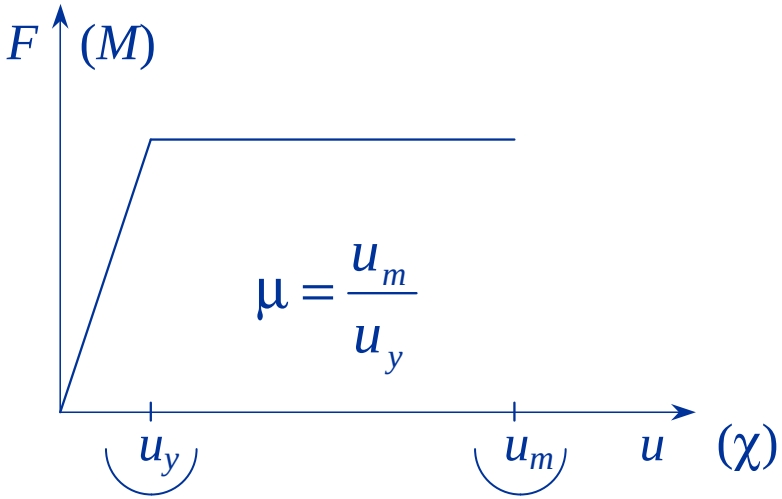
È caratterizzato da tre parametri fondamentali:

- Rigidezza
- Resistenza
- Duttilità

Resistenza = soglia di plasticizzazione

Comportamento oltre il limite elastico

Legame elastico-perfettamente plastico



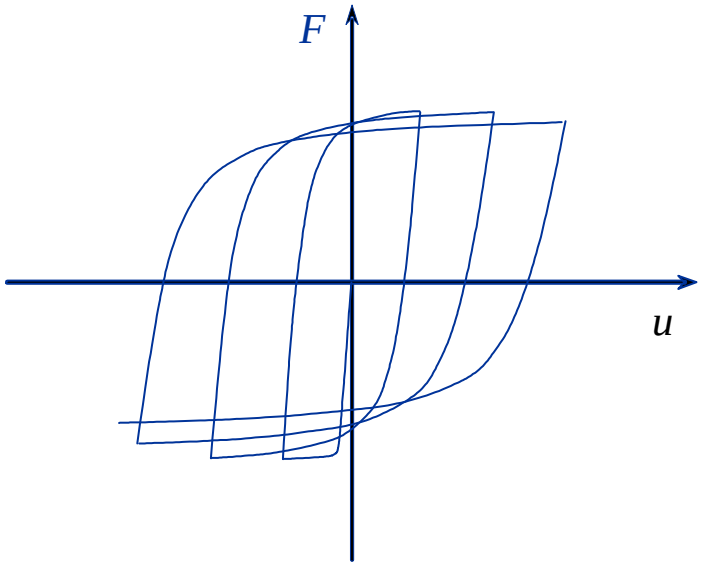
È caratterizzato da tre parametri fondamentali:

- Rigidezza
- Resistenza
- Duttilità

Duttilità = capacità di deformarsi plasticamente

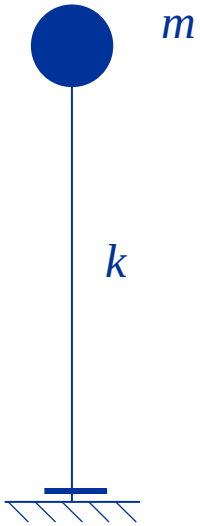
Comportamento oltre il limite elastico

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



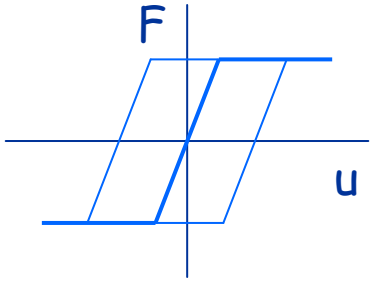
Risposta sismica
di un oscillatore semplice elasto-plastico

Foto

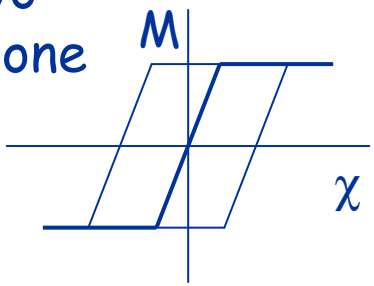


Modello
di calcolo

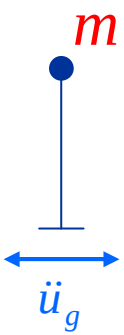
Legame costitutivo
della struttura

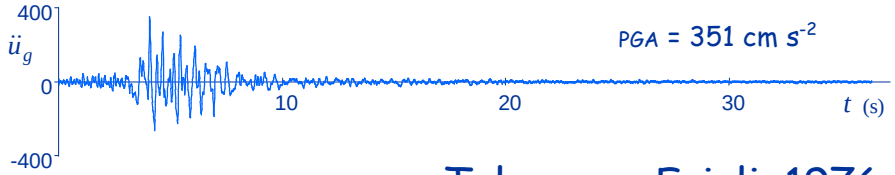


Legame
costitutivo
della sezione



Risposta sismica
di un oscillatore semplice elasto-plastico





Tolmezzo, Friuli, 1976

È possibile determinare numericamente la risposta ad un accelerogramma

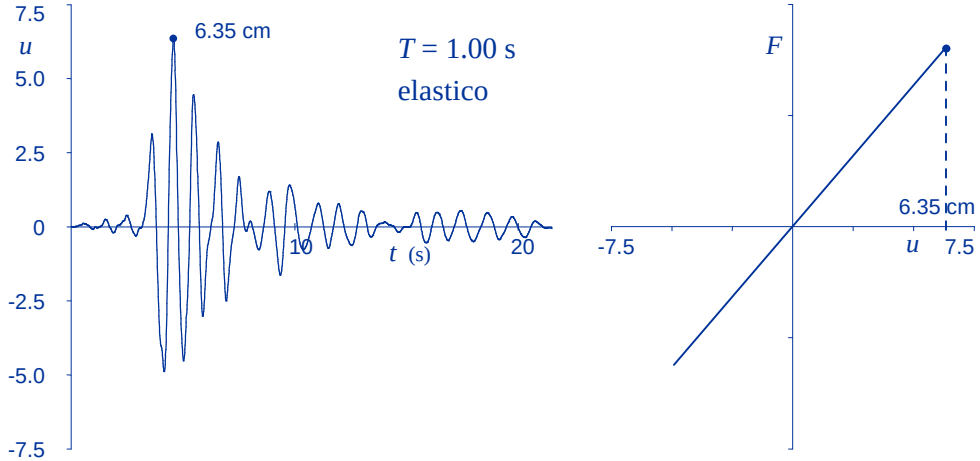
Noti i valori di $u, \dot{u}, \ddot{u}$ in un certo istante t_1 ed il valore di $\ddot{u}_g$ tra t_1 e $t_1+\Delta t$ si possono ricavare i valori di $u, \dot{u}, \ddot{u}$ nell'istante $t_1+\Delta t$

Si tiene conto della rigidezza in quel Δt (pari a k oppure nulla)

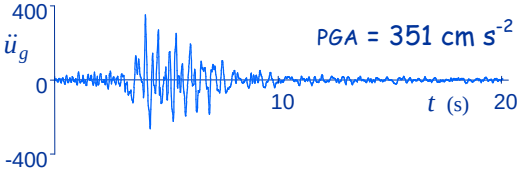
Si ottiene la risposta nel tempo (time history)

Risposta sismica
di un oscillatore semplice elasto-plastico

Risposta elastica

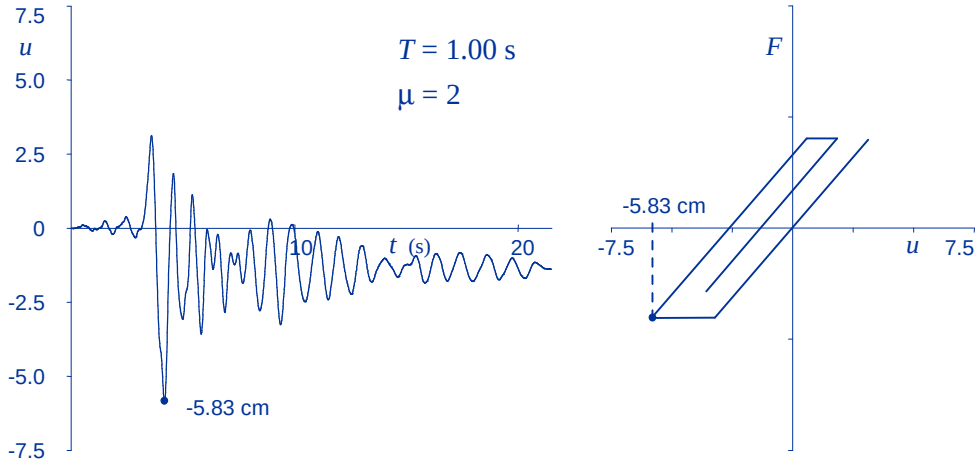


Input sismico



Tolmezzo, Friuli, 1976

Risposta elasto-plastica



Richiesta di duttilità

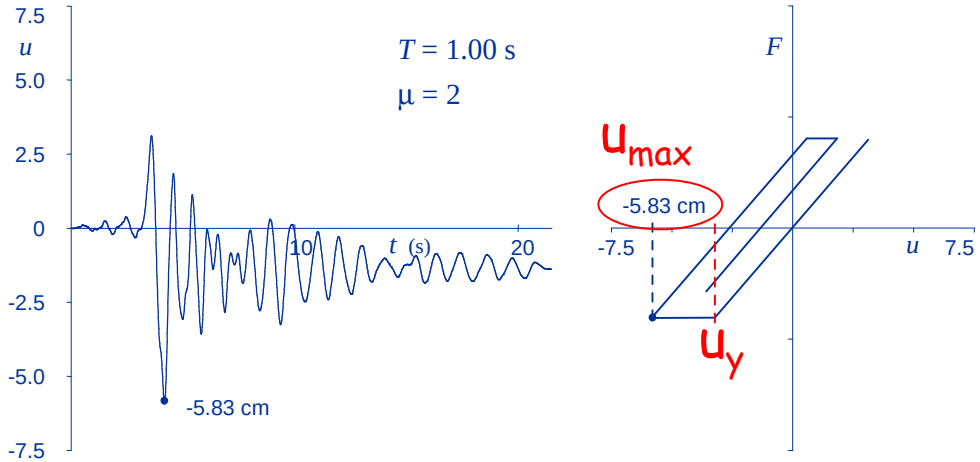
Il rapporto tra lo spostamento massimo u_{max} ottenuto come risposta al sisma

e lo spostamento u_y di plasticizzazione

è la duttilità necessaria al sistema per non collassare (richiesta di duttilità)

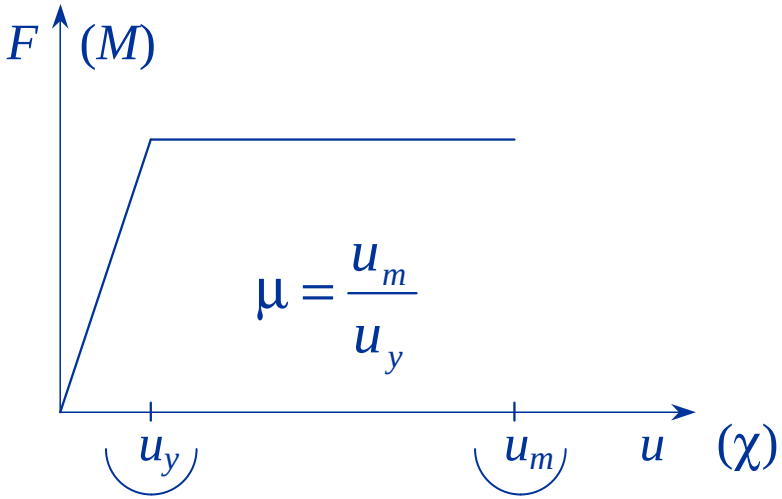
In genere,
tanto minore è la resistenza
tanto maggiore è la richiesta di duttilità

Risposta elasto-plastica



Duttilità disponibile

Legame elastico-perfettamente plastico



La duttilità che una sezione possiede può essere indicata come duttilità disponibile

Duttilità = capacità di deformarsi plasticamente

Progettazione
di strutture elasto-plastiche

- Una struttura dovrebbe essere progettata con forze elevate se la si vuole mantenere in campo elastico
- Una struttura progettata con forze minori và in campo plastico, ma può superare il terremoto se la duttilità disponibile delle singole sezioni è maggiore della richiesta di duttilità

- Per giudicare se la struttura, pur andando in campo plastico, è in grado di superare il terremoto occorre esprimere un giudizio sulla duttilità
  e quindi su deformazioni, spostamenti

Displacement based design

Progettazione
di strutture elasto-plastiche

- Una struttura dovrebbe essere progettata con forze elevate se la si vuole mantenere in campo elastico
- Una struttura progettata con forze minori và in campo plastico, ma può superare il terremoto se la duttilità disponibile delle singole sezioni è maggiore della richiesta di duttilità

Idea base della progettazione sismica:

- Progettare le strutture con forze più basse, facendo affidamento sulla duttilità

Force based design

Progettazione
a duttilità assegnata

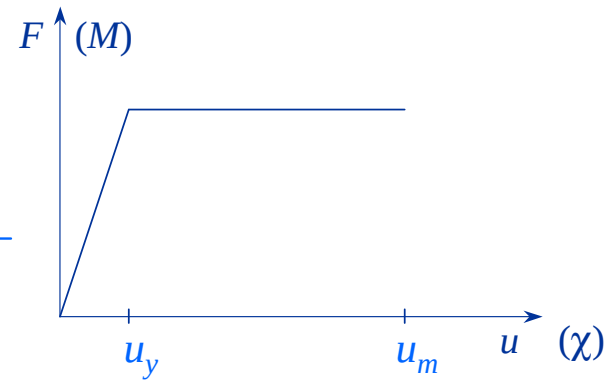
- Nota la duttilità,
  si può ricavare l'accelerazione (e quindi le forze)
  di progetto dagli spettri di risposta a duttilità
  assegnata.
- Risolvendo lo schema strutturale soggetto a queste
  forze (con analisi lineare) si verificano le sezioni.
- Se la struttura sopporta queste azioni ed ha la
 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

Force based design

Progettazione
a duttilità assegnata

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

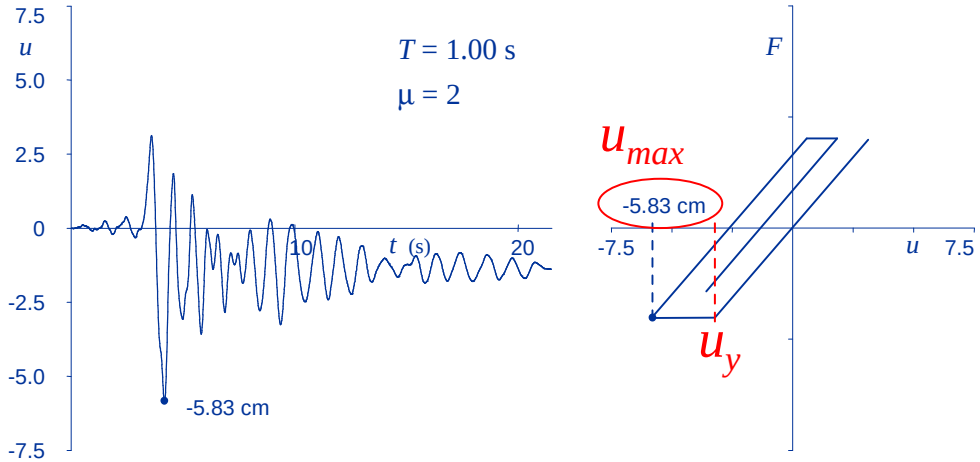
$$\mu = \frac{u_m}{u_y}$$



sia maggiore di quella richiesta

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

Risposta elasto-plastica



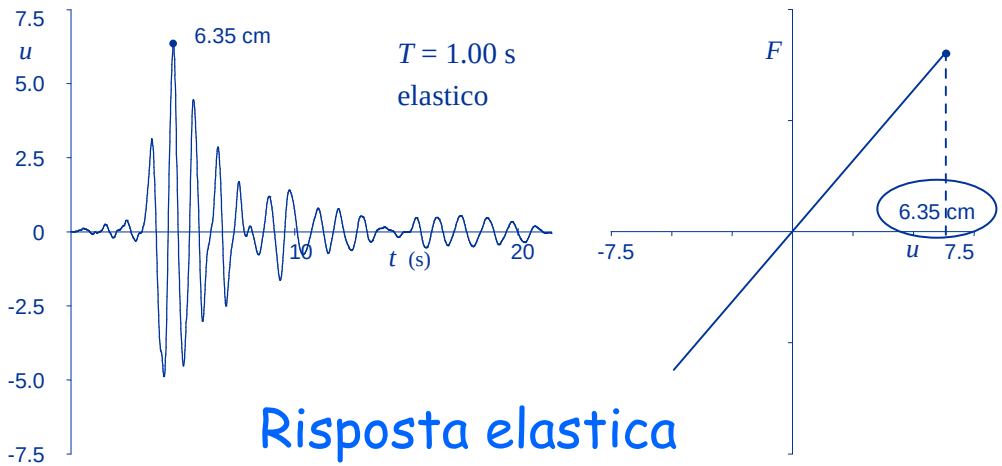
Progettazione
a duttilità assegnata

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

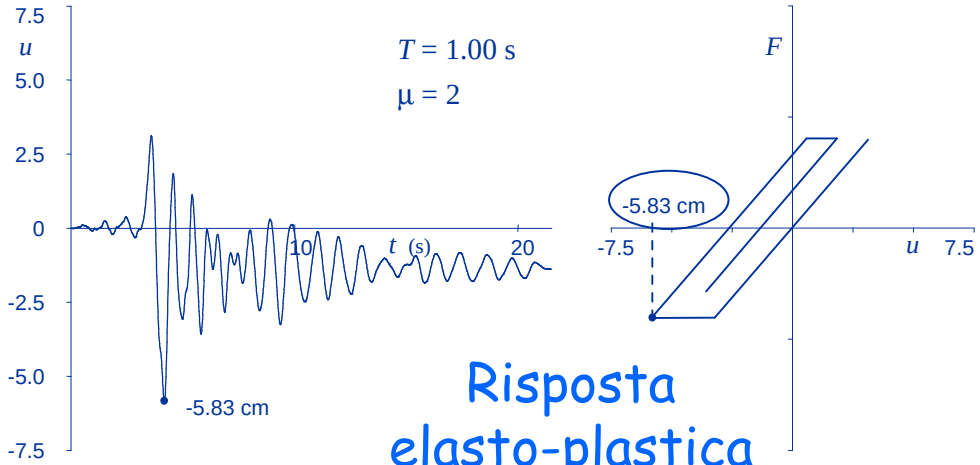
Spettro di risposta a duttilità assegnata

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
a duttilità assegnata

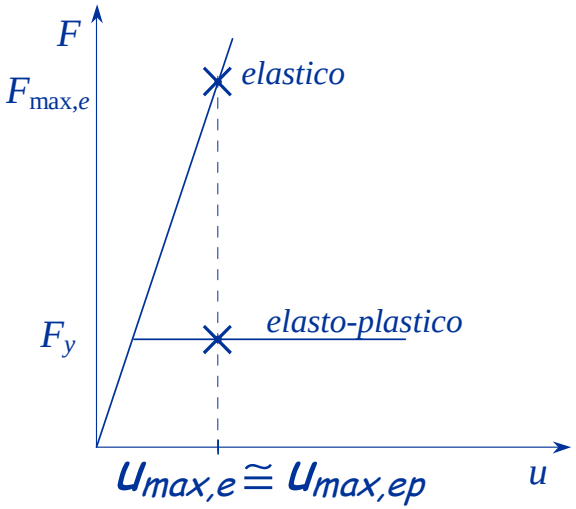


Risposta elastica



Risposta elasto-plastica

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



Progettazione
a duttilità assegnata

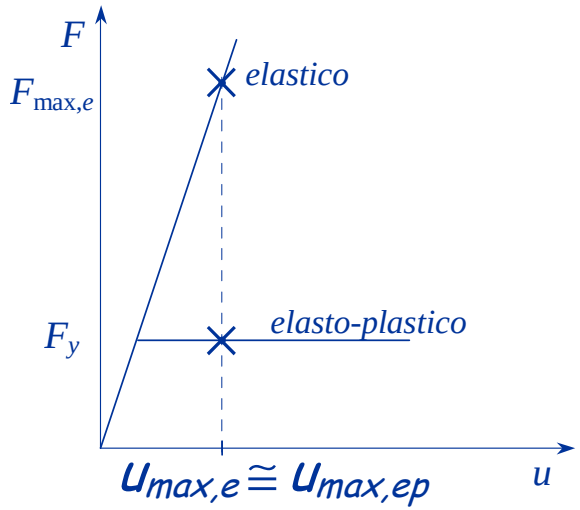
La forza di progetto può essere ottenuta dividendo F_d

la forza necessaria per mantenere la struttura in campo elastico $F_{max,e}$

per la duttilità μ

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

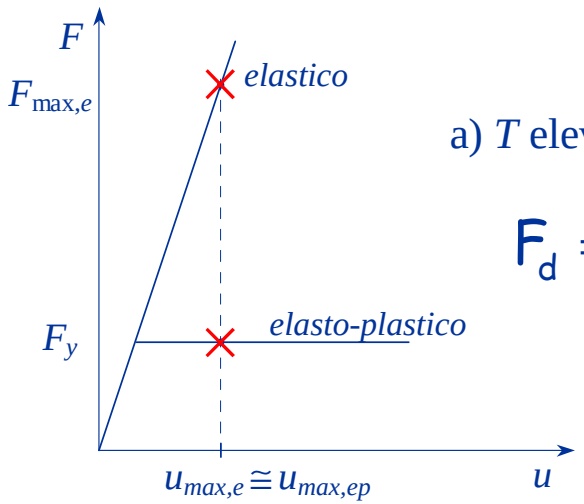
Le analisi numeriche mostrano che lo spostamento di schemi elastici ed elasto-plastici è più o meno lo stesso



Progettazione
a duttilità assegnata

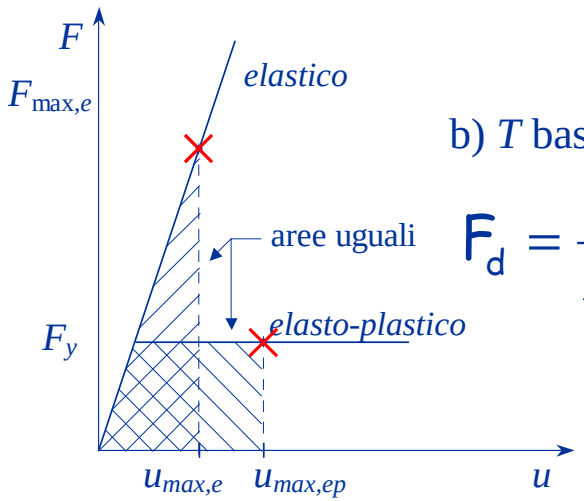
Il principio di uguaglianza di spostamenti vale solo per strutture con periodo medio-alto

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

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

Progettazione
a duttilità assegnata

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

Le attuali normative indicano:

$$F_d = \frac{F_{max,e}}{\mu} \qquad \text{per } T_1 \geq T_C$$

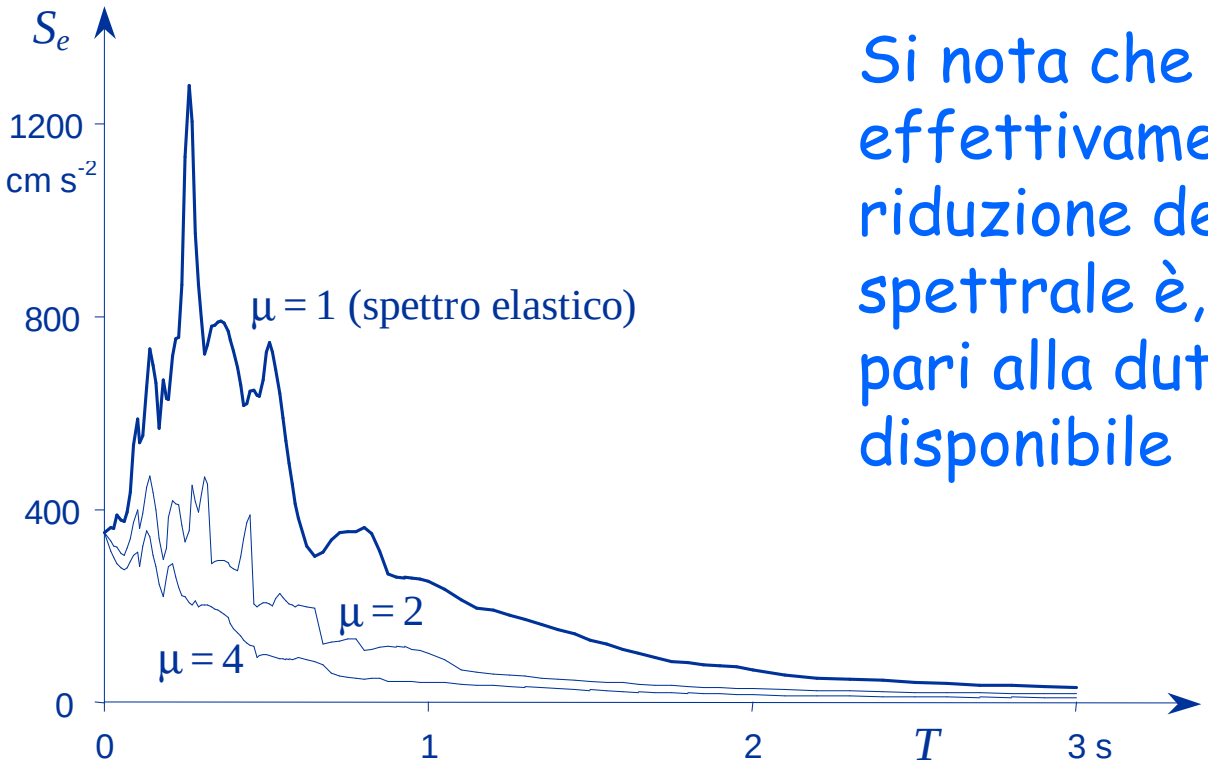
$$F_d = \frac{F_{max,e}}{1 + (\mu - 1)\, T_1 / T_C} \qquad \text{per } T_1 < T_C$$

Nota:
queste espressioni sono in genere usate all'inverso, per ricavare μ

NTC13, punto 7.3.3.3

Progettazione
a duttilità assegnata

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

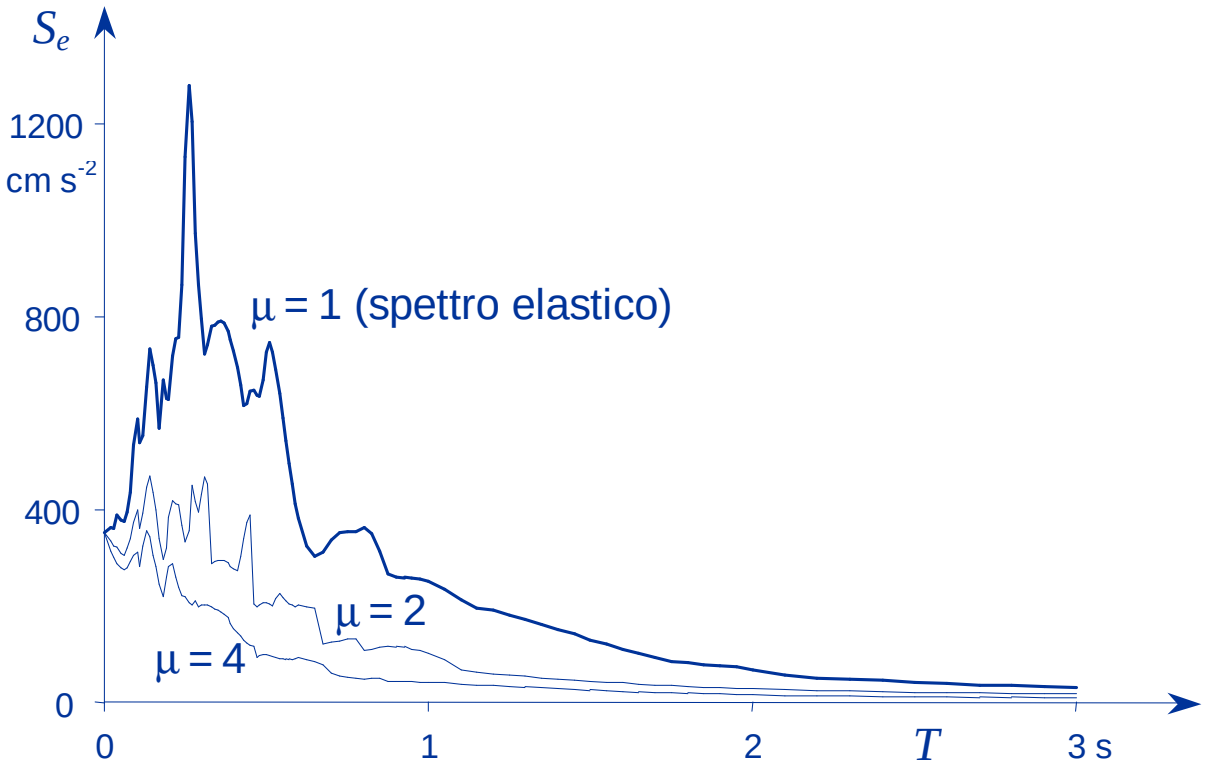


Si nota che effettivamente la riduzione dell'ordinata spettrale è, più o meno, pari alla duttilità disponibile

Spettro di risposta a duttilità assegnata

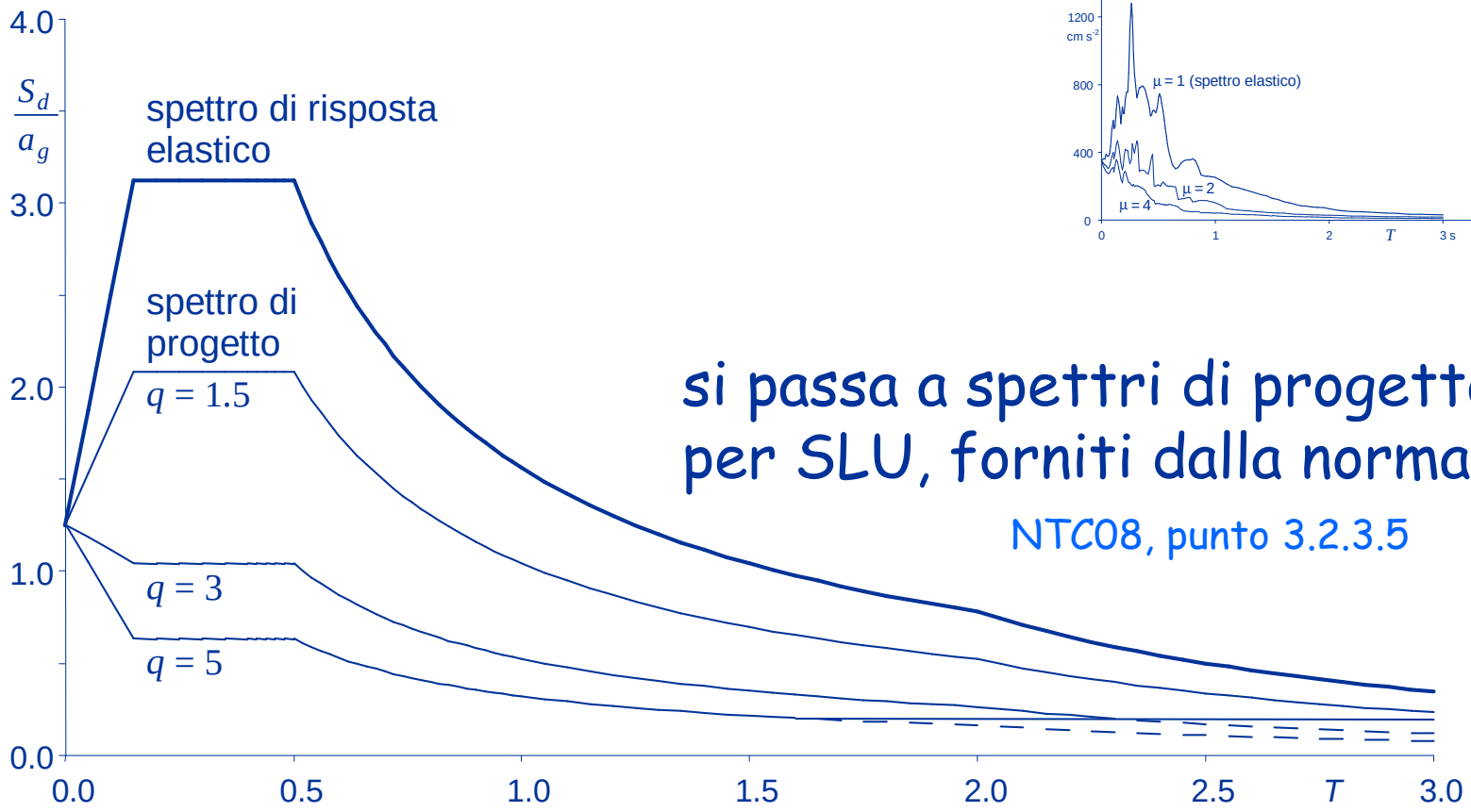
Spettri di progetto di normativa

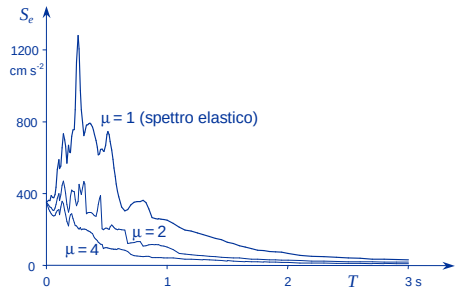
Dagli spettri di risposta a duttilità assegnata



Spettri di progetto di normativa

Dagli spettri di risposta a duttilità assegnata



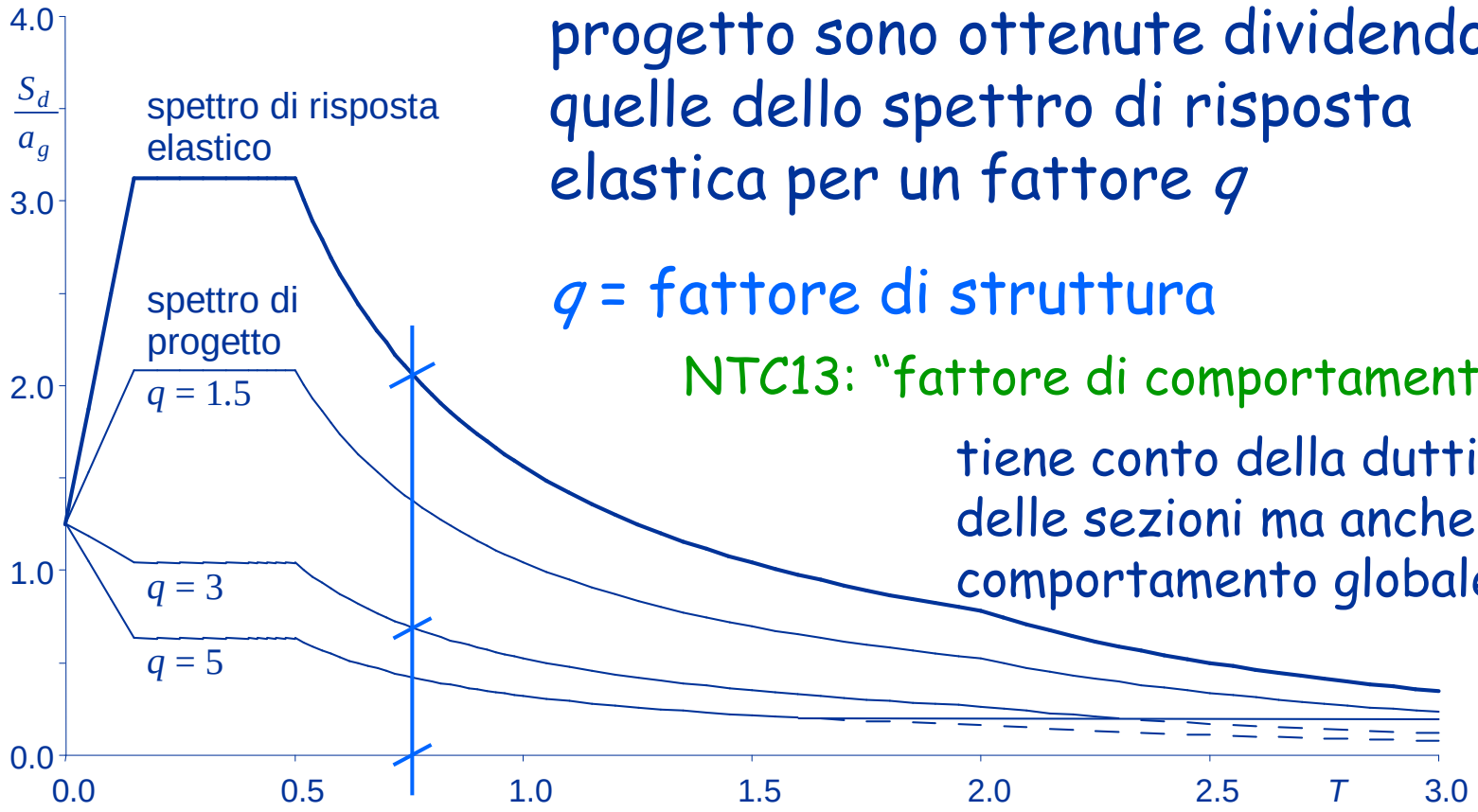


si passa a spettri di progetto per SLU, forniti dalla normativa

NTC08, punto 3.2.3.5

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

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

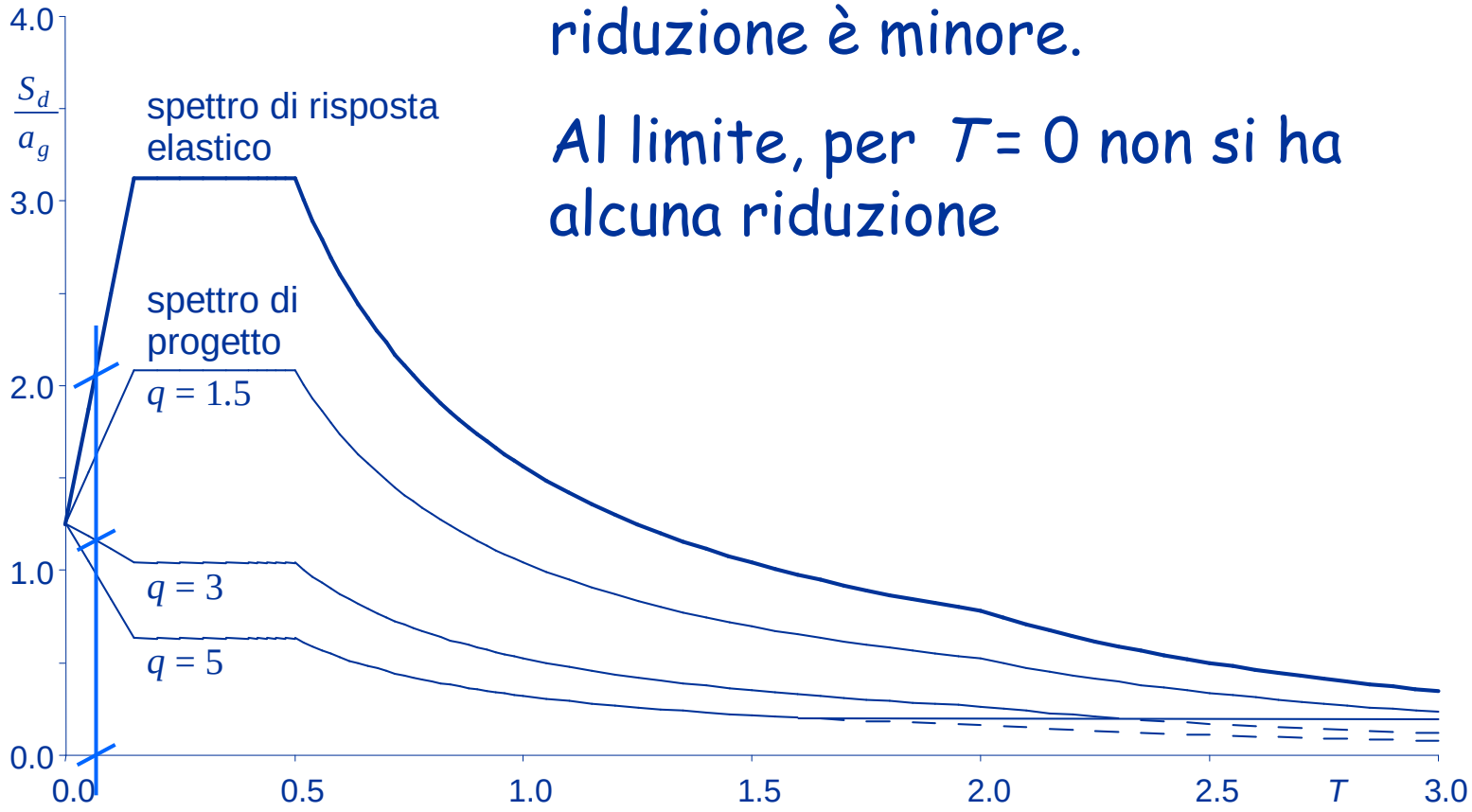
NTC13: "fattore di comportamento"

tiene conto della duttilità delle sezioni ma anche del comportamento globale

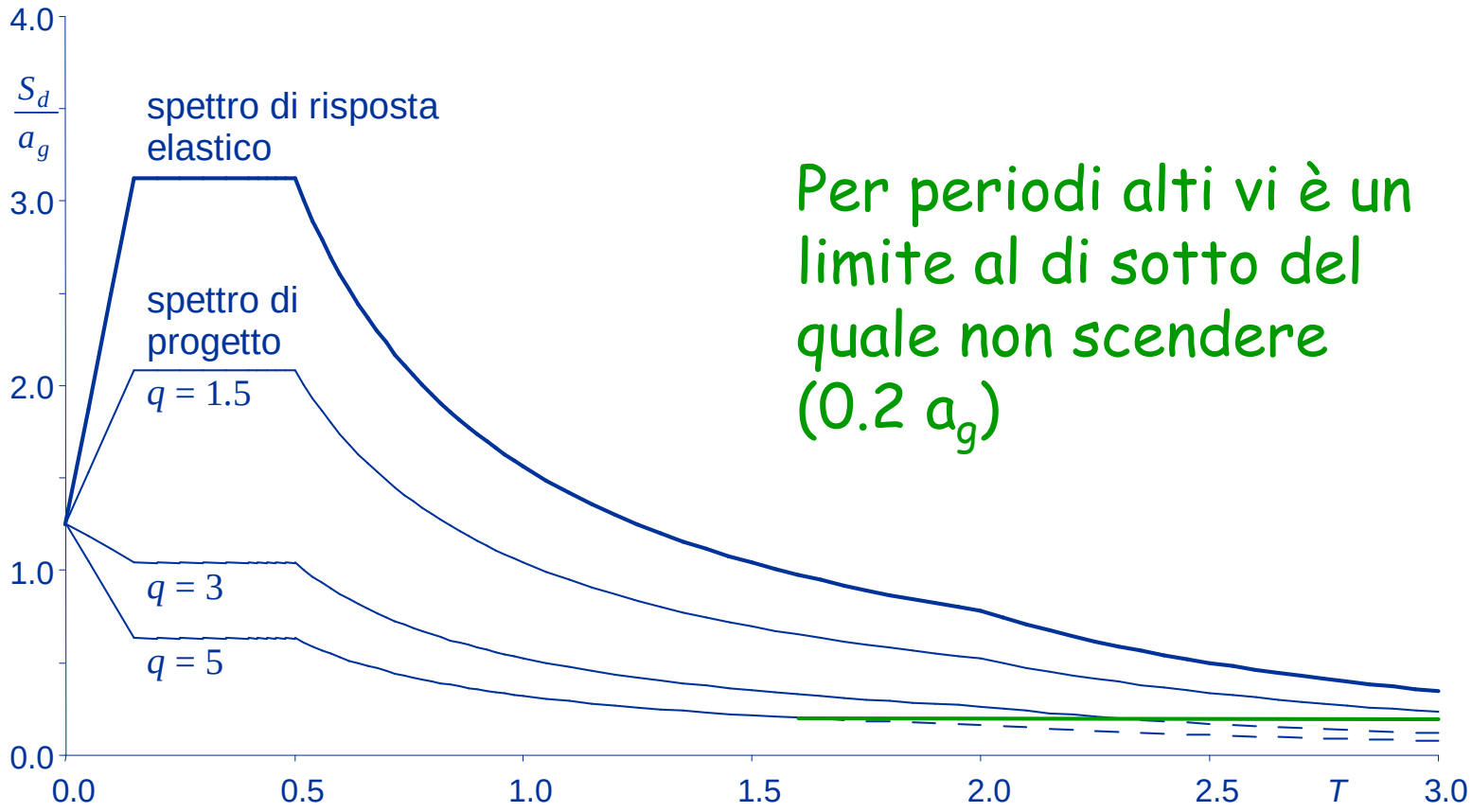
Spettri di progetto di normativa

Per periodi molto bassi la riduzione è minore.

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



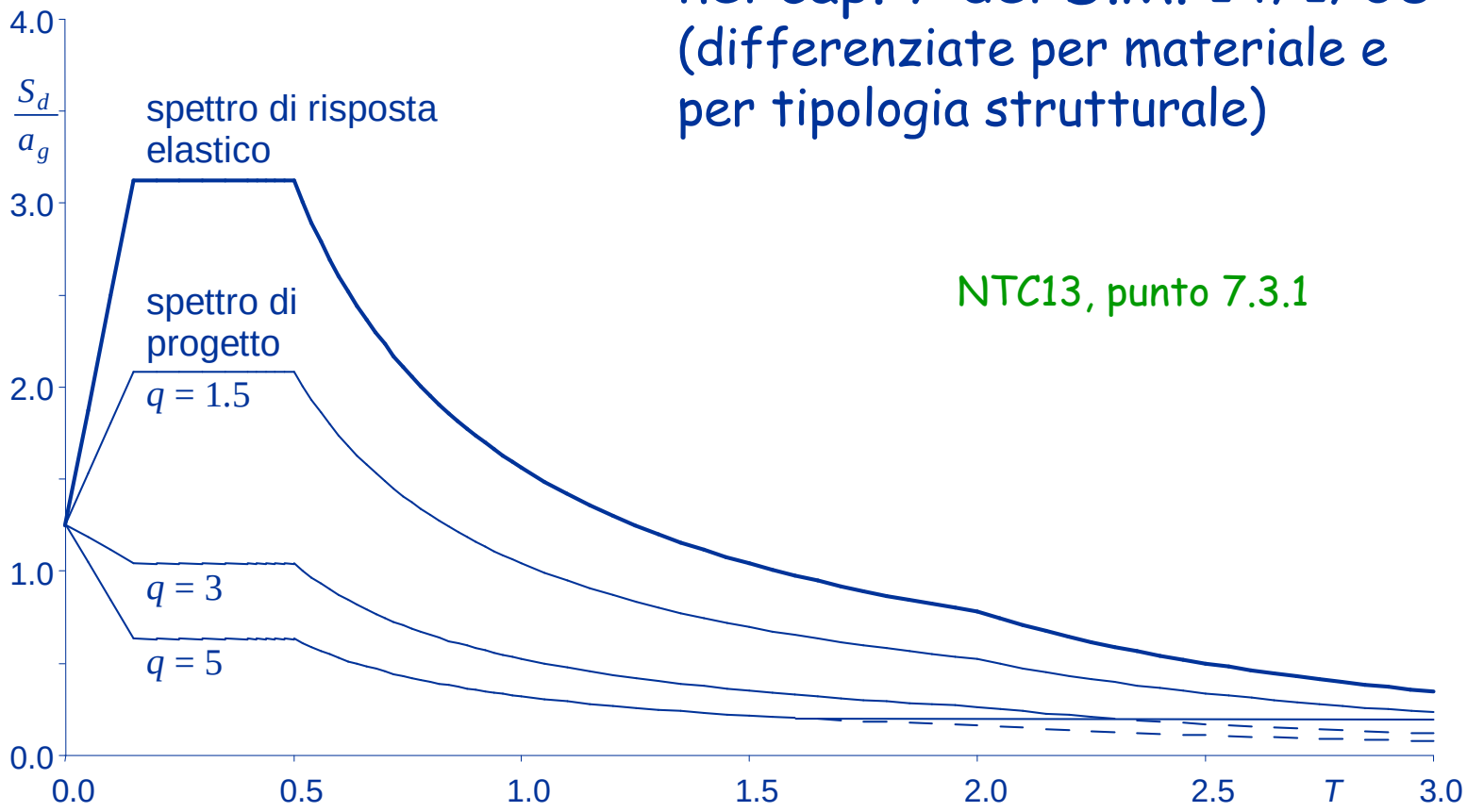
Spettri di progetto di normativa



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

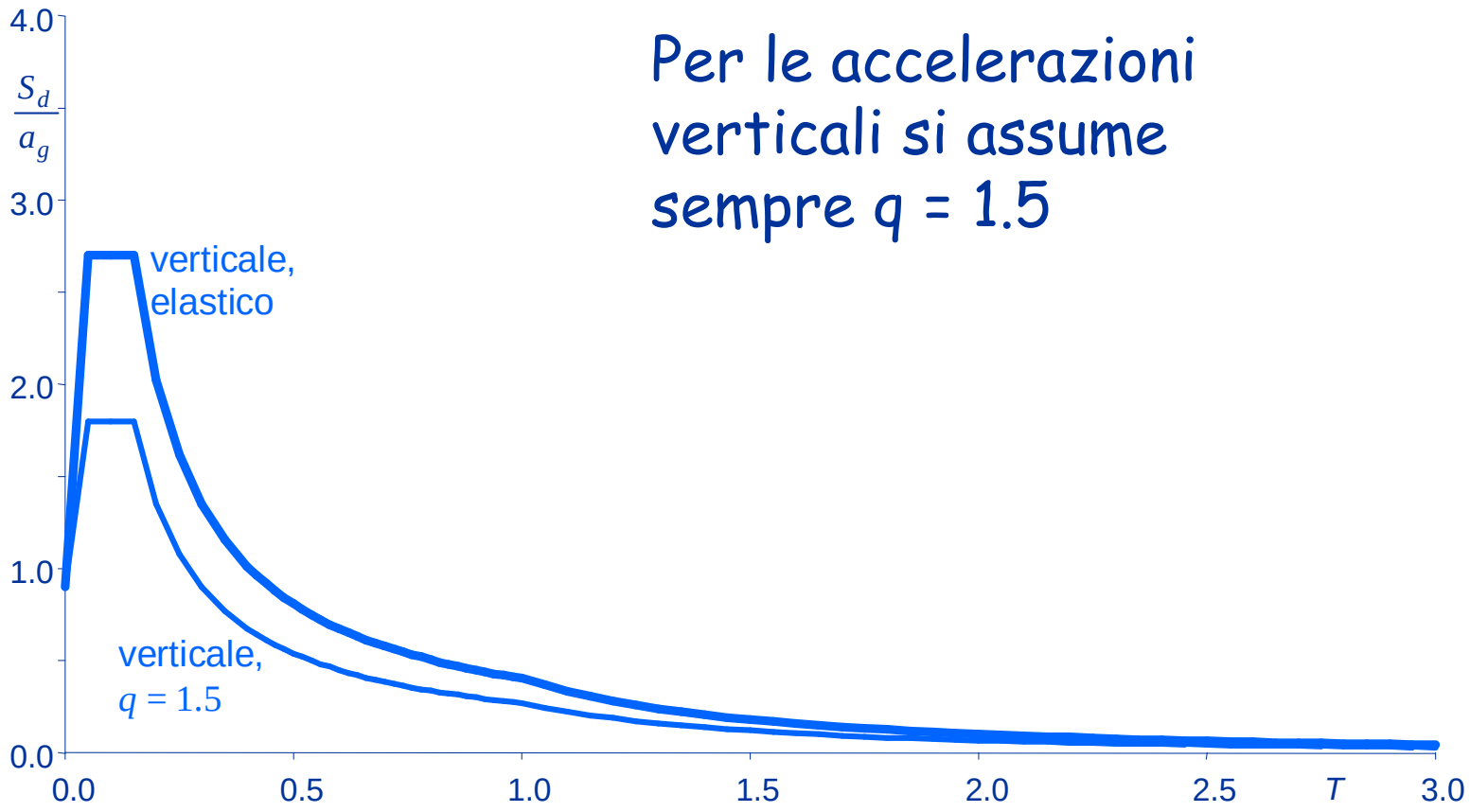
Spettri di progetto di normativa
accelerazioni orizzontali

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



NTC13, punto 7.3.1

Spettri di progetto di normativa
accelerazioni verticali



Per le accelerazioni verticali si assume sempre q = 1.5

Displacement based design o Force based design?

- Tradizionalmente si è scelto di puntare sulla progettazione basata sulle forze, perché è più vicina al modo standard di procedere dei progettisti

- Problema di fondo:
  - quanto vale la duttilità disponibile?
  - che valore assegnare al fattore di comportamento q?

- La normativa fornisce valori di q e indicazioni per ottenere una sufficiente duttilità

Ma sono veramente efficaci?

Displacement based design o Force based design?

- Le nuove tendenze vanno verso una progettazione basata sugli spostamenti, per superare i dubbi relativi alla duttilità

- Questo vale soprattutto per l'analisi di strutture esistenti, per le quali è molto difficile valutare correttamente la duttilità disponibile