

Università di Catania
Corso di laurea in ingegneria civile strutturale e geotecnica

Costruzioni in zona sismica

Risposta in campo plastico

20 ottobre 2011

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)

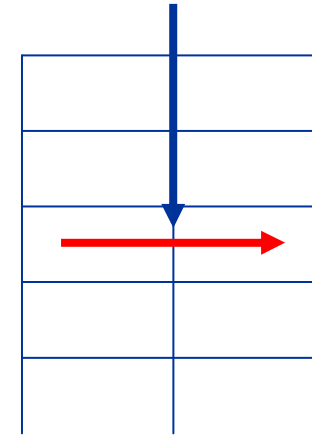
Le azioni inerziali (forze orizzontali indotte dal
sisma) possono essere comparabili con le azioni
verticali

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

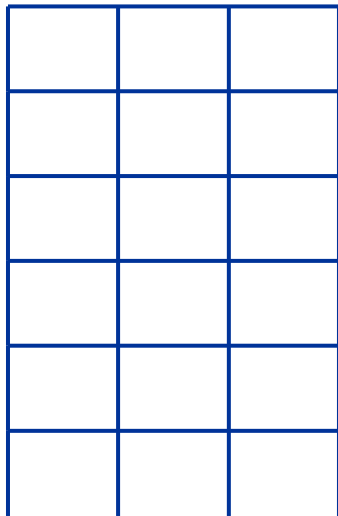
Azioni orizzontali comparabili
con le azioni verticali

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



Modello per i materiali

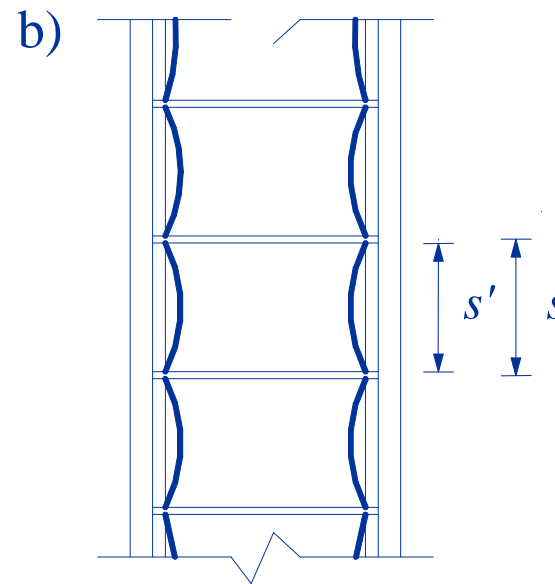
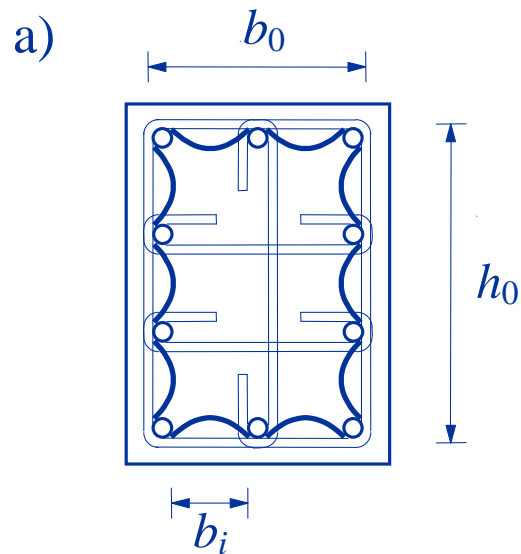


Legame momento-curvatura
($M-\chi$) per la sezione
mediante modello a fibre

Modello per i materiali calcestruzzo

Problemi:

- Distinzione tra ricoprimento e nucleo confinato
- Efficacia del confinamento



Calcestruzzo

confinamento dovuto alle staffe

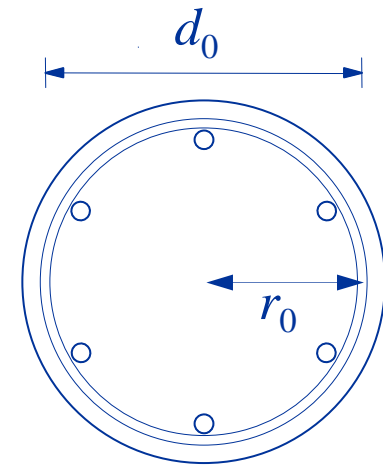
Staffe in una sezione circolare

Quando il calcestruzzo compresso si dilata le staffe danno una compressione trasversale

$$\sigma_{c,transv} = 0.5 \omega_{st} f_c$$

con

$$\omega_{st} = \frac{2 A_{st} f_y}{s r_0 f_c}$$



La compressione trasversale migliora il comportamento del calcestruzzo

Calcestruzzo

confinamento dovuto alle staffe

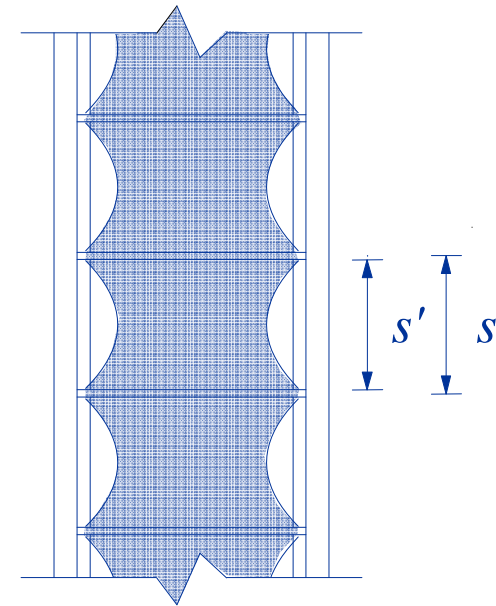
Staffe in una sezione circolare Efficacia del confinamento

Allontanandosi dalla staffa, la zona confinata si riduce

Si considera un coefficiente di efficacia pari al rapporto tra volume effettivamente confinato e volume idealmente racchiuso dalle staffe

$$\alpha_s = \left(1 - \frac{s'}{3 d_0}\right)^2$$

quindi $\sigma_{c,trasv} = 0.5 \alpha_s \omega_{st} f_c$



Calcestruzzo

confinamento dovuto alle staffe

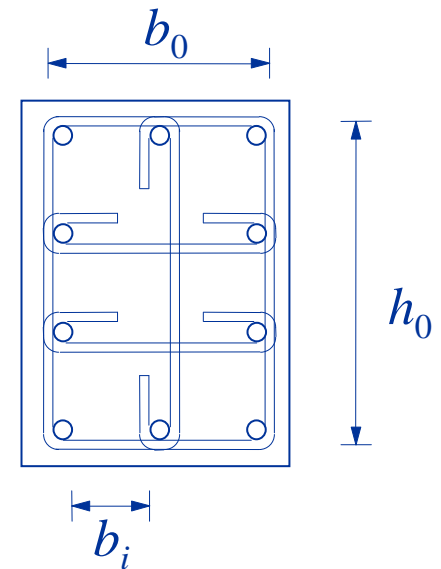
Staffe in una sezione rettangolare

Quando il calcestruzzo compresso si dilata le staffe danno una compressione trasversale

$$\sigma_{c,transv} = 0.5 \omega_{st} f_c$$

con

$$\omega_{st} = \frac{\sum A_{st} l_{st} \frac{f_y}{f_c}}{b_0 h_0 s}$$



Calcestruzzo

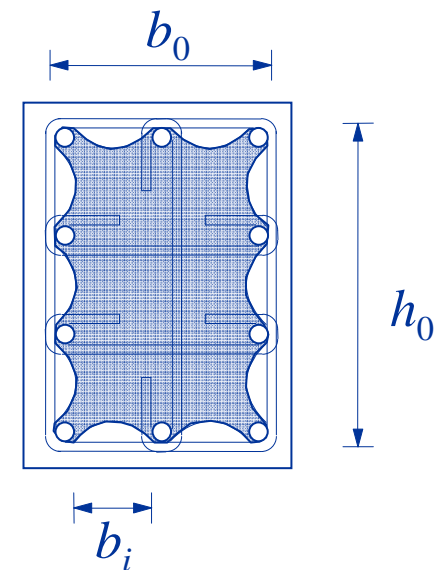
confinamento dovuto alle staffe

Staffe in una sezione rettangolare Efficacia del confinamento

Staffe e tirantini sono meno efficaci quando ci si allontana dai punti ben bloccati

Si considera un coefficiente di efficacia

$$\alpha_n = 1 - \sum_n \frac{b_i^2}{6 b_0 h_0}$$



Calcestruzzo

confinamento dovuto alle staffe

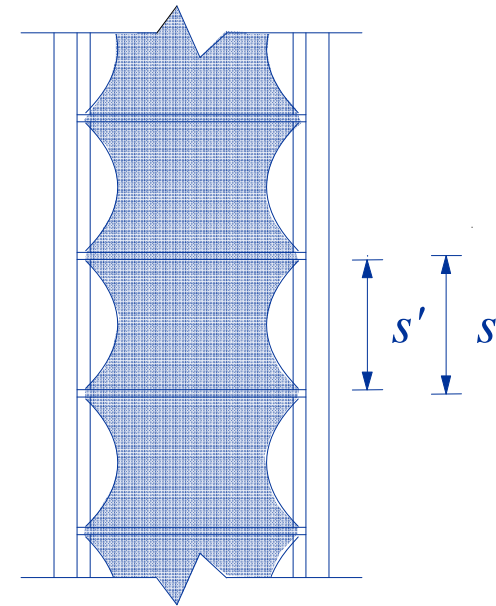
Staffe in una sezione rettangolare Efficacia del confinamento

Anche in senso longitudinale c'è una riduzione dell'efficacia del confinamento

$$\alpha_s = \left(1 - \frac{s'}{3b_0}\right) \left(1 - \frac{s'}{3h_0}\right)$$

quindi $\sigma_{c,trasv} = 0.5 \alpha \omega_{st} f_c$

con $\alpha = \alpha_s \alpha_n$

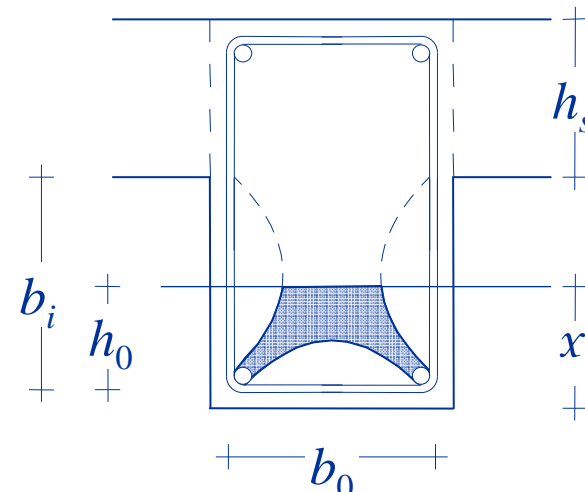
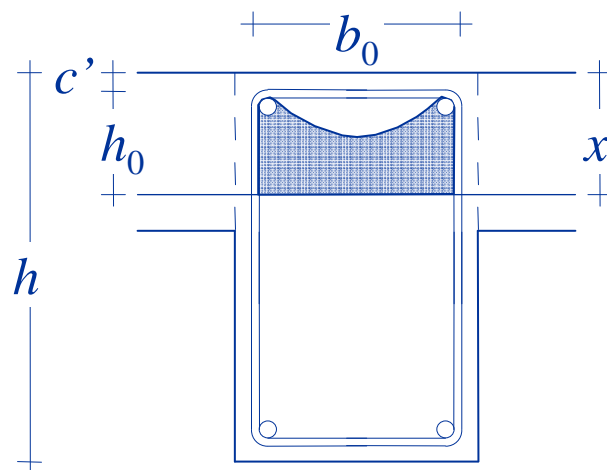


Calcestruzzo

confinamento dovuto alle staffe

Staffe in una trave a sezione rettangolare Efficacia del confinamento

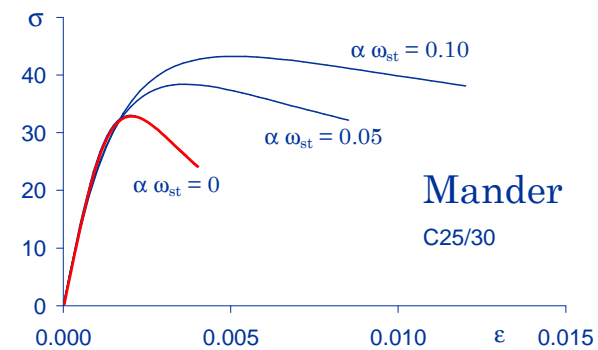
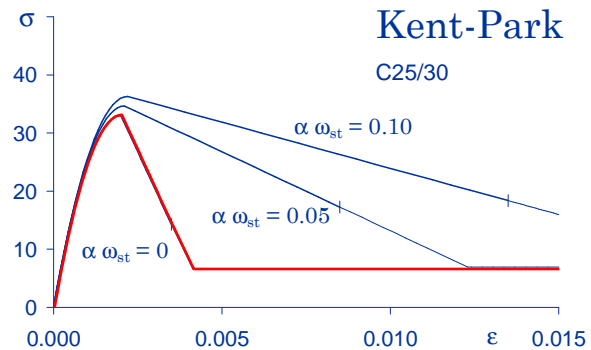
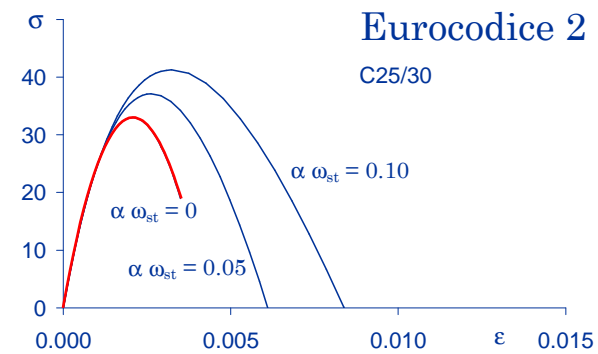
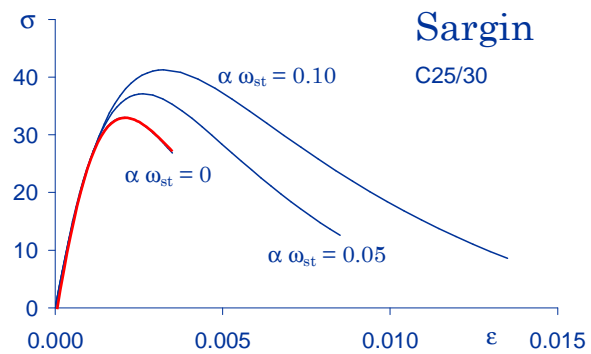
Nel valutare l'efficacia del confinamento bisogna tener conto di qual è la parte compressa e come viene confinata



Modello per i materiali calcestruzzo

Modelli:

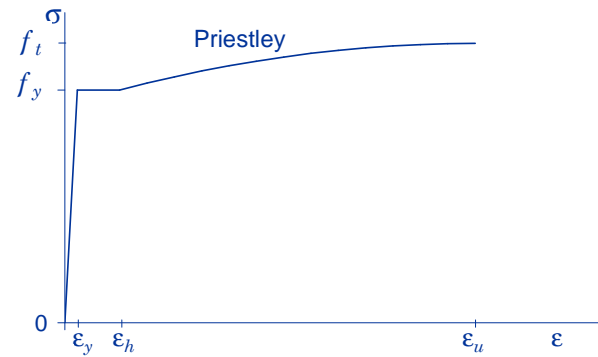
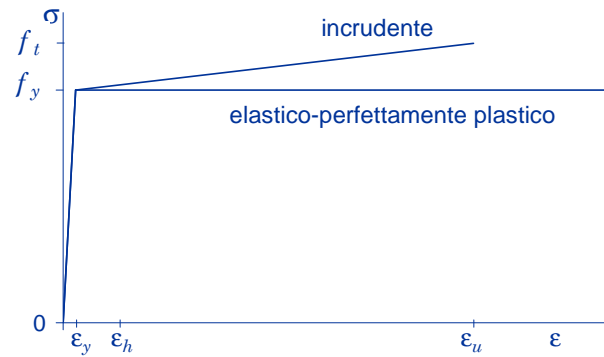
- Esistono numerose proposte, molto diverse



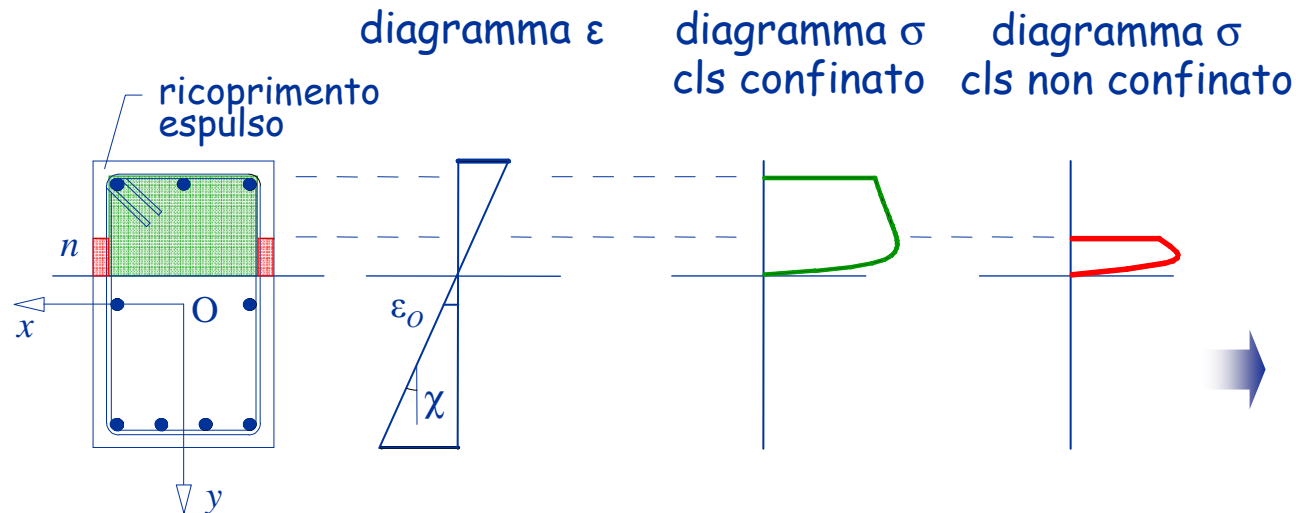
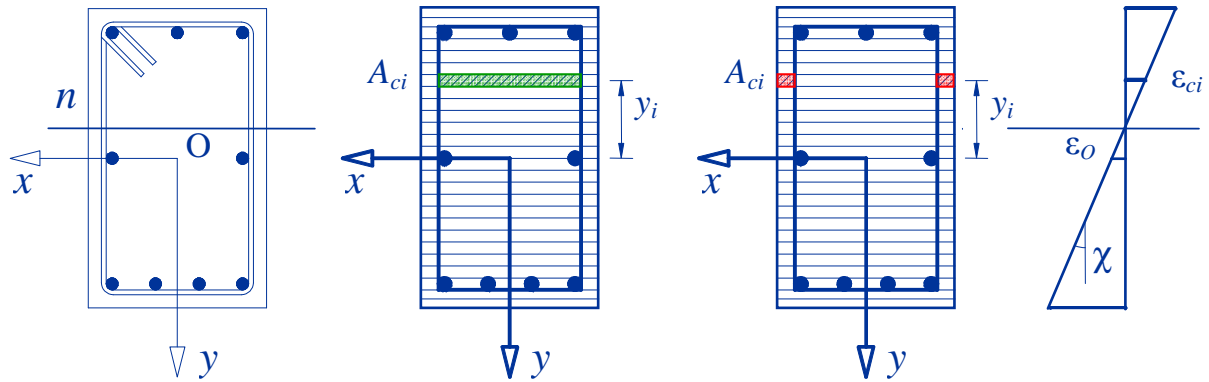
Modello per i materiali acciaio

Modelli:

- Esistono alcune proposte, leggermente diverse

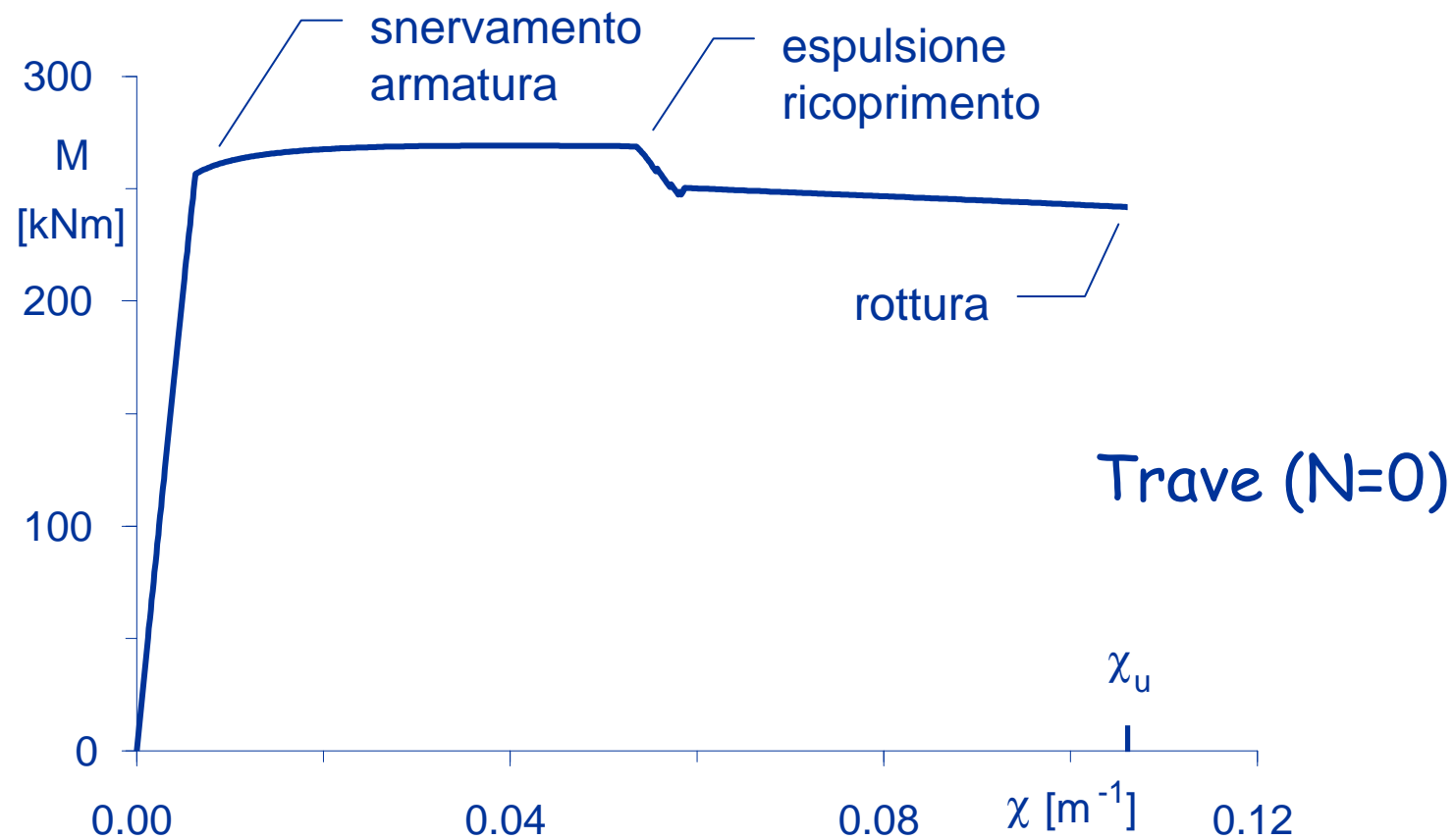


Legame momento-curvatura mediante modello a fibre



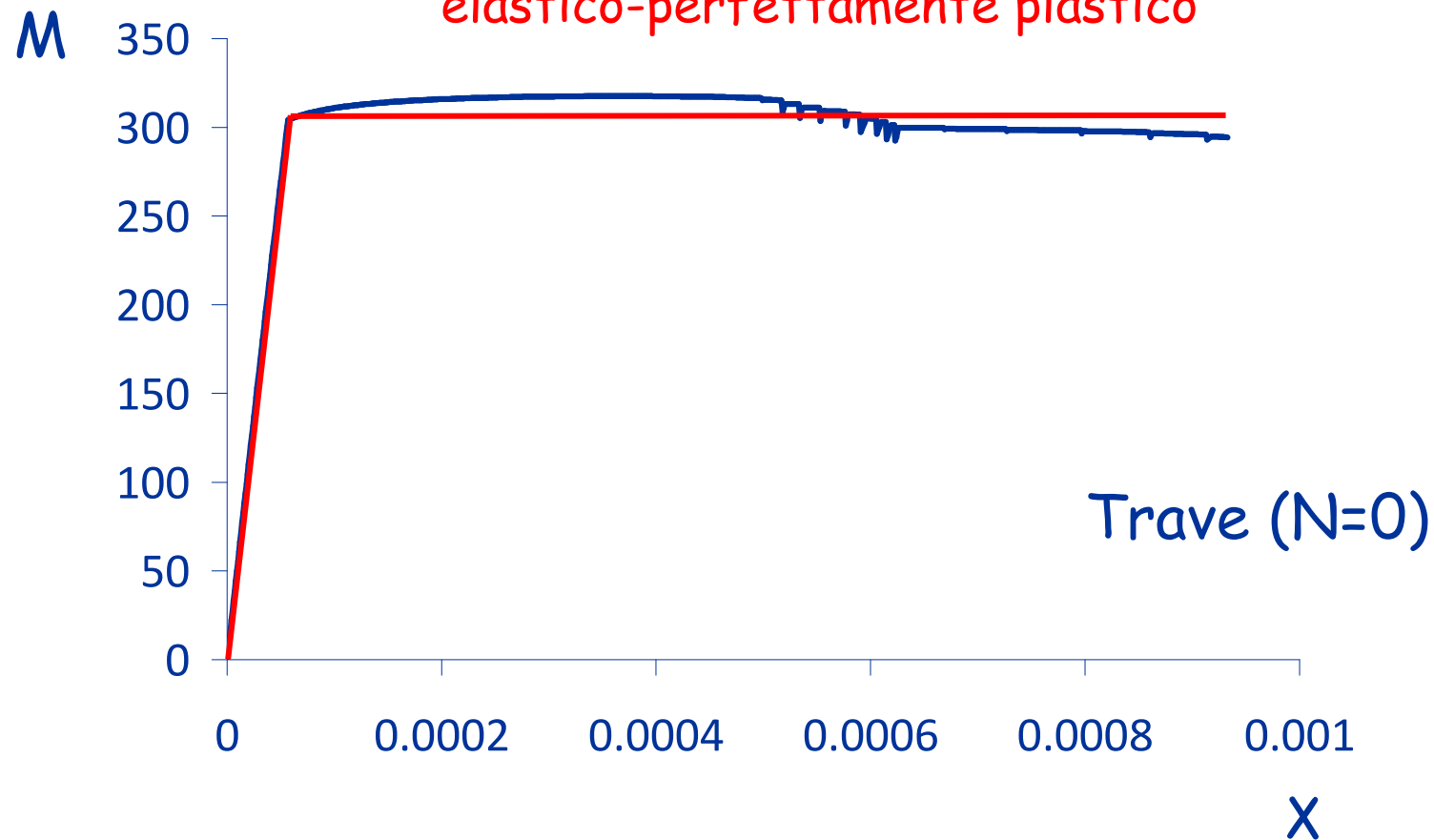
N, M

Legame momento-curvatura mediante modello a fibre

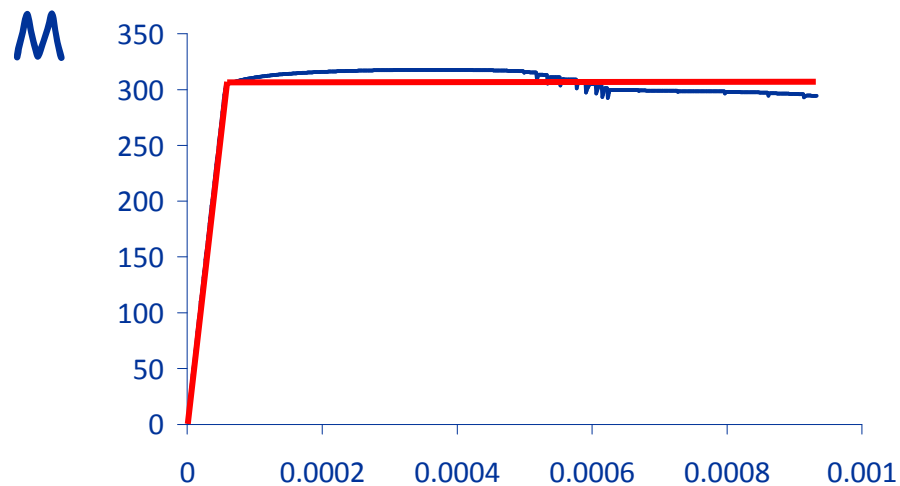
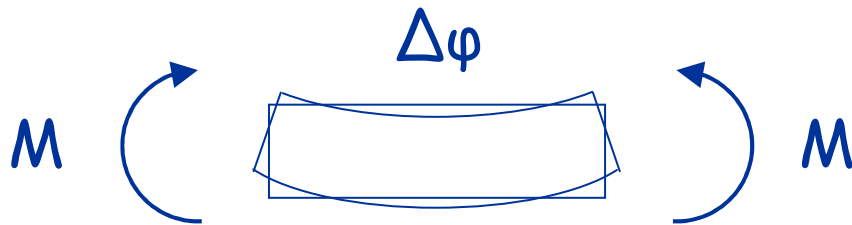


Legame momento-curvatura mediante modello a fibre

È facile schematizzarlo come
elastico-perfettamente plastico



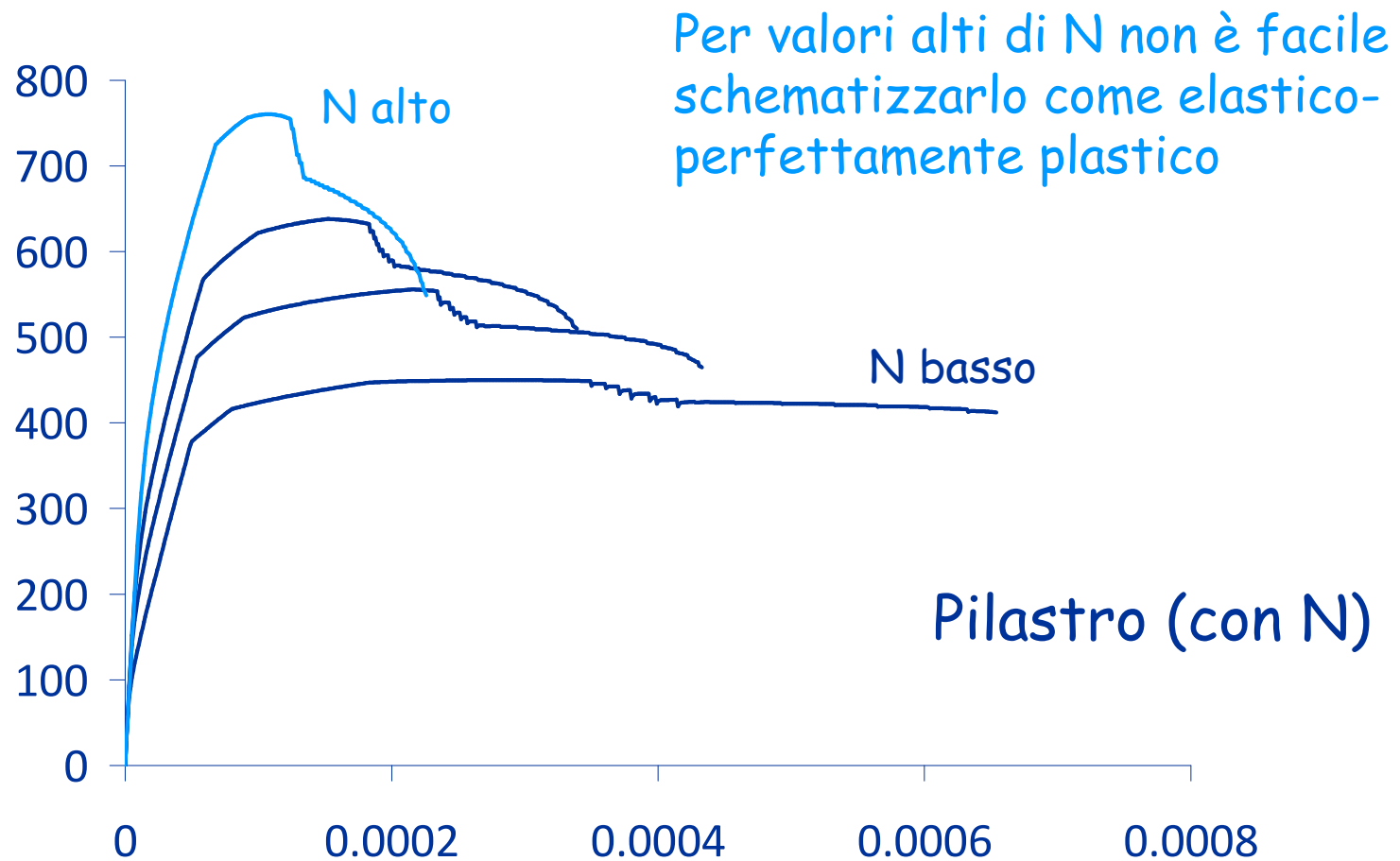
Cerniera plastica concio di trave



Trave ($N=0$)

$x \rightarrow \Delta\varphi$

Legame momento-curvatura mediante modello a fibre

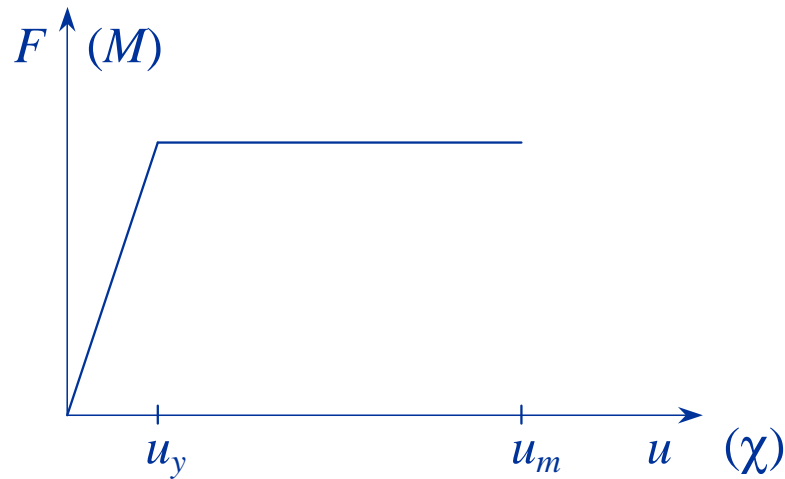


Risposta sismica

Schemi a un grado di libertà
in campo plastico

Comportamento oltre il limite elastico

Legame elastico-perfettamente plastico

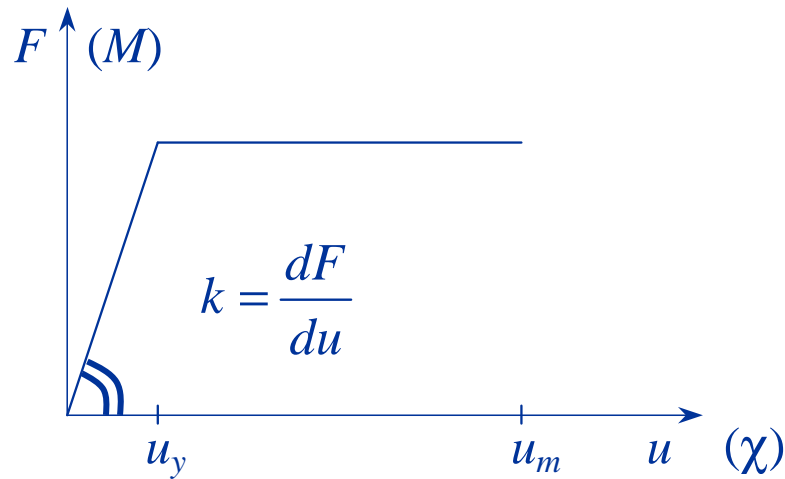


È caratterizzato da tre parametri fondamentali:

- Rigidezza
- Resistenza
- Duttilità

Comportamento oltre il limite elastico

Legame elastico-perfettamente plastico



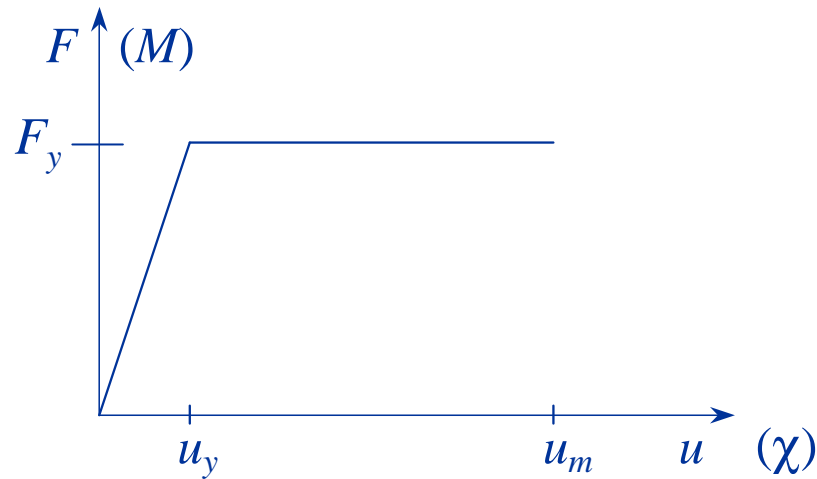
È caratterizzato da tre parametri fondamentali:

- Rigidezza
- Resistenza
- Duttilità

Rigidezza = inclinazione del diagramma

Comportamento oltre il limite elastico

Legame elastico-perfettamente plastico



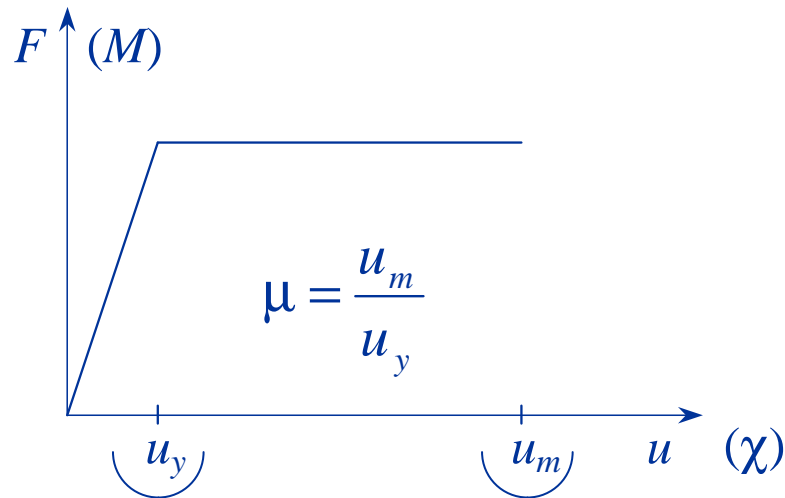
È caratterizzato da tre parametri fondamentali:

- Rigidezza
- Resistenza
- Duttilità

Resistenza = soglia di plasticizzazione

Comportamento oltre il limite elastico

Legame elastico-perfettamente plastico



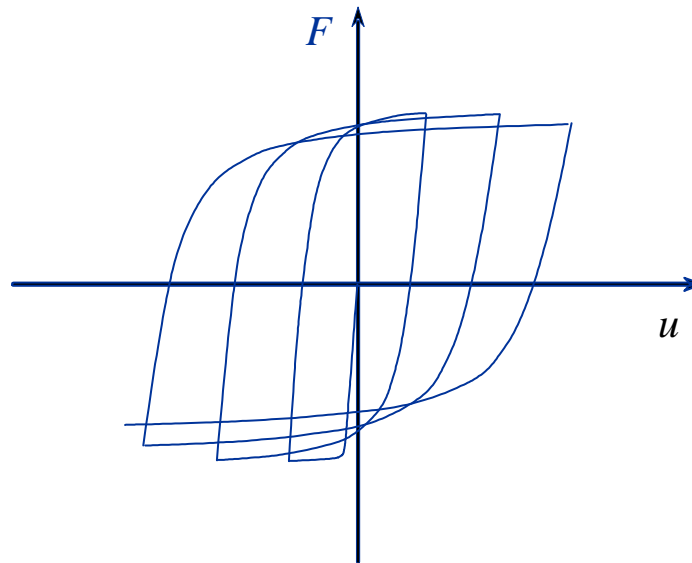
È caratterizzato da tre parametri fondamentali:

- Rigidezza
- Resistenza
- Duttilità

Duttilità = capacità di deformarsi plasticamente

Comportamento oltre il limite elastico

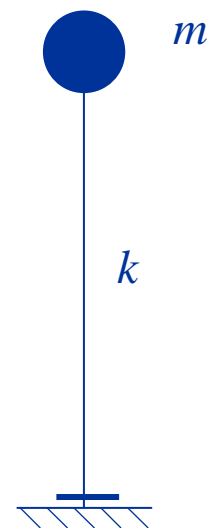
Per una valutazione della risposta sismica, occorre anche tener conto del comportamento ciclico, con i possibili degradi di rigidezza e resistenza



Risposta sismica di un oscillatore semplice elasto-plastico

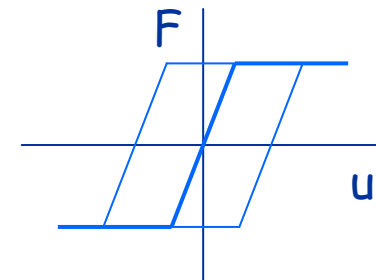


Foto

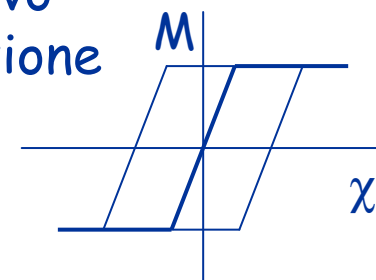


Modello
di calcolo

Legame costitutivo
della struttura



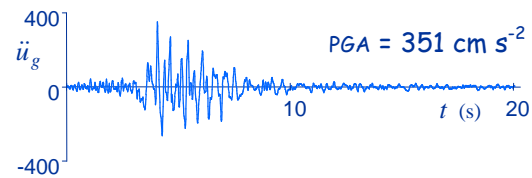
Legame
costitutivo
della sezione



Risposta sismica di un oscillatore semplice elasto-plastico

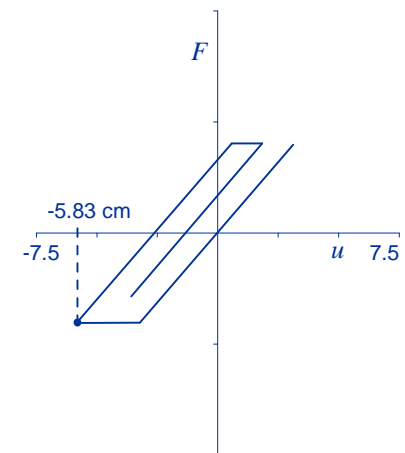
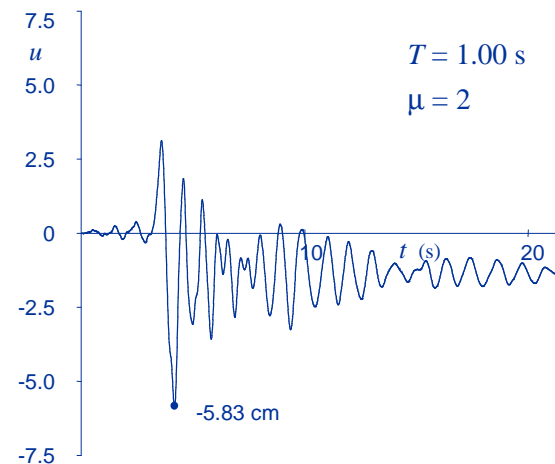
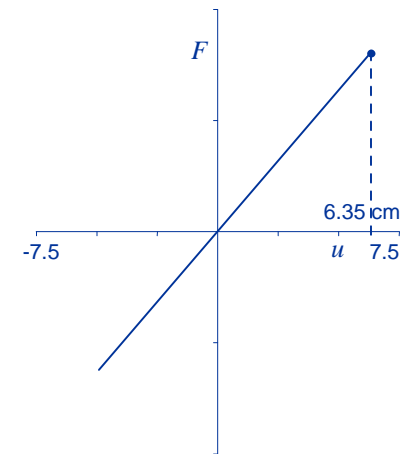
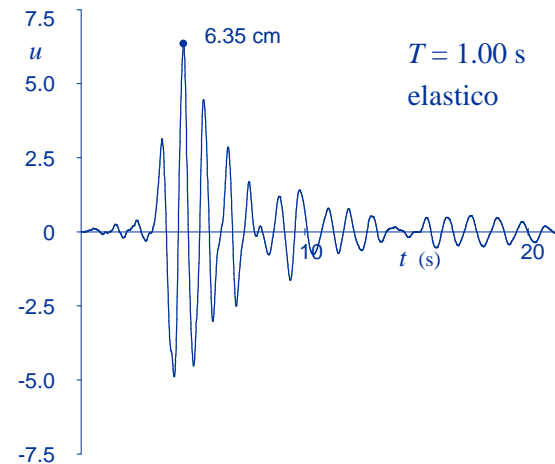
Risposta
elastica

Input sismico



Tolmezzo, Friuli, 1976

Risposta
elasto-plastica

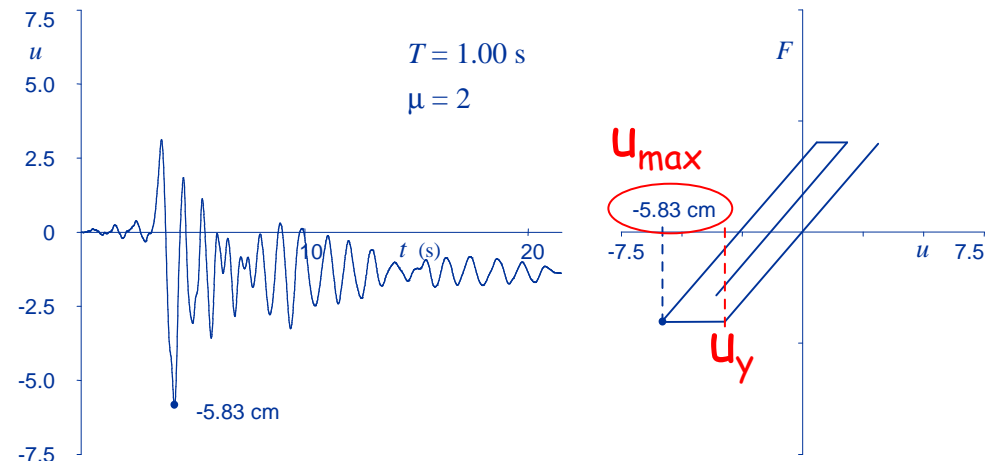


Richiesta di duttilità

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)

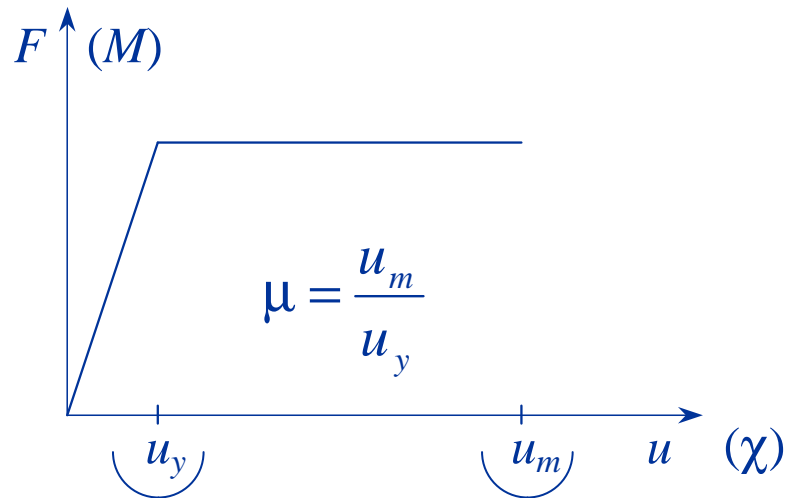
In genere,
tanto minore è la
resistenza
tanto maggiore è la
richiesta di duttilità

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 va 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 va 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

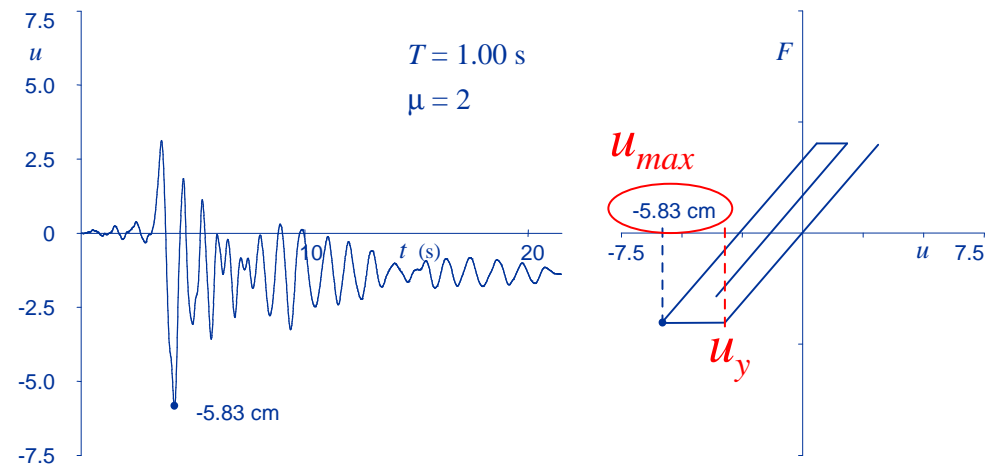
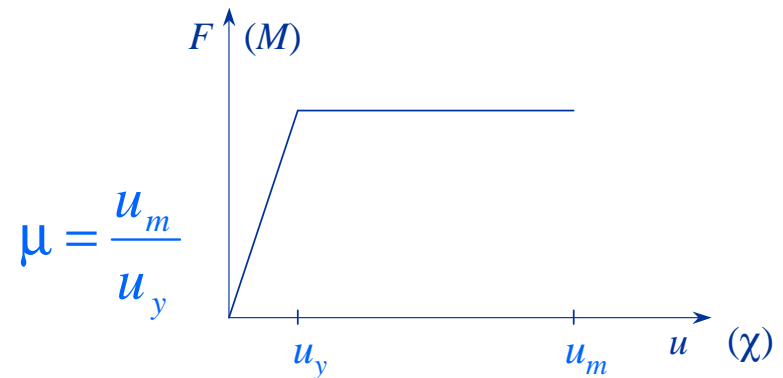
Progettazione a duttilità assegnata

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

sia maggiore di quella richiesta

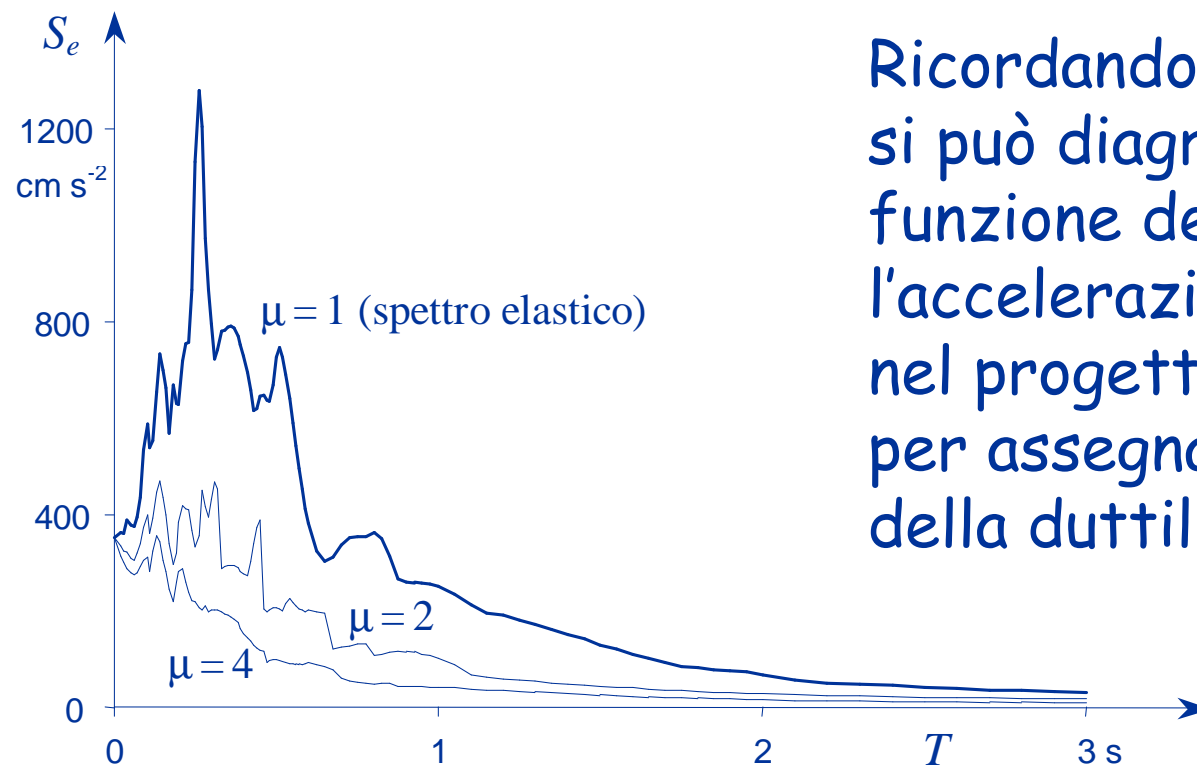
$$\mu = \frac{u_{\max}}{u_y}$$

Risposta
elasto-plastica



Progettazione a duttilità assegnata

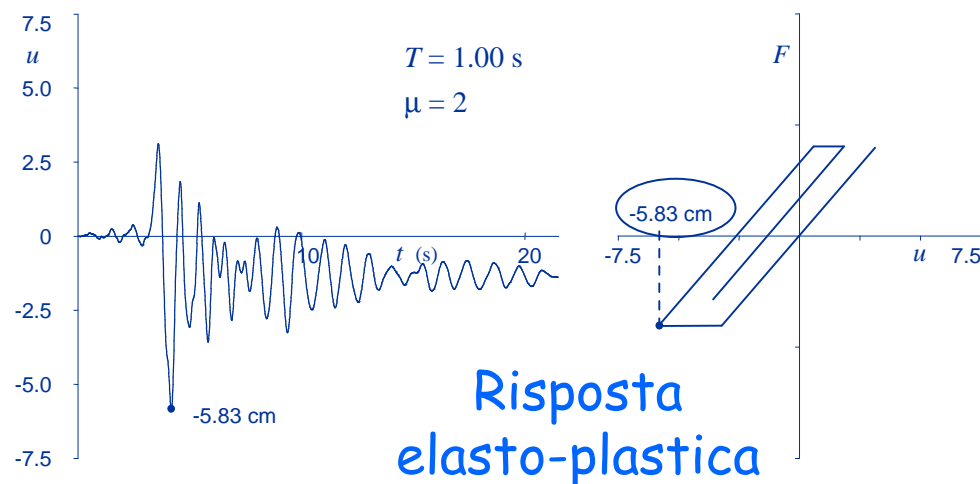
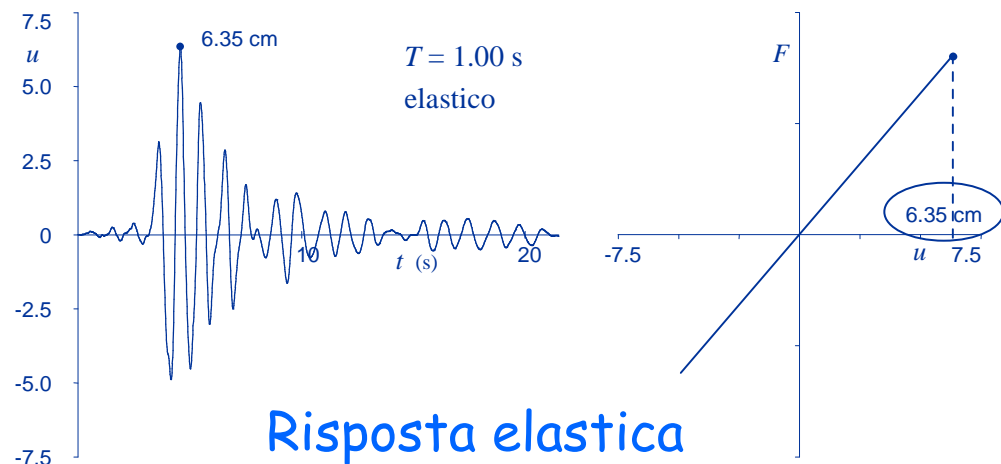
La resistenza può essere ridotta tanto da far coincidere la duttilità disponibile con quella richiesta



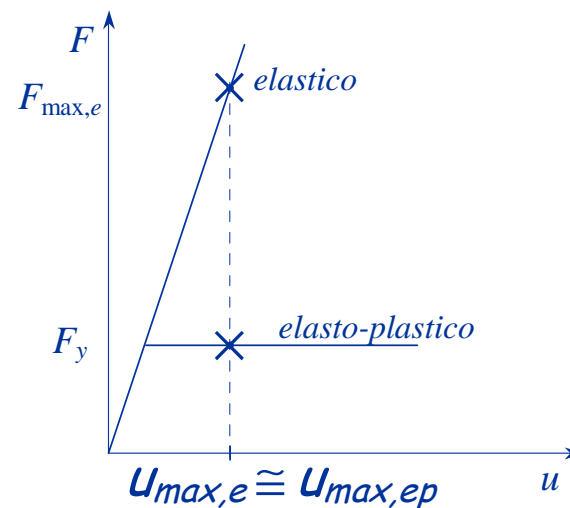
Ricordando che $F = m a$,
si può diagrammare in
funzione del periodo
l'accelerazione da usare
nel progetto,
per assegnati valori
della duttilità μ

Spettro di risposta a duttilità assegnata

Progettazione a duttilità assegnata



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

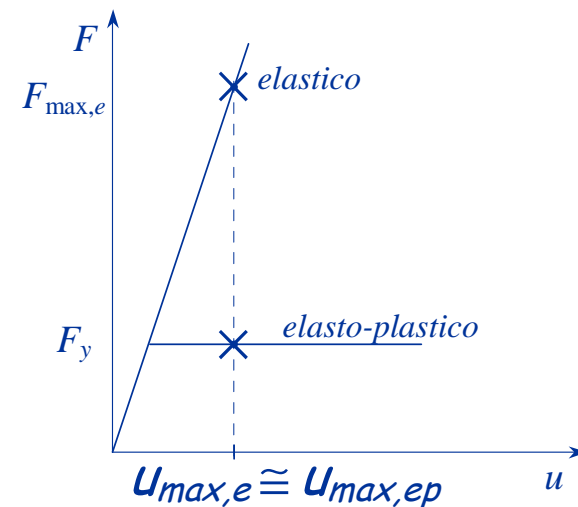
$F_{max,e}$

per la duttilità

μ

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

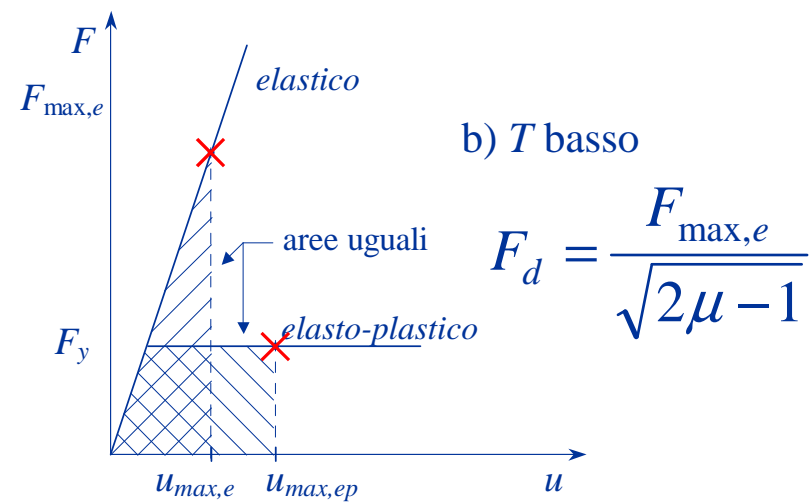
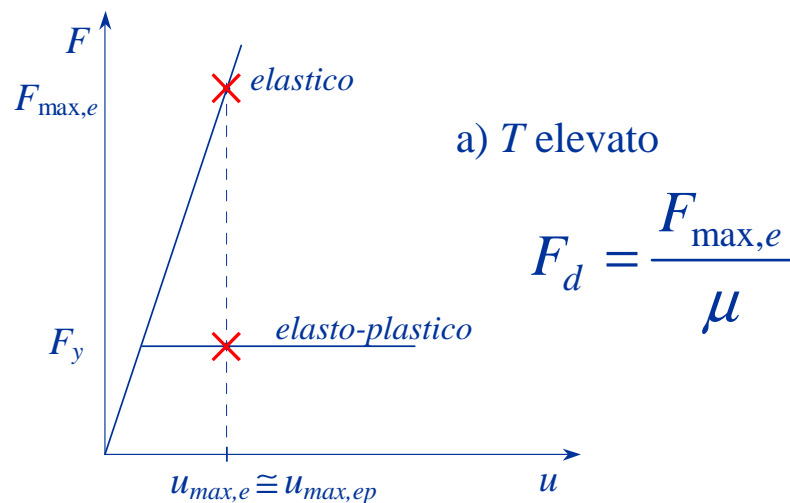
Le analisi numeriche
mostrano che lo
spostamento di
schemi elastici ed
elasto-plastici è più
o meno lo stesso



Progettazione a duttilità assegnata

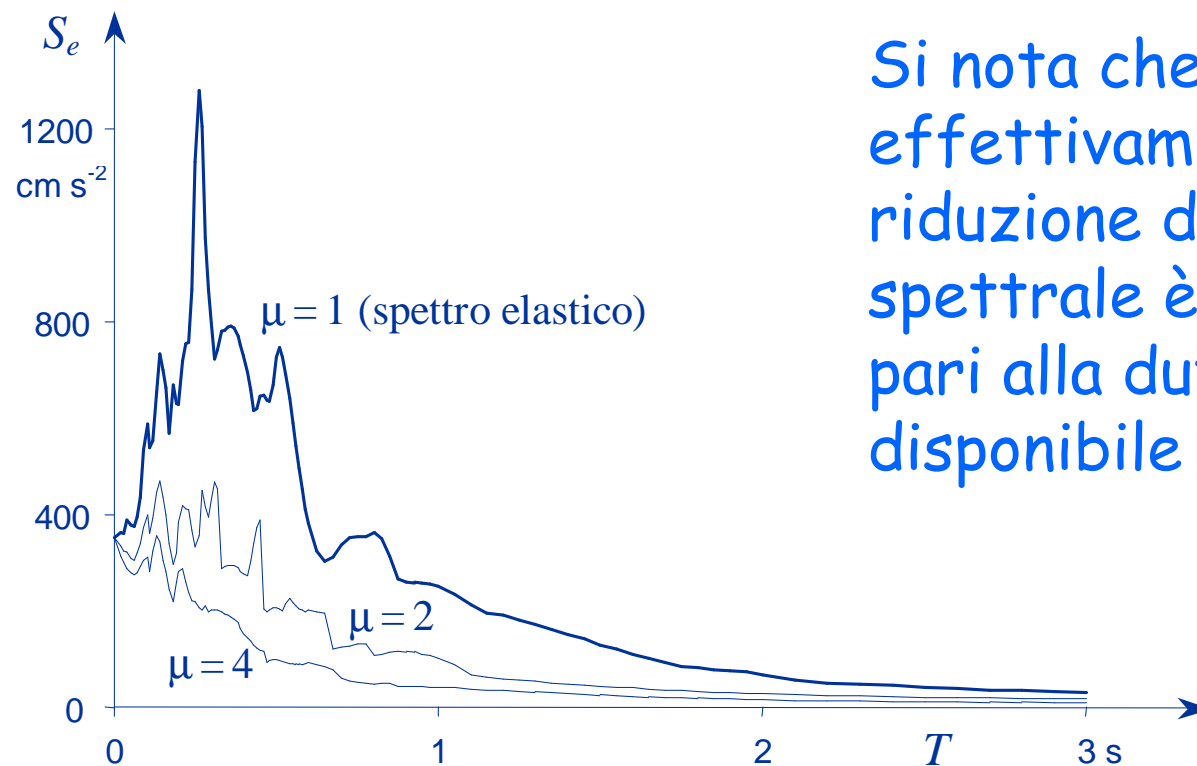
Il principio di uguaglianza di spostamenti vale solo
per strutture con periodo medio-alto

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



Progettazione a duttilità assegnata

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

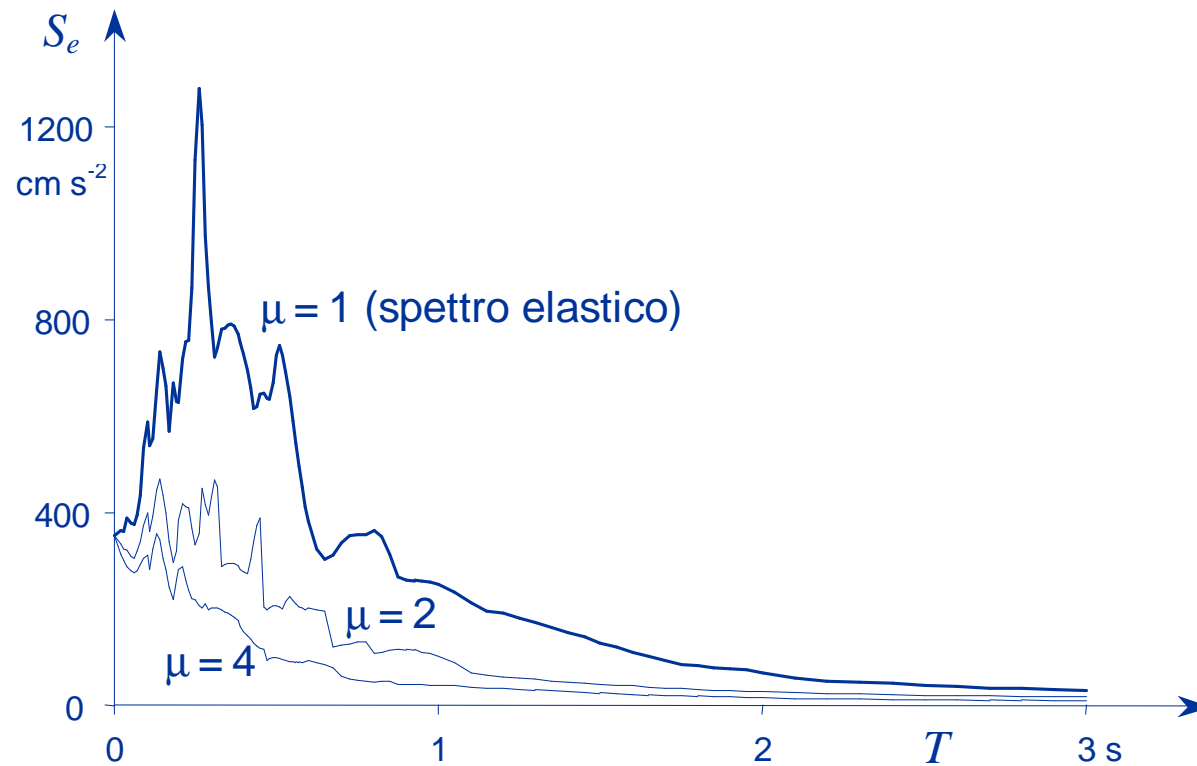


Si nota che
effettivamente la
riduzione dell'ordinata
spettrale è, più o meno,
pari alla duttilità
disponibile

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

