

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)

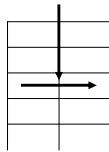
Le azioni inerziali (forze orizzontali indotte dal sisma) possono essere comparabili con le azioni verticali

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

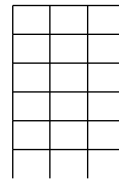
Azioni orizzontali comparabili con le azioni verticali

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

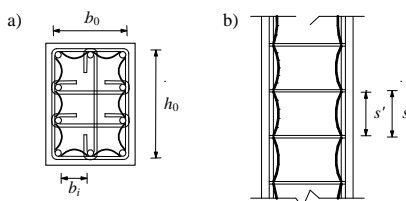


Legame momento-curvatura (M-x) per la sezione mediante modello a fibre

Modello per i materiali calcestruzzo

Problemi:

- Distinzione tra ricoprimento e nucleo confinato
- Efficacia del confinamento



Calcestruzzo

confinamento dovuto alle staffe

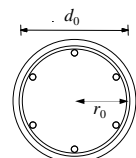
Staffe in una sezione circolare

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

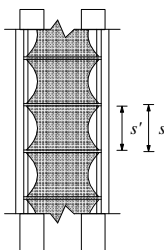
Staffe in una sezione circolare
Efficacia del confinamento

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

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

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



Calcestruzzo

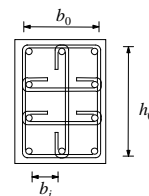
confinamento dovuto alle staffe

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



Calcestruzzo

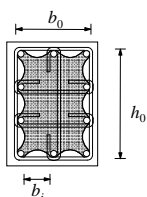
confinamento dovuto alle staffe

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

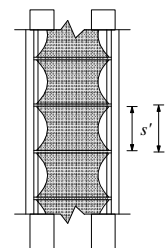
Staffe in una sezione rettangolare
Efficacia del confinamento

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

con $\alpha = \alpha_s \alpha_n$

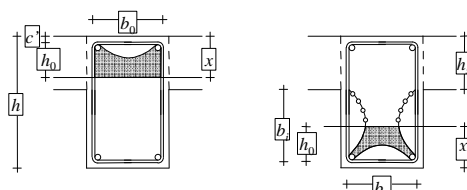


Calcestruzzo

confinamento dovuto alle staffe

Staffe in una trave a sezione rettangolare
Efficacia del confinamento

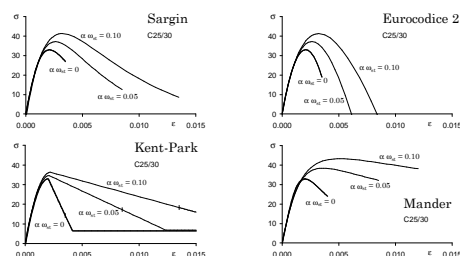
Nel valutare l'efficacia del confinamento bisogna tener conto di qual è la parte compressa e come viene confinata



Modello per i materiali calcestruzzo

Modelli:

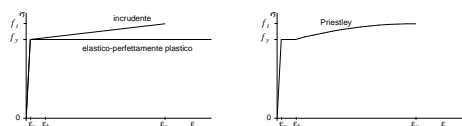
- Esistono numerose proposte, molto diverse



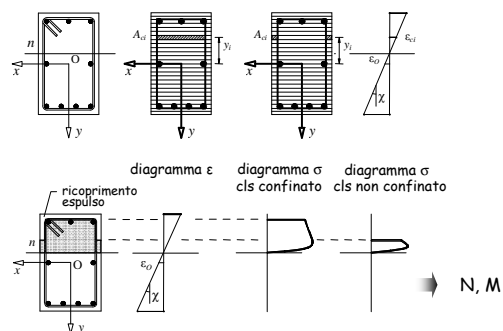
Modello per i materiali acciaio

Modelli:

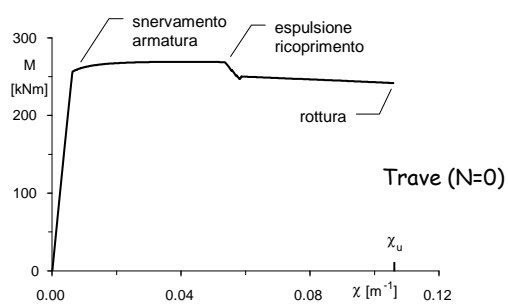
- Esistono alcune proposte, leggermente diverse



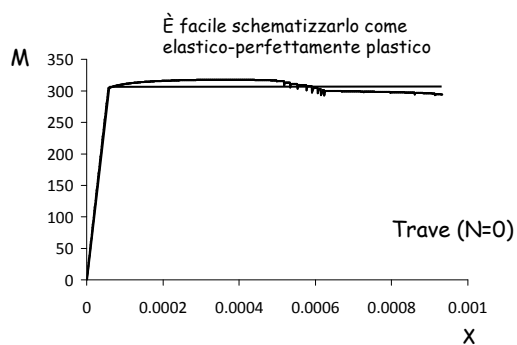
Legame momento-curvatura mediante modello a fibre



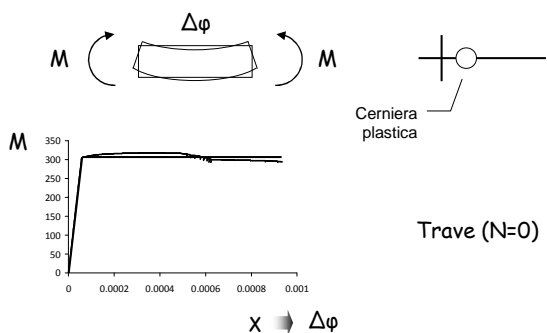
Legame momento-curvatura mediante modello a fibre



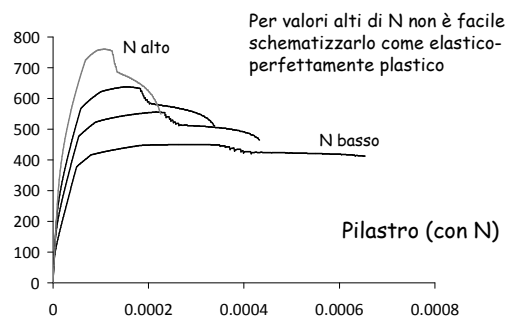
Legame momento-curvatura mediante modello a fibre



Cerniera plastica concio di trave



Legame momento-curvatura mediante modello a fibre

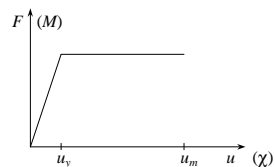


Risposta sismica

Schemi a un grado di libertà in campo plastico

Comportamento oltre il limite elastico

Legame elastico-perfettamente plastico

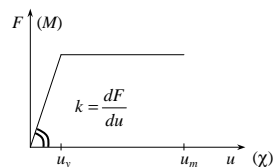


È caratterizzato da tre parametri fondamentali:

- Rigidezza
- Resistenza
- Duttilità

Comportamento oltre il limite elastico

Legame elastico-perfettamente plastico



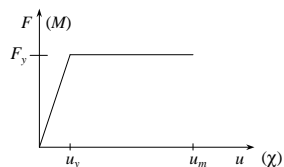
È caratterizzato da tre parametri fondamentali:

- Rigidezza
- Resistenza
- Duttilità

Rigidezza = inclinazione del diagramma

Comportamento oltre il limite elastico

Legame elastico-perfettamente plastico



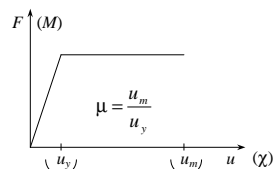
È caratterizzato da tre parametri fondamentali:

- Rigidezza
- Resistenza
- Duttilità

Resistenza = soglia di plasticizzazione

Comportamento oltre il limite elastico

Legame elastico-perfettamente plastico



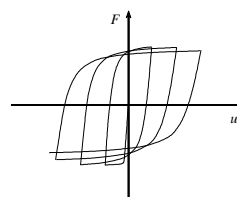
È caratterizzato da tre parametri fondamentali:

- Rigidezza
- Resistenza
- Duttilità

Duttilità = capacità di deformarsi plasticamente

Comportamento oltre il limite elastico

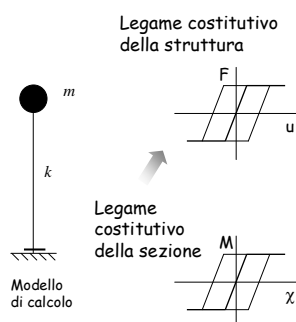
Per una valutazione della risposta sismica, occorre anche tener conto del comportamento ciclico, con i possibili degni di rigidezza e resistenza



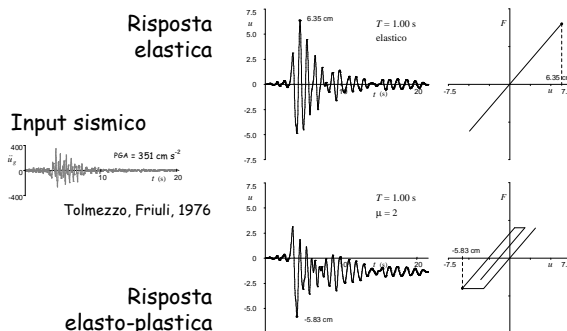
Risposta sismica di un oscillatore semplice elasto-plastico



Foto



Risposta sismica di un oscillatore semplice elasto-plastico

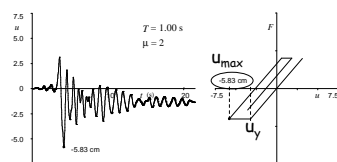


Richiesta di duttilità

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)

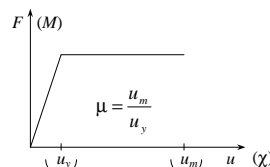
In genere, tanto minore è la resistenza tanto maggiore è la richiesta di duttilità

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

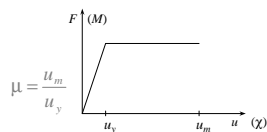
Progettazione a duttilità assegnata

- 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

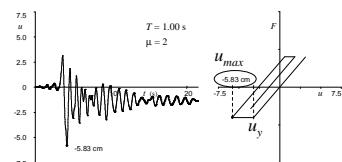
È possibile progettare la struttura con una forza ridotta, accettando la sua plasticizzazione, purché la duttilità disponibile



sia maggiore di quella richiesta

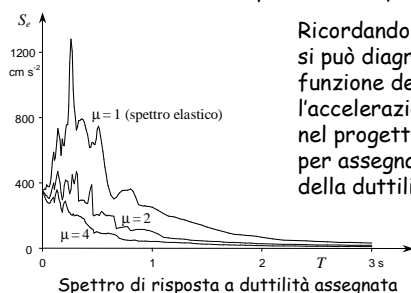
$$\mu = \frac{u_{max}}{u_y}$$

Risposta elasto-plastica



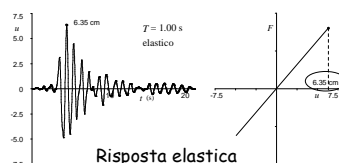
Progettazione a duttilità assegnata

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

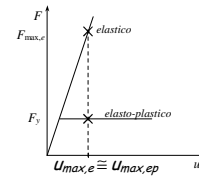
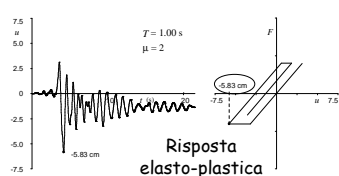


Ricordando che $F = m a$, si può diagrammare in funzione del periodo l'accelerazione da usare nel progetto, per assegnati valori della duttilità μ

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 la forza necessaria per mantenere la struttura in campo elastico per la duttilità

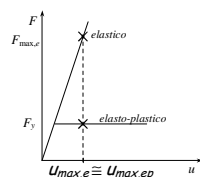
F_d

$F_{max,e}$

μ

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

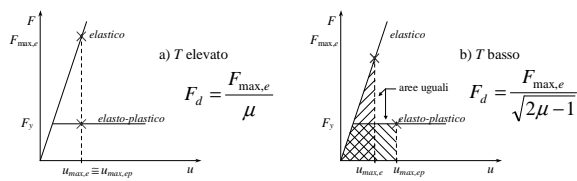
Le analisi numeriche mostrano che lo spostamento di schemi elastici ed elasto-plastici è più o meno lo stesso



Progettazione a duttilità assegnata

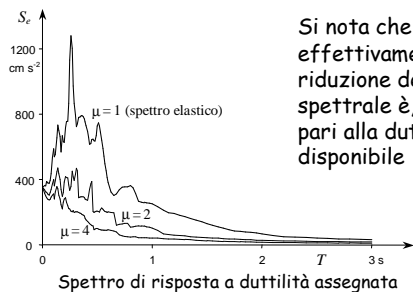
Il principio di uguaglianza di spostamenti vale solo per strutture con periodo medio-alto

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



Progettazione a duttilità assegnata

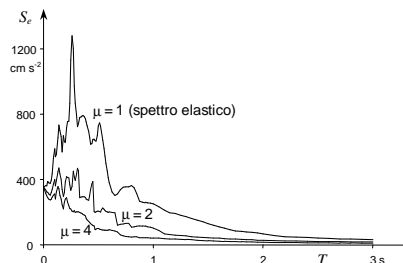
La resistenza può essere ridotta tanto da far coincidere la duttilità disponibile con quella richiesta



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

Spettri di progetto di normativa

Dagli spettri di risposta a duttilità assegnata



Spettri di progetto di normativa

Dagli spettri di risposta a duttilità assegnata

