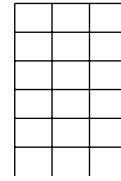


Valutazione della sicurezza e verifica sismica di edifici esistenti in c.a.

4b - Valutazione del comportamento (oltre il limite elastico)

Parma
21-23 giugno 2010
Aurelio Ghersi

Comportamento oltre il limite elastico



Modello per i materiali

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

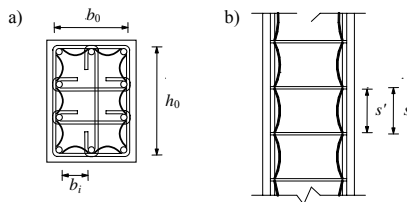
Modello di telaio con
cerniere plastiche

Modello di telaio
a fibre

Modello per i materiali calcestruzzo

Problemi:

- Distinzione tra ricoprimento e nucleo confinato
- Efficacia del confinamento



Calcestruzzo

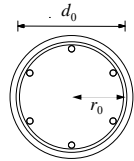
confinamento dovuto alle staffe

Staffe in una sezione circolare

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

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

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



Calcestruzzo

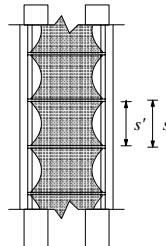
confinamento dovuto alle staffe

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

$$\alpha_s = \left(1 - \frac{s'}{3 d_0}\right)^2 \quad \text{quindi} \quad \sigma_{c,trasv} = 0.5 \alpha_s \omega_{st} f_c$$



Calcestruzzo

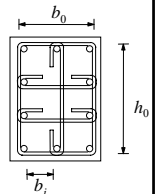
confinamento dovuto alle staffe

Staffe in una sezione rettangolare

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

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

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



Calcestruzzo

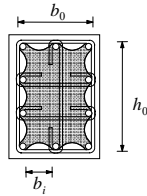
confinamento dovuto alle staffe

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

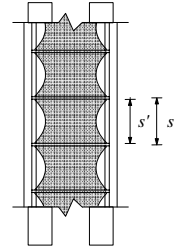
Staffe in una sezione rettangolare
Efficacia del confinamento

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

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

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

con $\alpha = \alpha_s \alpha_n$

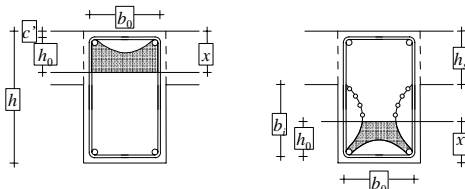


Calcestruzzo

confinamento dovuto alle staffe

Staffe in una trave a sezione rettangolare
Efficacia del confinamento

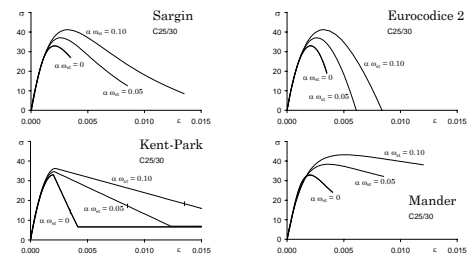
Nel valutare l'efficacia del confinamento bisogna tener conto di qual è la parte compressa e come viene confinata



Modello per i materiali calcestruzzo

Modelli:

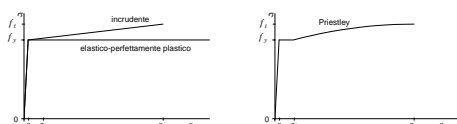
- Esistono numerose proposte, molto diverse



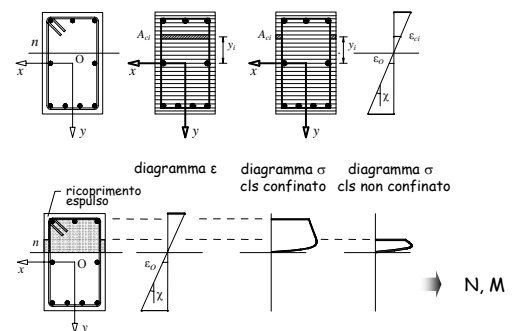
Modello per i materiali acciaio

Modelli:

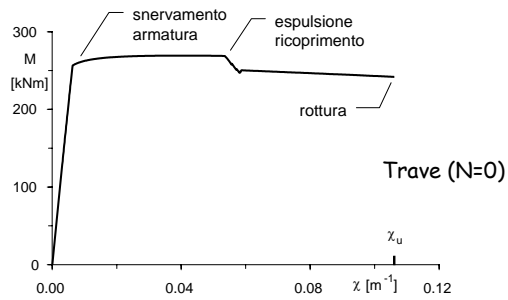
- Esistono alcune proposte, leggermente diverse



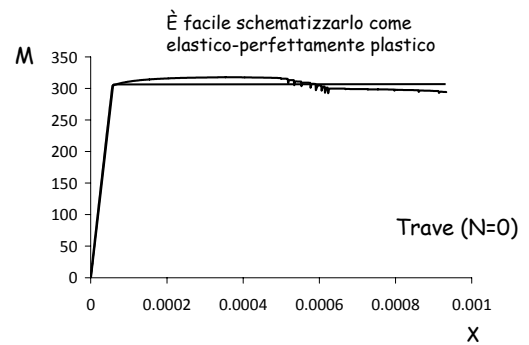
Legame momento-curvatura mediante modello a fibre



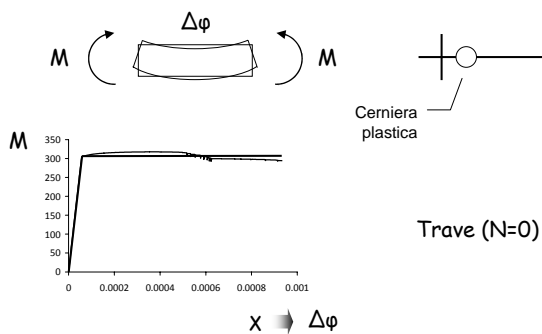
Legame momento-curvatura mediante modello a fibre



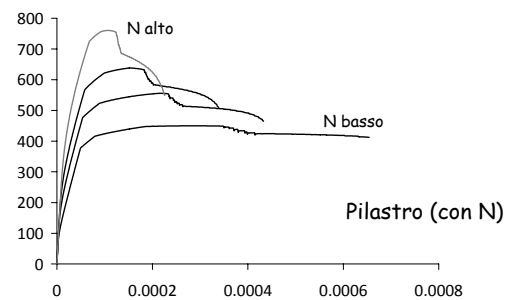
Legame momento-curvatura mediante modello a fibre



Cerniera plastica conco di trave



Legame momento-curvatura mediante modello a fibre

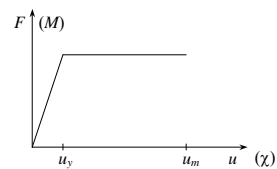


Risposta sismica

Schemi a un grado di libertà
in campo plastico

Comportamento oltre il limite elastico

Legame elastico-perfettamente plastico

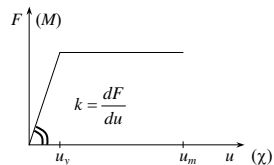


È caratterizzato da tre
parametri fondamentali:

- Rigidezza
- Resistenza
- Duttilità

Comportamento oltre il limite elastico

Legame elastico-perfettamente plastico



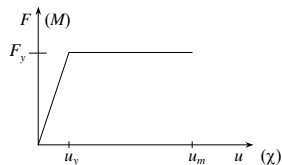
È caratterizzato da tre parametri fondamentali:

- Rigidezza
- Resistenza
- Duttilità

Rigidezza = inclinazione del diagramma

Comportamento oltre il limite elastico

Legame elastico-perfettamente plastico



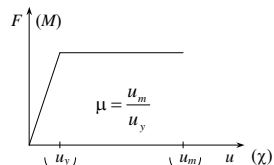
È caratterizzato da tre parametri fondamentali:

- Rigidezza
- Resistenza
- Duttilità

Resistenza = soglia di plasticizzazione

Comportamento oltre il limite elastico

Legame elastico-perfettamente plastico



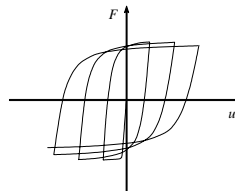
È caratterizzato da tre parametri fondamentali:

- Rigidezza
- Resistenza
- Duttilità

Duttilità = capacità di deformarsi plasticamente

Comportamento oltre il limite elastico

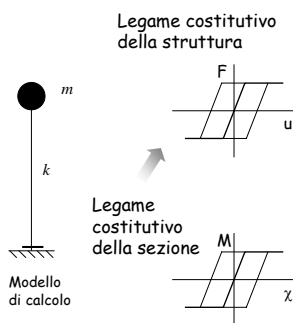
Per una valutazione della risposta sismica, occorre anche tener conto del comportamento ciclico, con i possibili degradi di rigidezza e resistenza



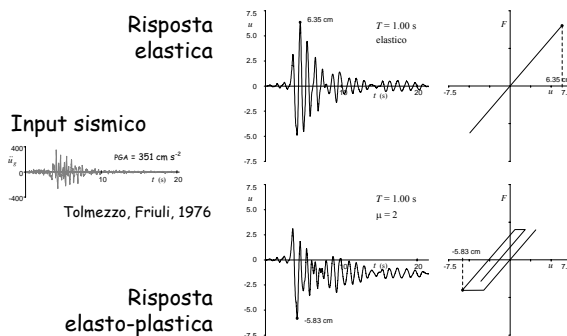
Risposta sismica di un oscillatore semplice elasto-plastico



Foto



Risposta sismica di un oscillatore semplice elasto-plastico

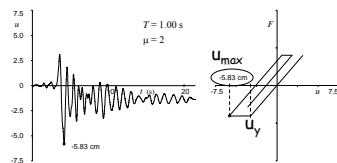


Richiesta di duttilità

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

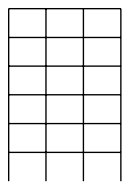
Risposta elasto-plastica



Risposta sismica

Schemi a più gradi di libertà in campo plastico

Comportamento oltre il limite elastico



Modello per i materiali

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

Modello di telaio con cerniere plastiche

Modello di telaio a fibre

Legame momento-curvatura mediante modello a fibre

Problemi (per i pilastri - telai piani)

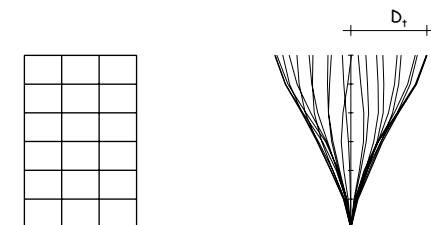
- Resistenza e duttilità variano con lo sforzo normale
- Se lo sforzo normale è alto:
 - È difficile schematizzare il legame con un a bilatera elastica-perfettamente plastica
 - C'è un ramo decrescente molto accentuato, con forte perdita di resistenza
 - La duttilità si riduce fortemente

Legame momento-curvatura mediante modello a fibre

Problemi (per i pilastri - telai spaziali)

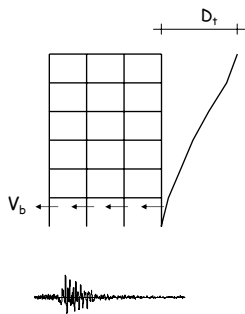
- Occorre tener conto della interazione tra N , M_x ed M_y
- La modellazione è difficile ed i risultati potrebbero non essere attendibili

Risposta dinamica inelastica



La struttura si deforma nel tempo
La forma della deformata varia nel tempo
Compaiono e scompaiono cerniere
L'analisi dinamica non lineare fornisce l'involuppo degli spostamenti

Risposta dinamica inelastica



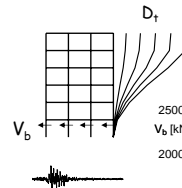
L'analisi dinamica non lineare fornisce i valori massimi di:

- Spostamenti
- Caratteristiche di sollecitazione
- Rotazioni plastiche

V_b taglio massimo al piede

L'analisi dinamica non lineare fornisce l'involuppo degli spostamenti

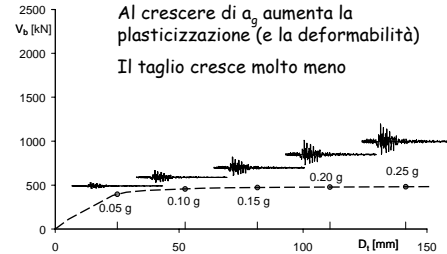
Risposta dinamica inelastica



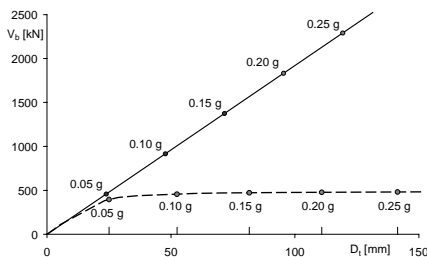
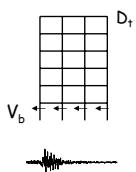
Al crescere di a_g tutto cresce ma non in proporzione

Al crescere di a_g aumenta la plasticizzazione (e la deformabilità)

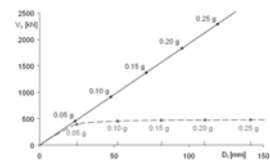
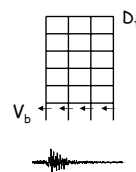
Il taglio cresce molto meno



Confronto tra risposta dinamica elastica e inelastica



Confronto tra risposta dinamica elastica e inelastica



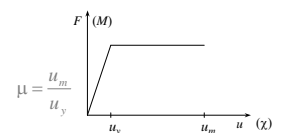
Si noti che gli spostamenti in testa, a parità di a_g , potrebbero non cambiare molto nei due casi (comportamento elastico e plastico)

Può però essere molto diversa la distribuzione di spostamenti lungo l'altezza

Alternative all'analisi dinamica inelastica

Progetto/verifica di strutture elasto-plastiche

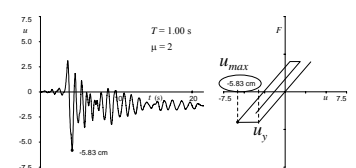
È possibile progettare la struttura con una forza ridotta, accettando la sua plasticizzazione, purché la duttilità disponibile



sia maggiore di quella richiesta

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

Risposta elasto-plastica



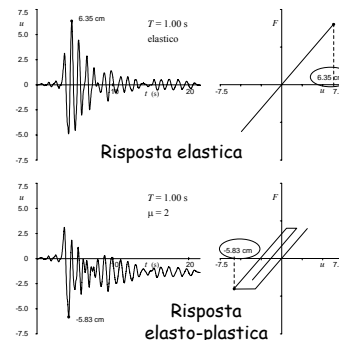
Progetto/verifica di strutture elasto-plastiche

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

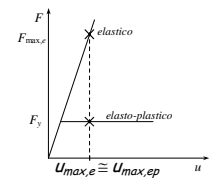


Ricordando che $F = m a$, si può diagrammare in funzione del periodo l'accelerazione da usare nel progetto, per assegnati valori della duttilità μ

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

$$F_d$$

la forza necessaria per mantenere la struttura in campo elastico

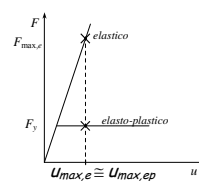
$$F_{max,e}$$

per la duttilità

$$\mu$$

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

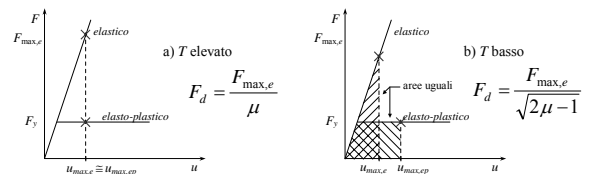
Le analisi numeriche mostrano che lo spostamento di schemi elastici ed elasto-plastici è più o meno lo stesso



Progettazione di strutture elasto-plastiche

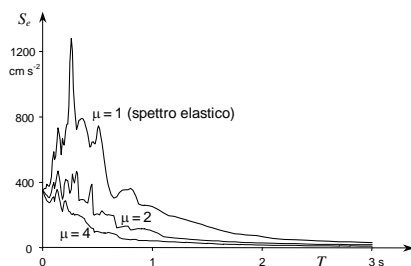
Il principio di uguaglianza di spostamenti vale solo per strutture con periodo medio-alto

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



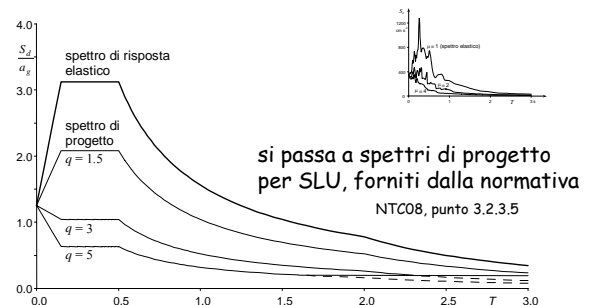
Spettri di progetto di normativa

Dagli spettri di risposta a duttilità assegnata



Spettri di progetto di normativa

Dagli spettri di risposta a duttilità assegnata

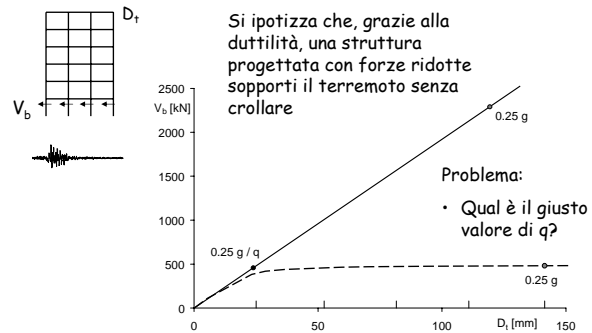


Progetto a duttilità assegnata

- 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.

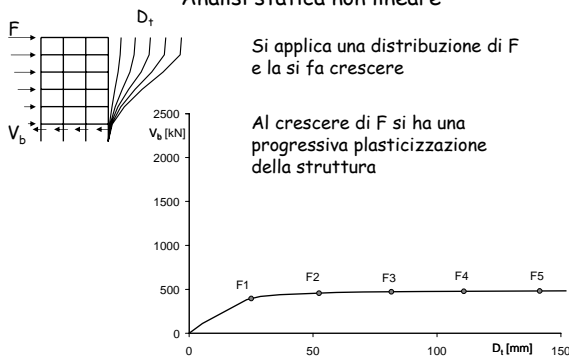
Alternative all'analisi dinamica inelastica

Analisi modale e riduzione con fattore di struttura q



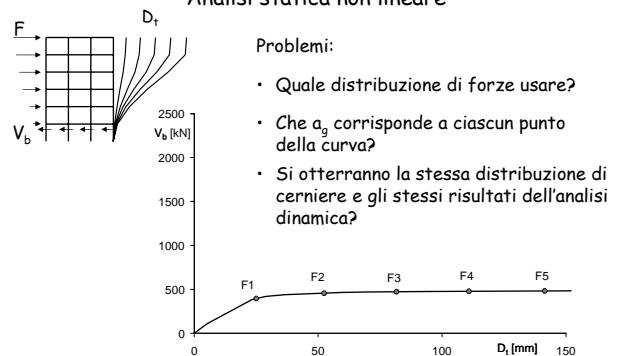
Alternative all'analisi dinamica inelastica

Analisi statica non lineare



Alternative all'analisi dinamica inelastica

Analisi statica non lineare



Collasso di un edificio

- Rottura fragile: rottura a taglio delle sezioni di pilastri e travi, rotture a taglio dei nodi, scorrimento tra testa pilastro e trave in corrispondenza alle riprese di getto
- Rottura per esaurimento della duttilità: estese plasticizzazioni agli estremi delle aste, fino al raggiungimento della rotazione ultima di una sezione

Rottura fragile

- Edifici antisismici di nuova progettazione: la rottura fragile viene evitata con il criterio di gerarchia delle resistenze (gerarchia taglio-flessione)
 - Edifici esistenti: il rischio di rottura fragile è forte la rottura spesso avviene già per bassi valori di a_g
- Si può verificare in termini di resistenza, con analisi lineare, senza fattore di struttura (q con valore molto basso)

Rottura per esaurimento della duttilità

- Edifici antisismici di nuova progettazione:
una richiesta eccessiva di duttilità viene evitata con
il criterio di gerarchia delle resistenze
(gerarchia pilastro-trave, per evitare meccanismi di
piano)
- Edifici esistenti:
potrebbero esserci meccanismi di piano che fanno
esaurire presto la duttilità
Si può verificare in termini di resistenza,
con analisi lineare, con basso fattore di struttura
Oppure in termini di deformazioni,
con analisi lineare o non lineare