

Dalla dinamica alla normativa sismica

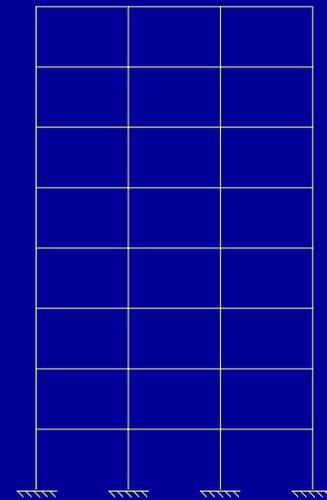
Sistemi a più gradi di libertà:
studio del comportamento non-lineare

Caltagirone, 6 aprile 2004

Bruno Biondi

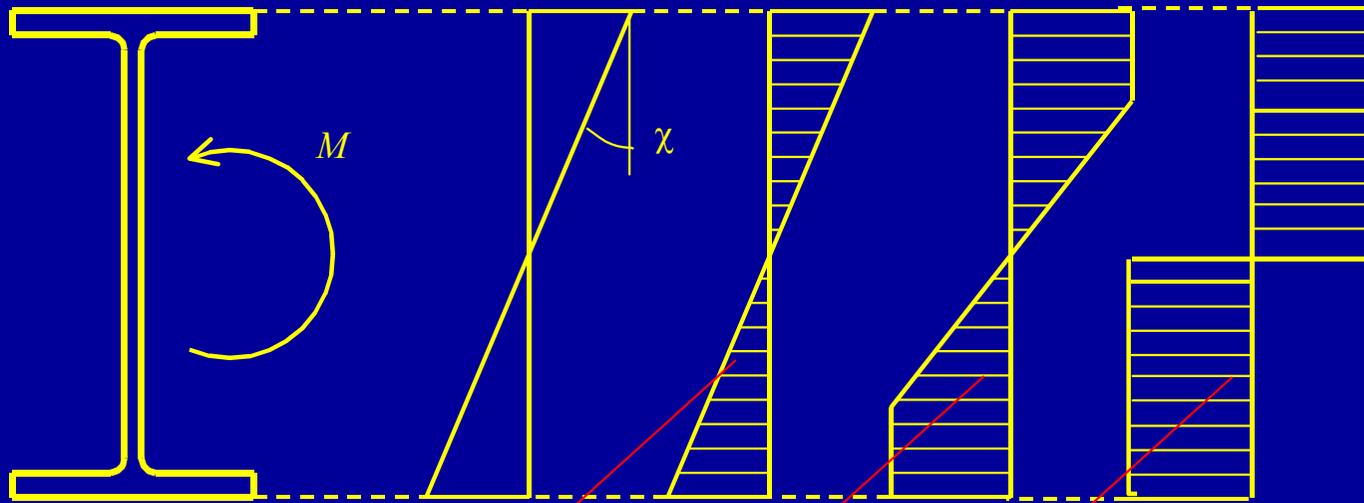
Dalla sezione alla struttura

Per schemi a più gradi di libertà



il passaggio tra comportamento della sezione e comportamento globale è molto più complesso

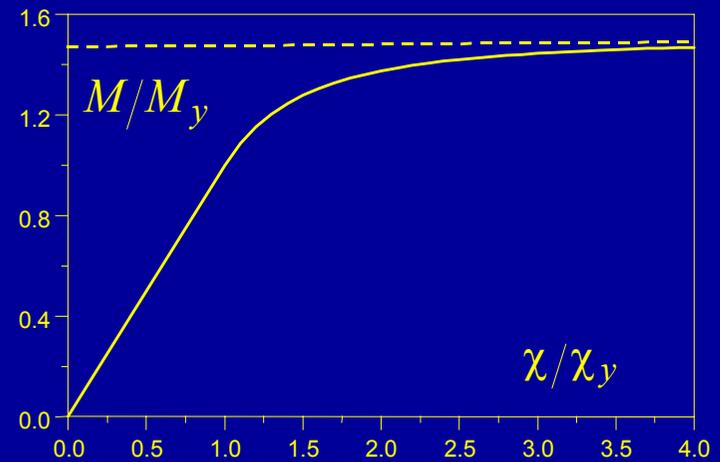
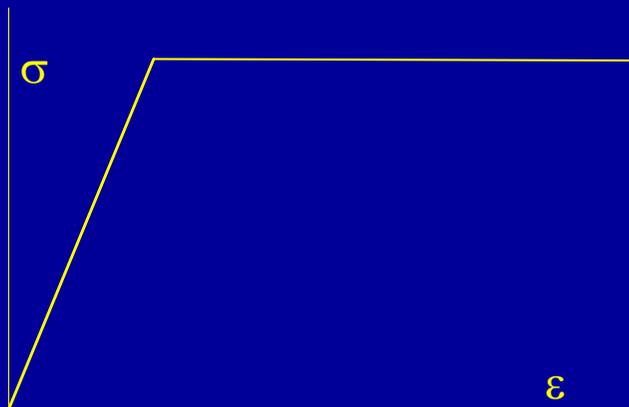
Dalla sezione alla struttura



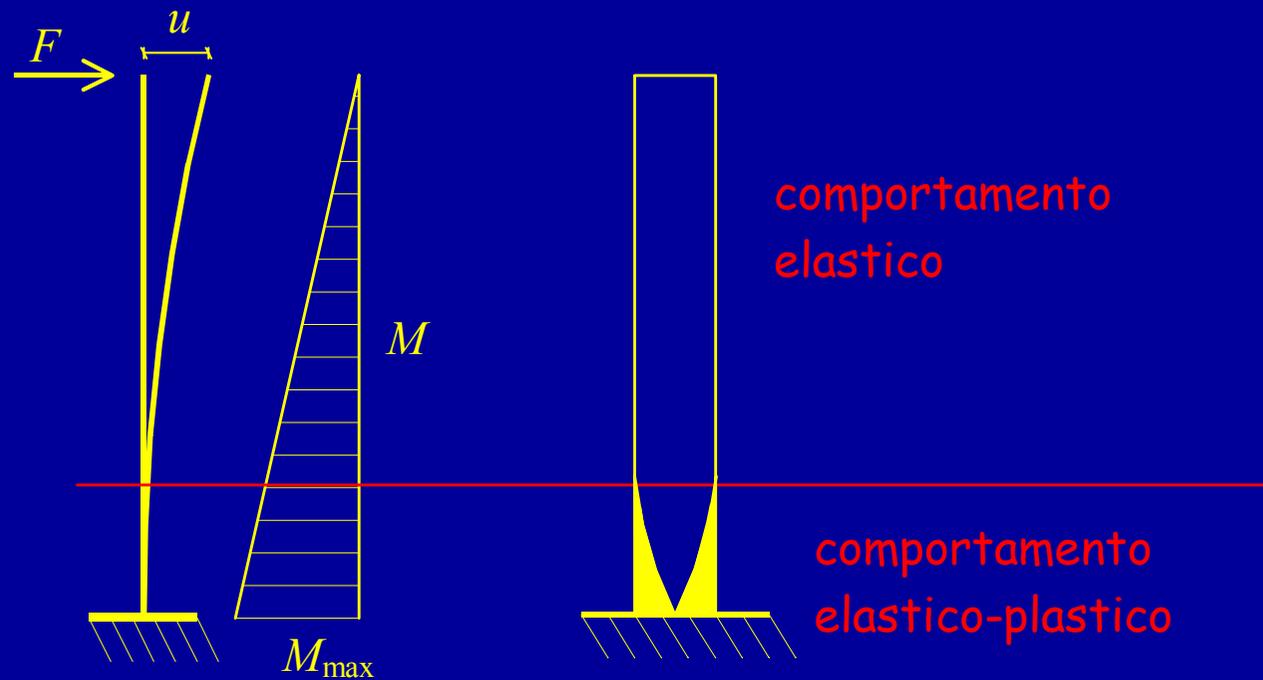
*comportamento
elastico lineare*

*comportamento
non - lineare*

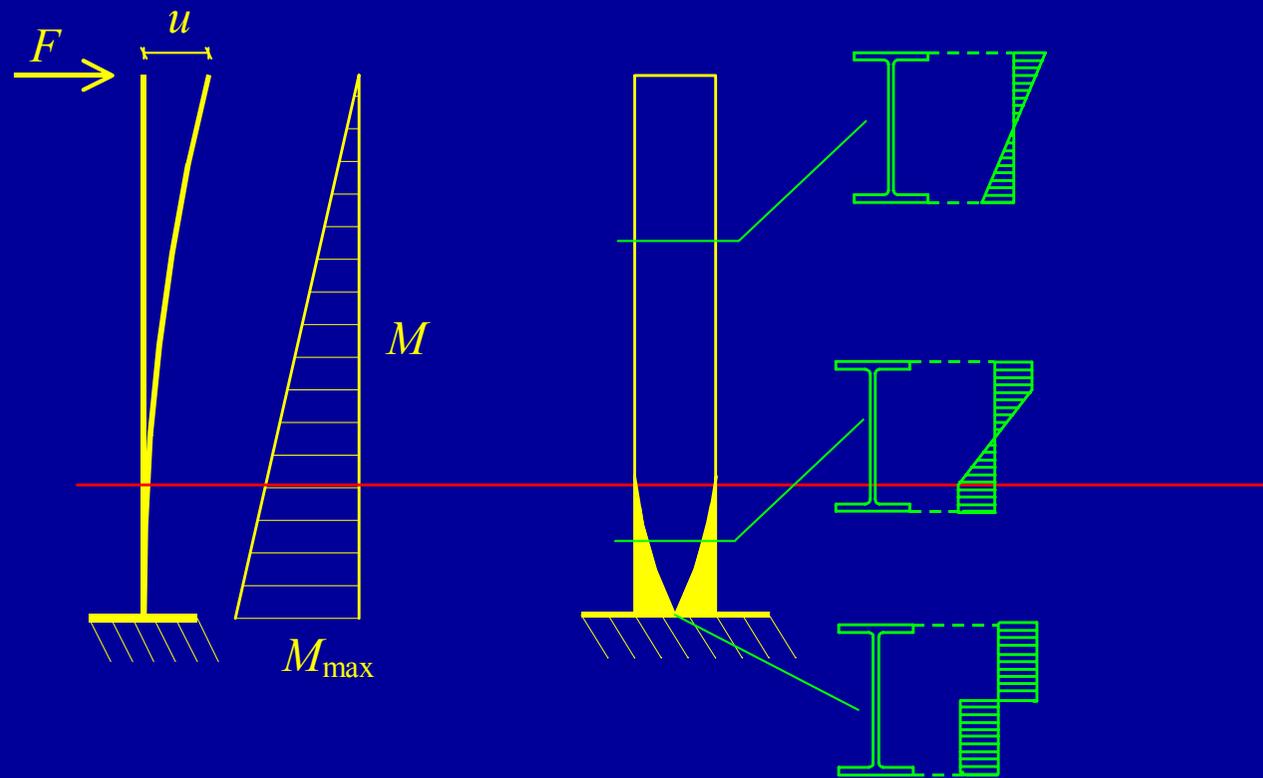
*completa
plasticizzazione ($M=M_p$)*



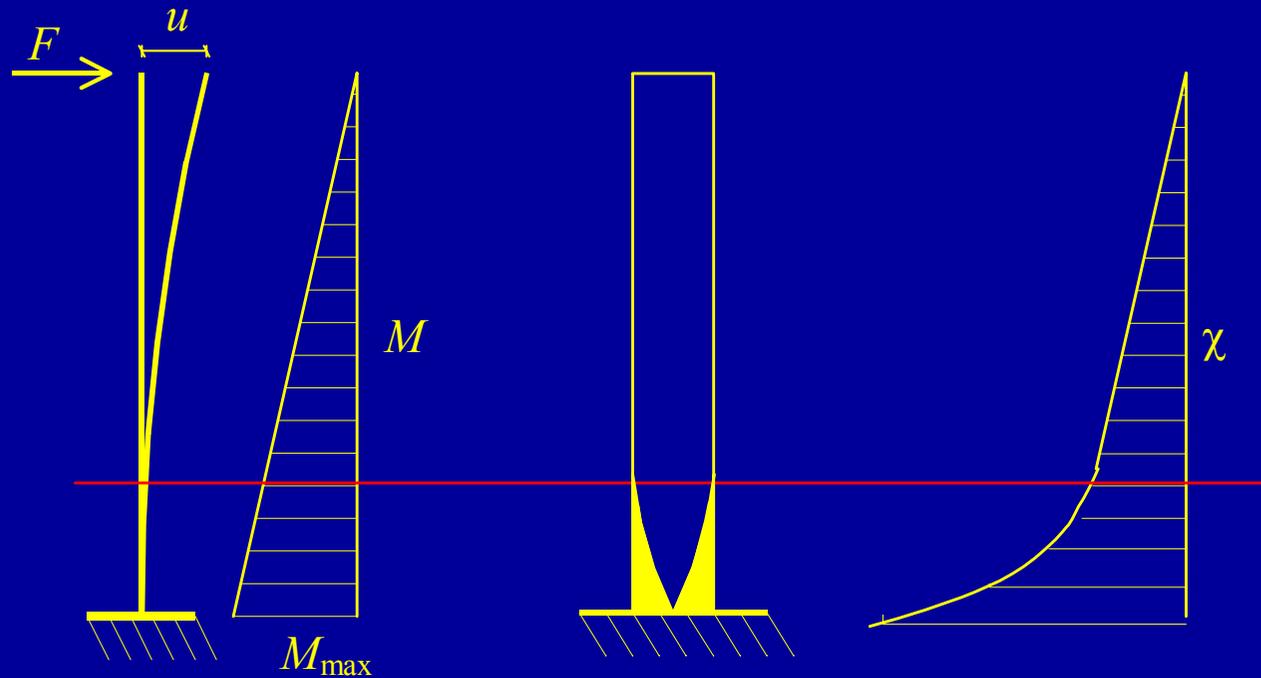
Dalla sezione alla struttura



Dalla sezione alla struttura

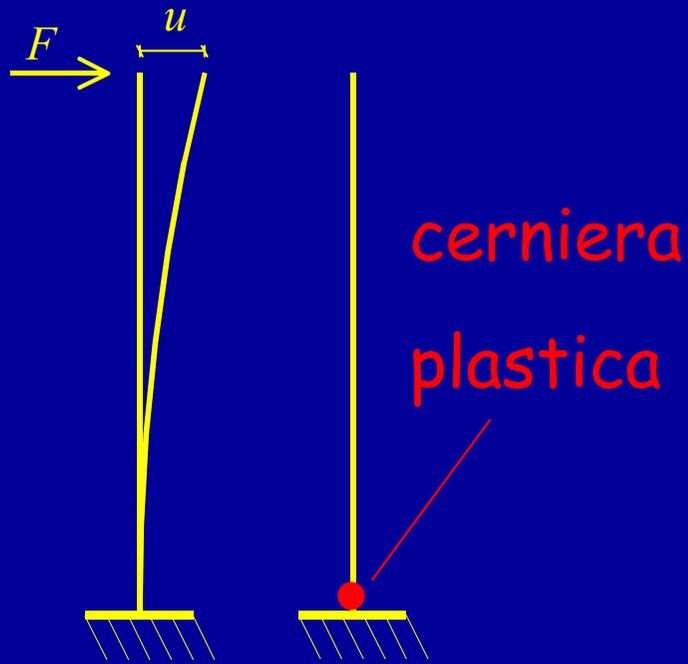


Dalla sezione alla struttura



in prossimità dell'incastro la curvatura cresce tanto da poter supporre l'elemento come rigido ed incernierato all'estremo

Dalla sezione alla struttura

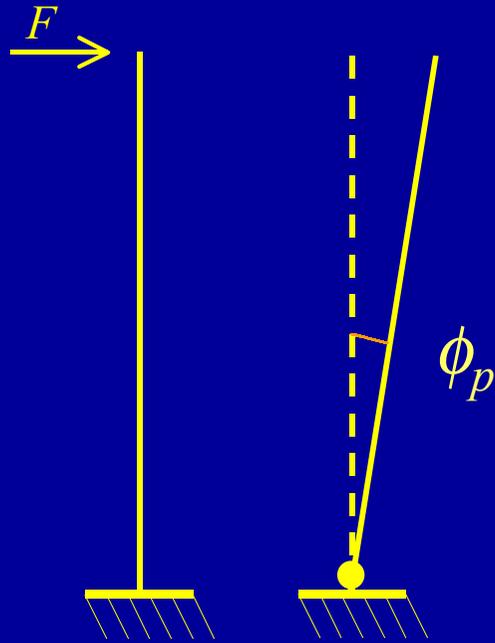


l'asta ha comportamento elastico fino alla formazione della cerniera plastica

(modello a plasticità concentrata)

in prossimità dell'incastro la curvatura cresce tanto da poter supporre l'elemento come rigido ed incernierato all'estremo

Dalla sezione alla struttura

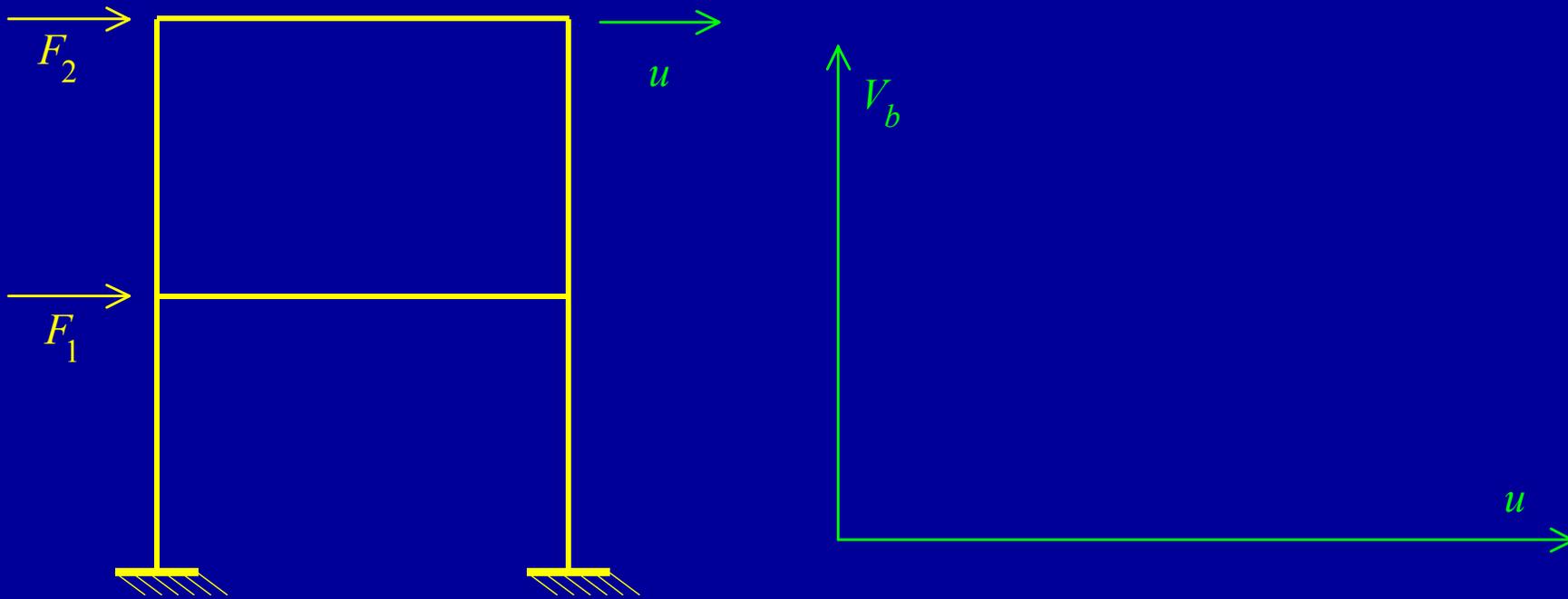


l'asta ha comportamento elastico fino alla formazione della cerniera plastica

(modello a plasticità concentrata)

nella cerniera plastica il momento si mantiene costante e nascono rotazioni plastiche

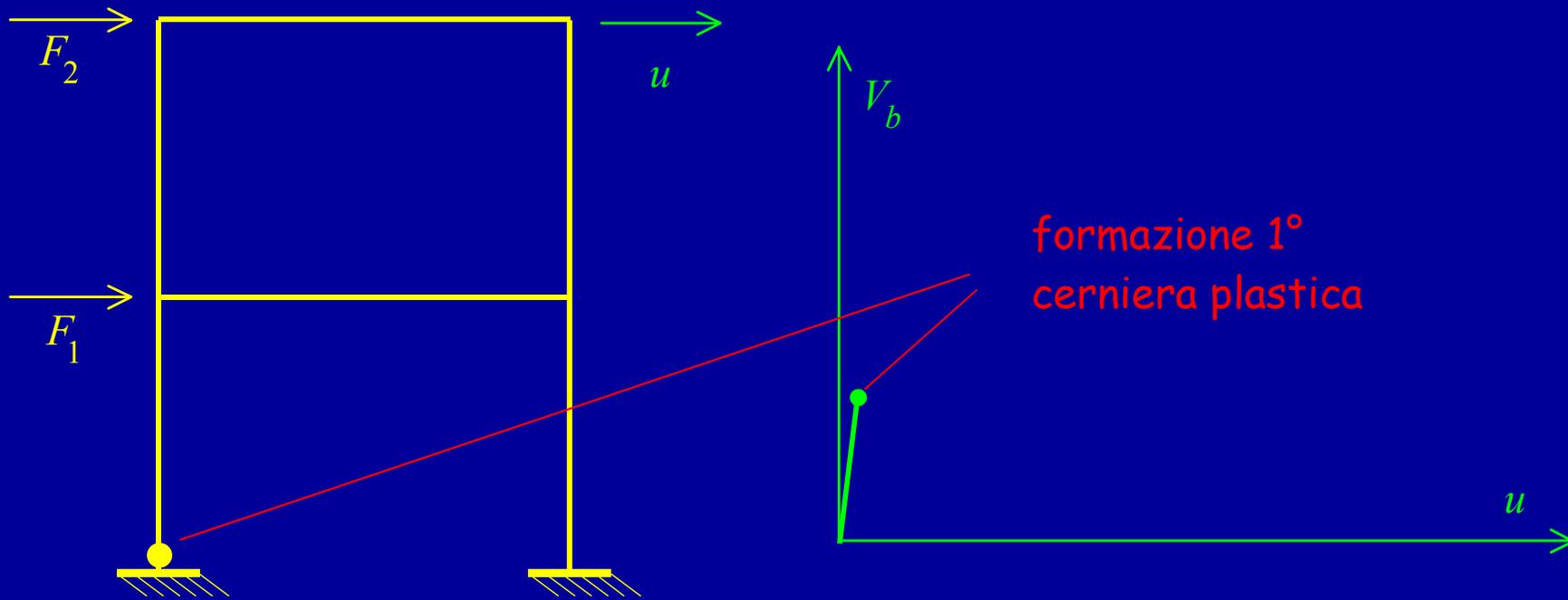
Duttività di sistemi intelaiati



si costruisce un legame costitutivo rappresentativo del comportamento del sistema al crescere delle forze

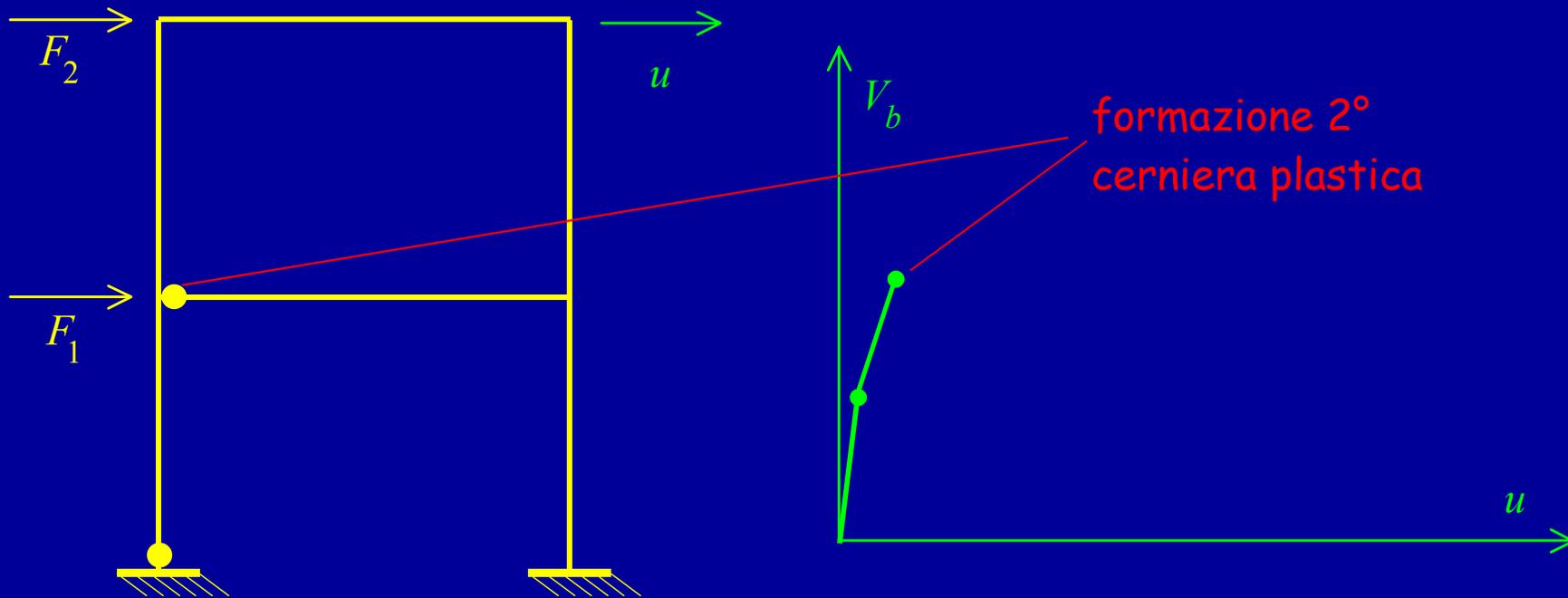
ad esempio il legame taglio alla base $V_b = F_1 + F_2$ - spostamento in testa u

Duttività di sistemi intelaiati



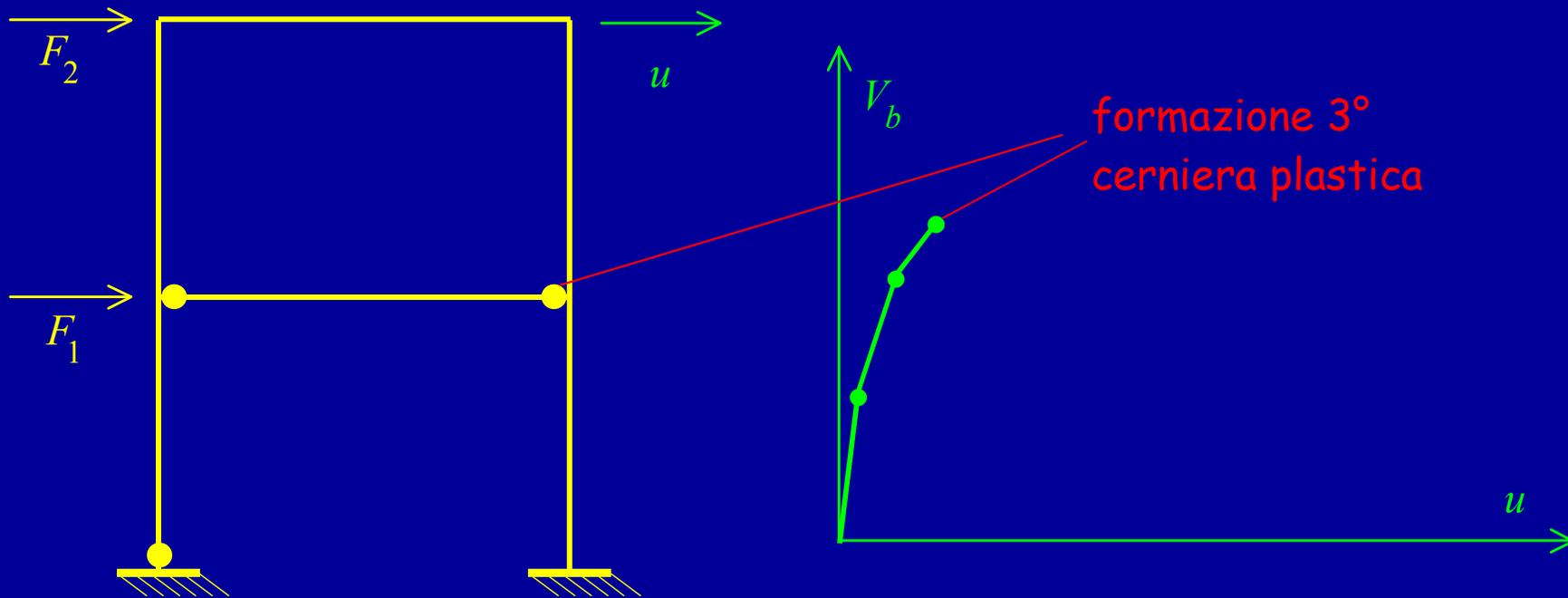
Al crescere delle forze nel sistema si formano una serie di cerniere plastiche nelle sezioni delle aste

Duttività di sistemi intelaiati



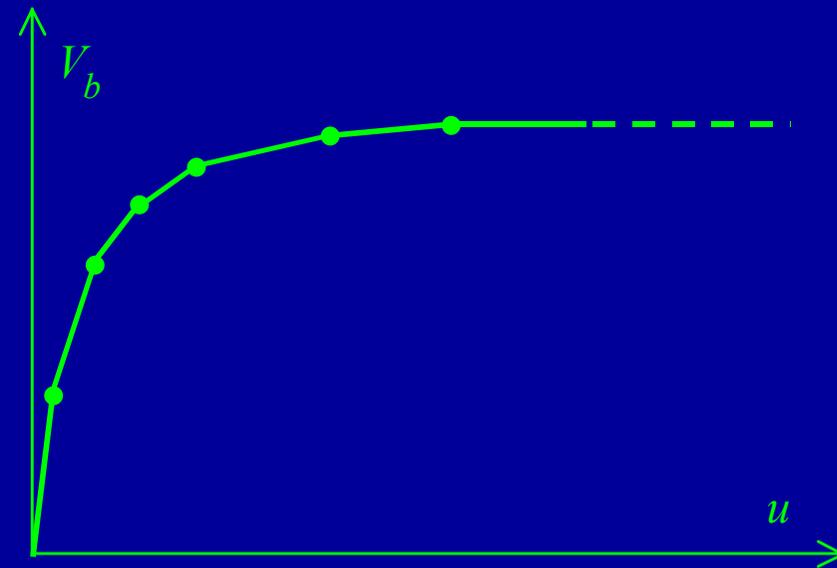
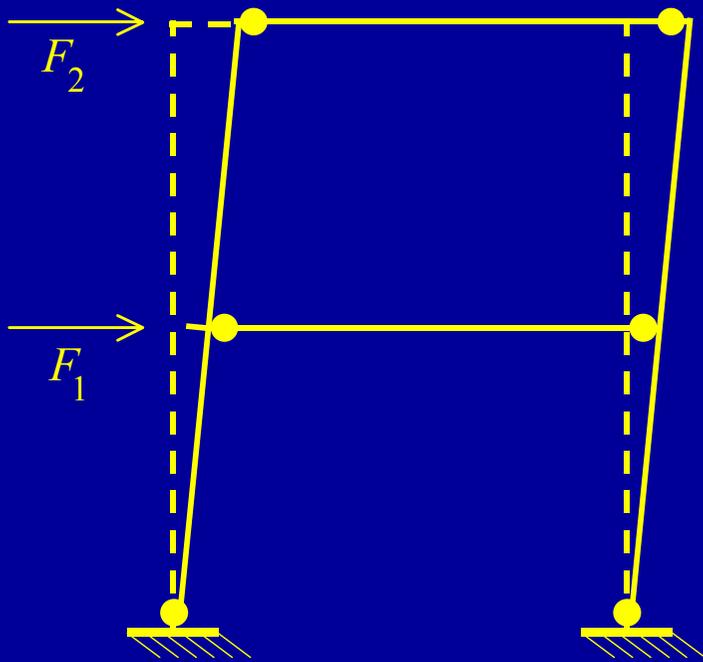
Al crescere delle forze nel sistema si formano una serie di cerniere plastiche nelle sezioni delle aste

Duttività di sistemi intelaiati



Al crescere delle forze nel sistema si formano una serie di cerniere plastiche nelle sezioni delle aste

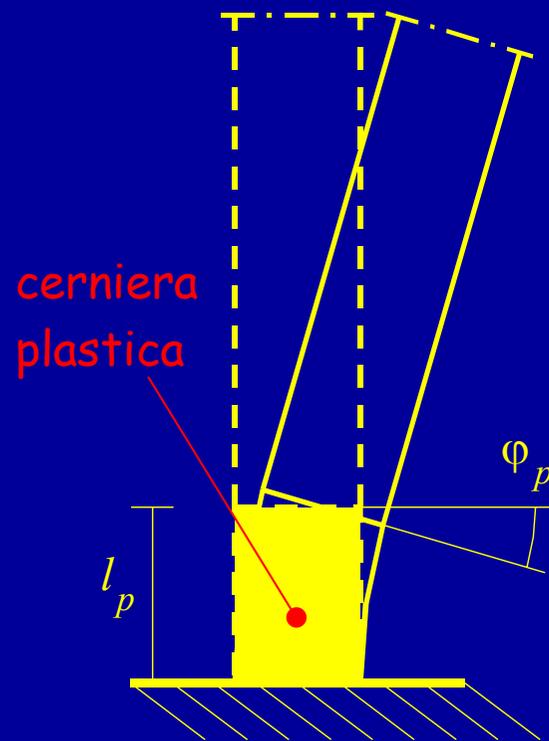
Duttività di sistemi intelaiati



Al crescere delle forze nel sistema si formano una serie di cerniere plastiche nelle sezioni delle aste fino a quando il sistema si trasforma in un meccanismo

Duttività di sistemi intelaiati

La crisi si raggiunge per eccesso di rotazione plastica in una sezione



$$\varphi_p > \varphi_{p,u}$$

$$\varphi_{p,u} = (\chi_u - \chi_y) l_p = (\mu_\chi - 1) \chi_y l_p$$

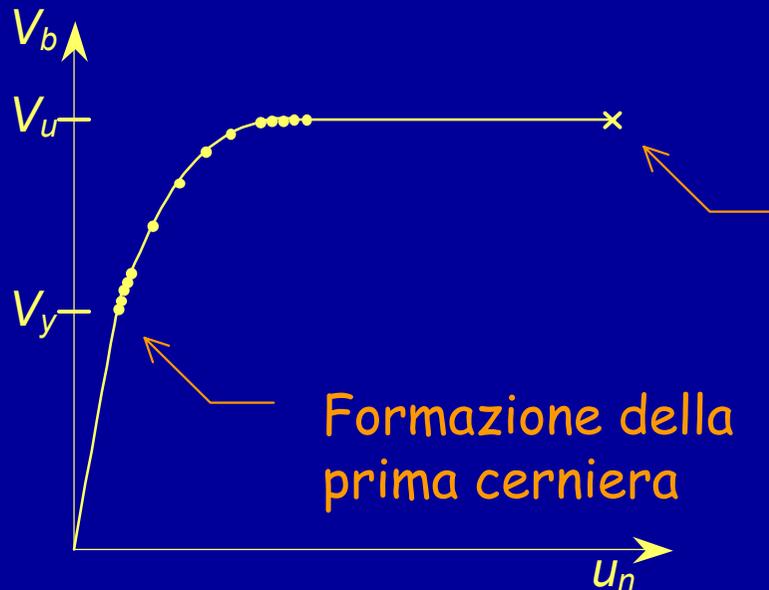
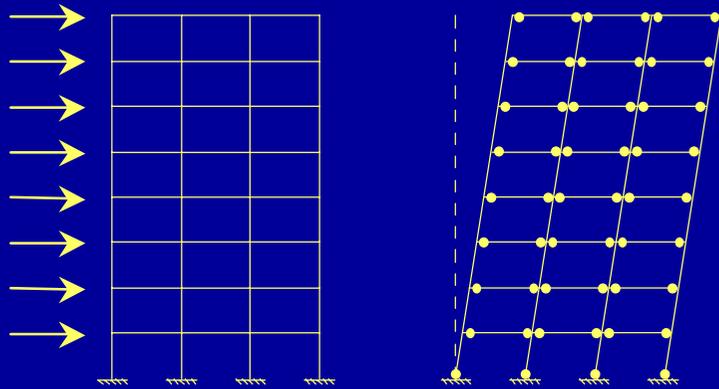
l_p = lunghezza cerniera plastica

χ_u = curvatura ultima sezione

χ_y = curvatura limite elastico sezione

μ_χ = duttilità alla curvatura sezione

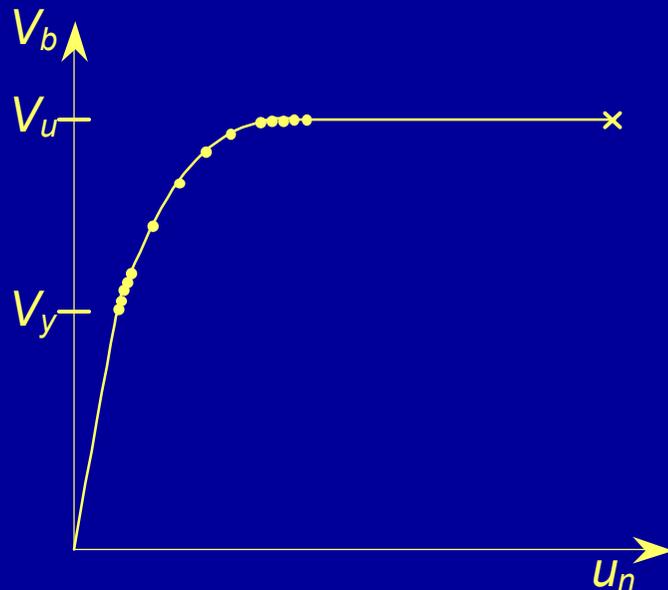
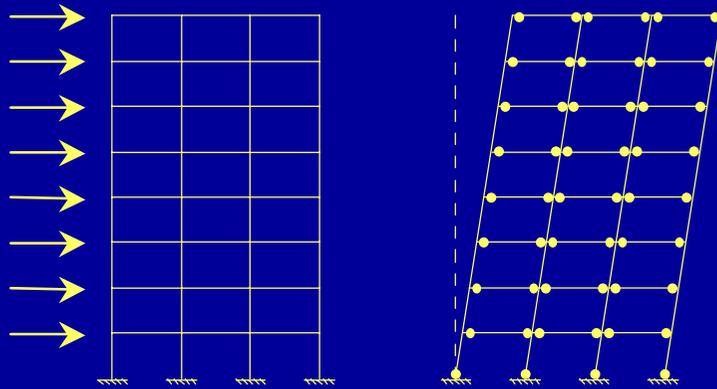
Meccanismi di collasso per schemi multipiano



Collasso (rottura di una sezione)

Formazione della prima cerniera

Meccanismi di collasso per schemi multipiano



Notare:

Buon incremento della forza da prima plasticizzazione a collasso

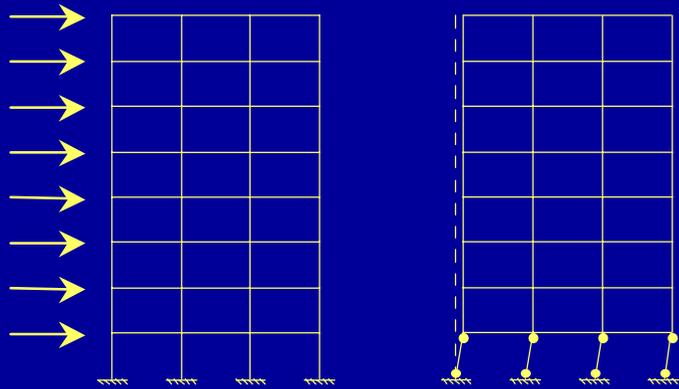
Forti spostamenti a collasso = elevata duttilità globale

Elevato numero di cerniere plastiche = elevata dissipazione di energia

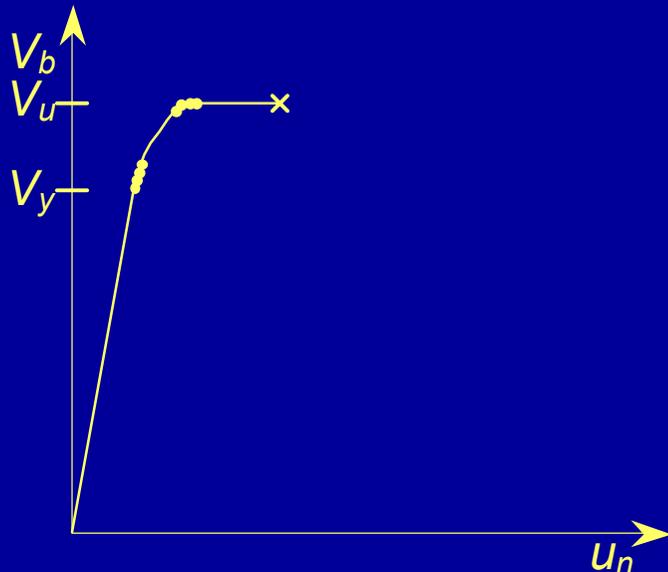
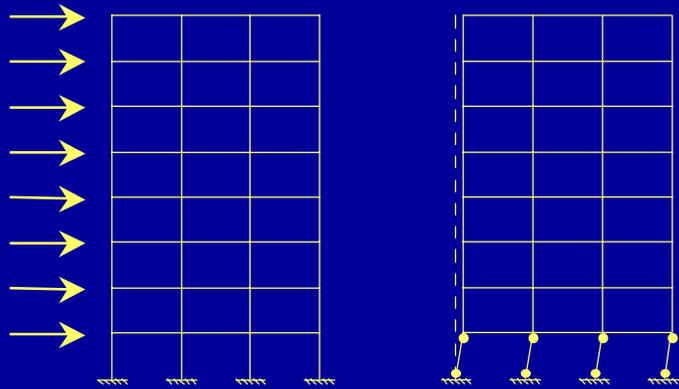
Cerniere plastiche principalmente sulle travi

Modalità di collasso:
globale

Meccanismi di collasso per schemi multipiano



Meccanismi di collasso per schemi multipiano



Notare:

Basso incremento della forza da prima plasticizzazione a collasso

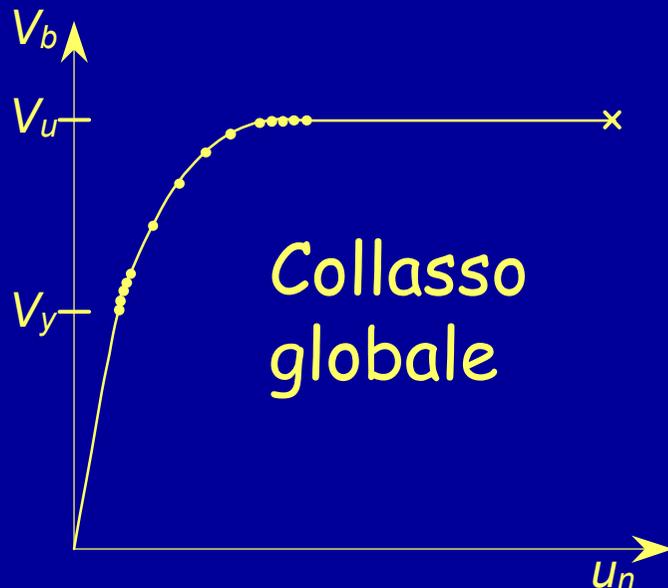
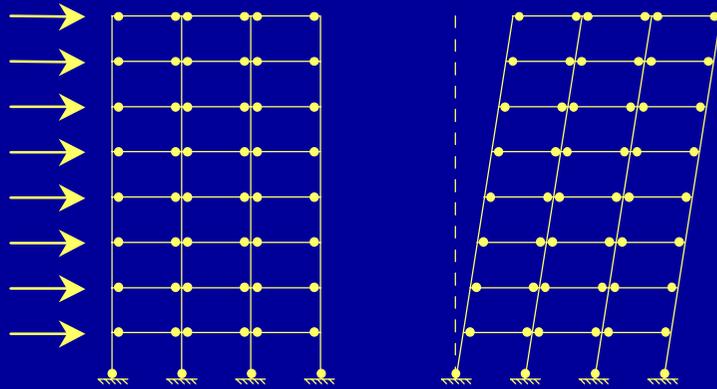
Modesti spostamenti a collasso = ridotta duttilità globale

Ridotto numero di cerniere plastiche = bassa dissipazione di energia

Cerniere plastiche sui pilastri

Modalità di collasso:
di piano

Meccanismi di collasso per schemi multipiano



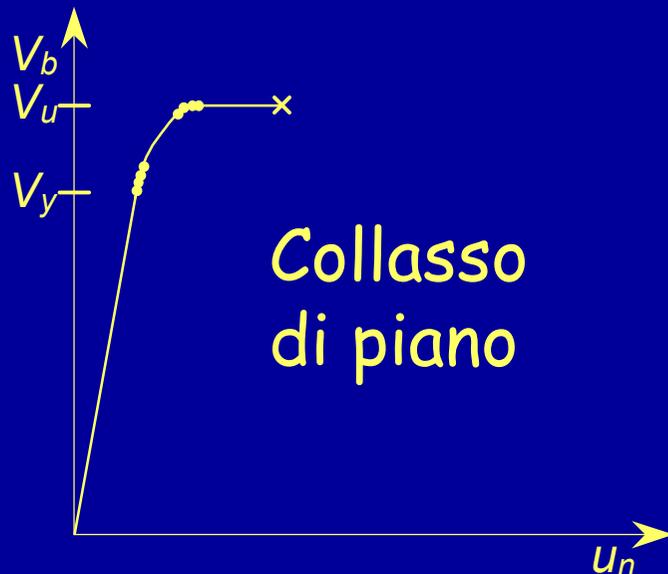
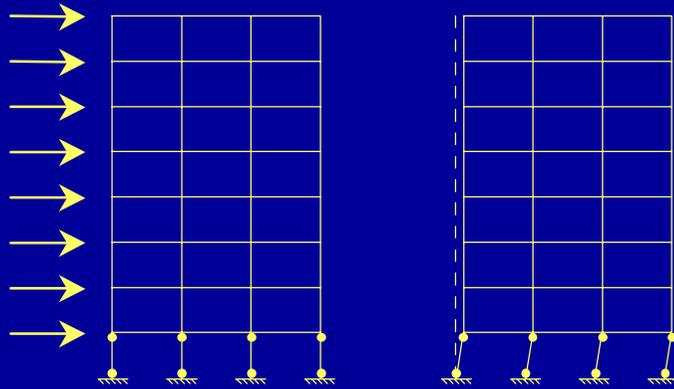
Duttilità disponibile

$$\mu_u \approx 1 + 2 \left(\mu_\chi^{(t)} - 1 \right) \frac{\chi_y^{(t)}}{\chi_y^{(p)}}$$

dipende dalla duttilità $\mu_\chi^{(t)}$ delle travi (elevata)

è tanto maggiore quanto più i pilastri sono rigidi rispetto alle travi

Meccanismi di collasso per schemi multipiano



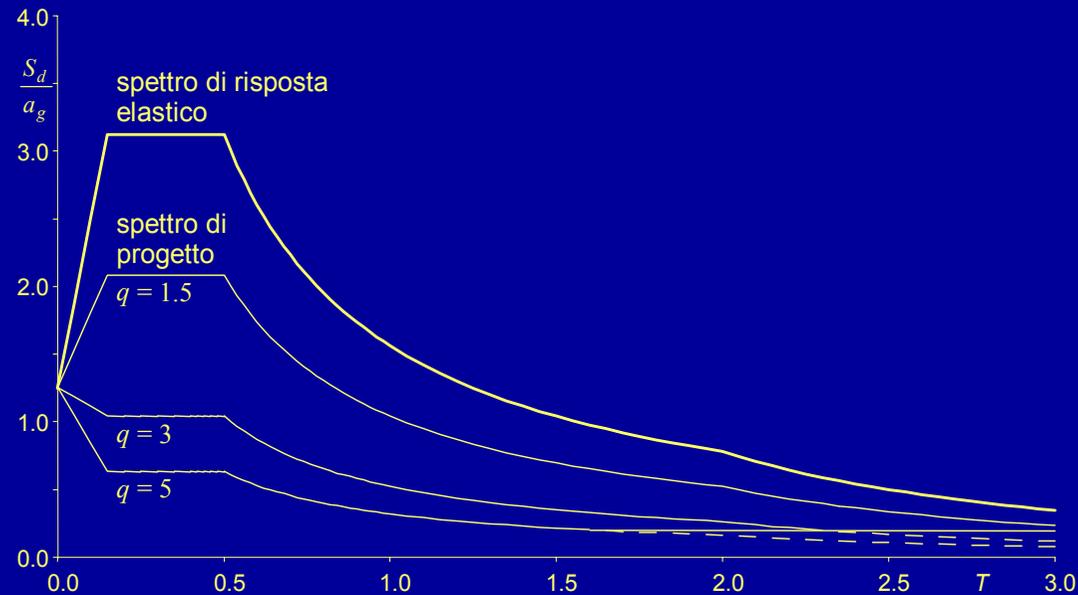
$$\mu_u \approx 1 + \frac{1}{N} (\mu_\chi^{(p)} - 1)$$

dipende dalla duttilità $\mu_\chi^{(p)}$ dei pilastri (modesta)
decrece al crescere del numero dei piani

Per avere alta duttilità occorre un collasso globale

Fattore di struttura

Le ordinate dello spettro di progetto sono ottenute dividendo quelle dello spettro di risposta elastica per il fattore di struttura q



Il fattore di struttura tiene conto della duttilità delle sezioni ma anche del comportamento globale della struttura

Fattore di struttura (edifici in cemento armato)

$$q = q_0 K_D K_R$$

Dipende da:

- Tipologia strutturale

- Duttilità locale

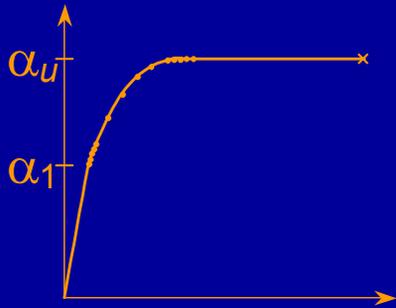
- Regolarità in altezza



Tipologia strutturale (edifici in cemento armato)

	q_0
Struttura a telaio	4.5 α_u / α_1
Struttura a pareti	4.0 α_u / α_1
Struttura mista telai-pareti	4.0 α_u / α_1
Struttura a nucleo	3.0

Tipologia strutturale (edifici in cemento armato)



	α_u / α_1
Telaio a 1 piano	1.1
Telaio a più piani, una campata	1.2
Telaio a più piani, più campate	1.3
Pareti non accoppiate	1.1
Pareti accoppiate	1.2

Oppure effettuare analisi statica non lineare

Duttilità locale (edifici in cemento armato)

K_D

Classe di duttilità A

1.0

Richiede accorgimenti
particolari nel calcolo ed impone
dettagli costruttivi più severi

Classe di duttilità B

0.7

Forze di calcolo maggiori

**Il progettista deve scegliere, a priori,
quale classe di duttilità adottare**

Regolarità in altezza (edifici in cemento armato)

	K_R
Edifici regolari in altezza	1.0
Edifici non regolari in altezza	0.8

La regolarità in altezza deve essere valutata a priori, guardando la distribuzione delle masse e le sezioni degli elementi resistenti, ma anche controllata a posteriori

Commento

Se la struttura è progettata in modo da essere regolare in altezza e ad alta duttilità (rispettando il criterio di gerarchia delle resistenze)

$$K_R \times K_D = 1.00$$

Se la struttura non è regolare in altezza ed è a bassa duttilità

$$K_R \times K_D = 0.8 \times 0.7 = 0.56$$

Quindi le forze sono maggiori di quasi l'80%

Attenzione: se il collasso è con meccanismo di piano la riduzione di duttilità globale può essere anche maggiore

Possibili approcci per valutare la risposta elasto-plastica

Analisi dinamica non lineare, con valutazione della storia della risposta (istante per istante)

Analisi elastica (modale o statica), con forze ridotte mediante il fattore di struttura q

Analisi statica non lineare

Analisi dinamica non lineare

Consente di valutare bene la risposta strutturale, ma:

- Può essere usata solo per verifica (richiede una preliminare definizione delle resistenze)
- Va effettuata con con specifici accelerogrammi (almeno 3 \Rightarrow ma sono sufficienti?)
- Richiede l'uso di programmi molto sofisticati ed una accurata modellazione del comportamento ciclico delle sezioni \Rightarrow possibili errori

Analisi elastica (modale o statica)

È l'approccio tradizionale:

- Si calcolano le forze (modali o statiche) usando uno spettro ridotto mediante il fattore q
- Si controlla che le sollecitazioni conseguenti siano accettabili

Force based design

Progettazione basata sulle forze

Analisi elastica (modale o statica)

È utilizzata comunemente, per la semplicità d'uso.

Ma:

- Quanto è affidabile il valore del fattore di struttura q utilizzato?

La vecchia norma italiana dava forze ridotte, ma senza alcuna indicazione

La nuova norma fornisce indicazione più dettagliate su come calcolare q e prescrizioni che dovrebbero garantire la duttilità necessaria

Sono sufficienti?

Analisi statica non lineare

È un approccio proposto abbastanza di recente:

- Si calcolano gli spostamenti massimi della struttura soggetta a forze crescenti (analisi non lineare o analisi pushover)
- Si valutano gli spostamenti che la struttura subirà durante il sisma e si controlla se sono inferiori a quelli di collasso

Displacement based design

Progettazione basata sugli spostamenti

Applicazione dell'analisi statica non lineare

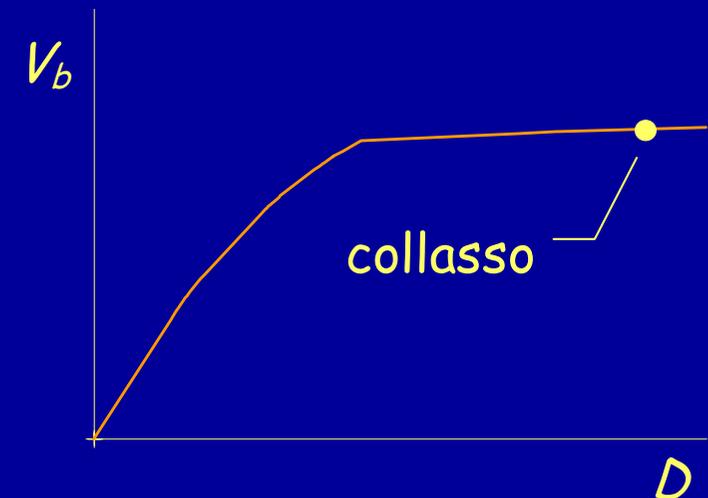
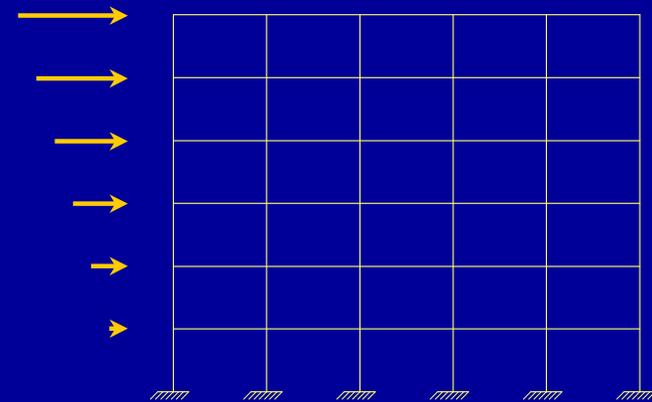
1 - Valutazione degli spostamenti di collasso

Si sceglie una opportuna distribuzione di forze

$$F_i = m_i \Phi_i$$

Si fanno crescere le forze fino al collasso

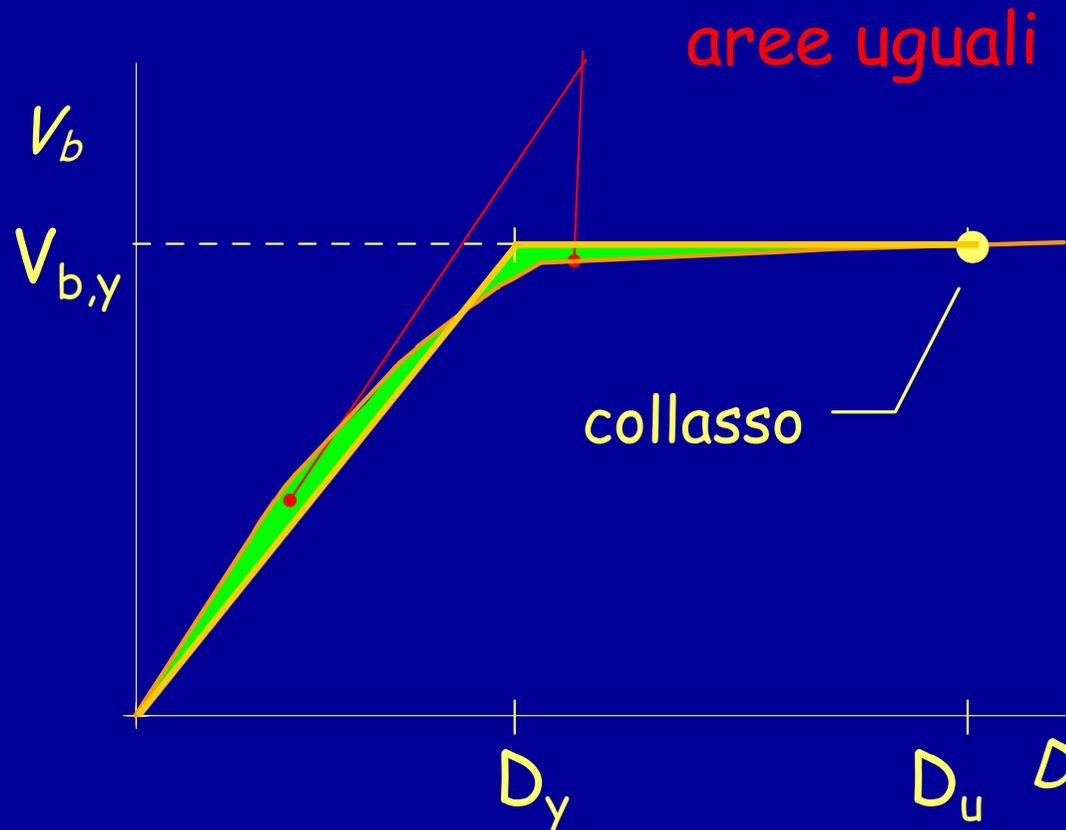
Nel diagramma:
ascisse = spostamento in testa D
ordinate = taglio alla base V_b



Applicazione dell'analisi statica non lineare

2 - Idealizzazione della curva V_b-D

Si sostituisce la curva reale con una bilatera equivalente

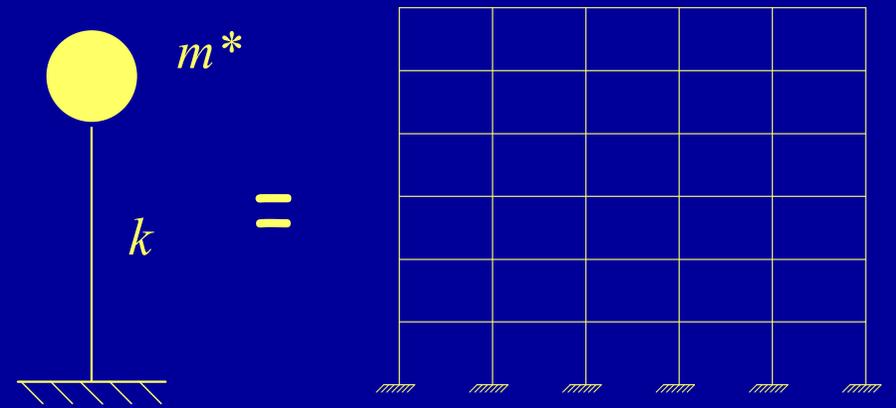


L'area sottesa dalla bilatera deve essere uguale all'area sottesa dalla curva

Applicazione dell'analisi statica non lineare

3 - Oscillatore semplice equivalente

Si individua l'oscillatore semplice equivalente alla struttura reale



rigidezza $k = \frac{V_{b,y}}{D_y}$

massa $m^* = \frac{\sum_{i=1}^n m_i \Phi_i}{\Phi_n}$

periodo $T = 2\pi \sqrt{\frac{m^*}{k}}$

Applicazione dell'analisi statica non lineare

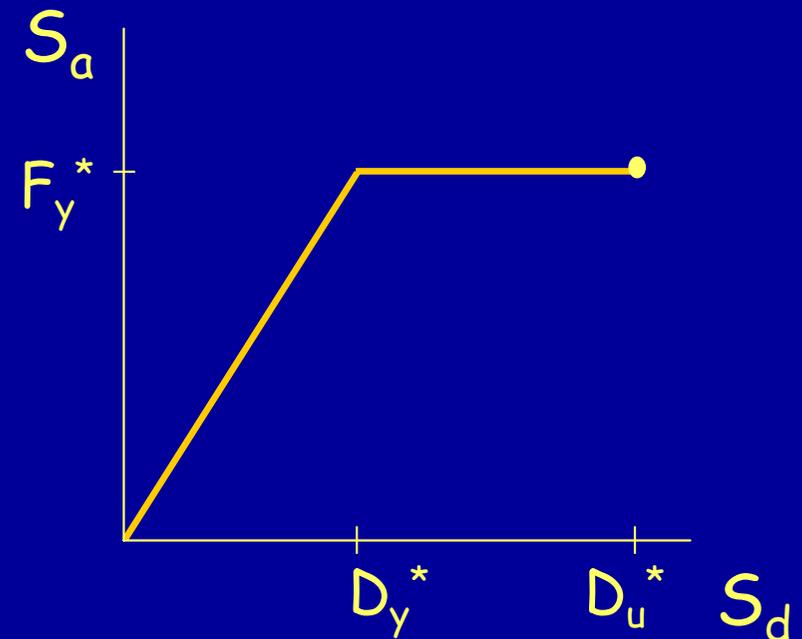
3 - Oscillatore semplice equivalente

Si scala il diagramma forze - spostamenti in modo da renderlo comparabile con un diagramma spettro accelerazioni - spettro spostamenti

$$F^* = \frac{V_b}{m^* \Phi_n \Gamma} \quad D^* = \frac{D}{D_n \Gamma}$$

con

$$\Gamma = \frac{\sum_{i=1}^n m_i \Phi_i}{\sum_{i=1}^n m_i \Phi_i^2}$$



Applicazione dell'analisi statica non lineare

4 - Confronto con spostamento richiesto

Si valuta lo spostamento massimo provocato dal sisma

Lo spostamento (per oscillatore elastico) è legato all'accelerazione dalla relazione

$$S_d = \frac{T^2}{4\pi^2} S_a$$

Se il periodo è sufficientemente alto si può ritenere che lo spostamento dell'oscillatore elasto-plastico coincida con quello dell'oscillatore elastico

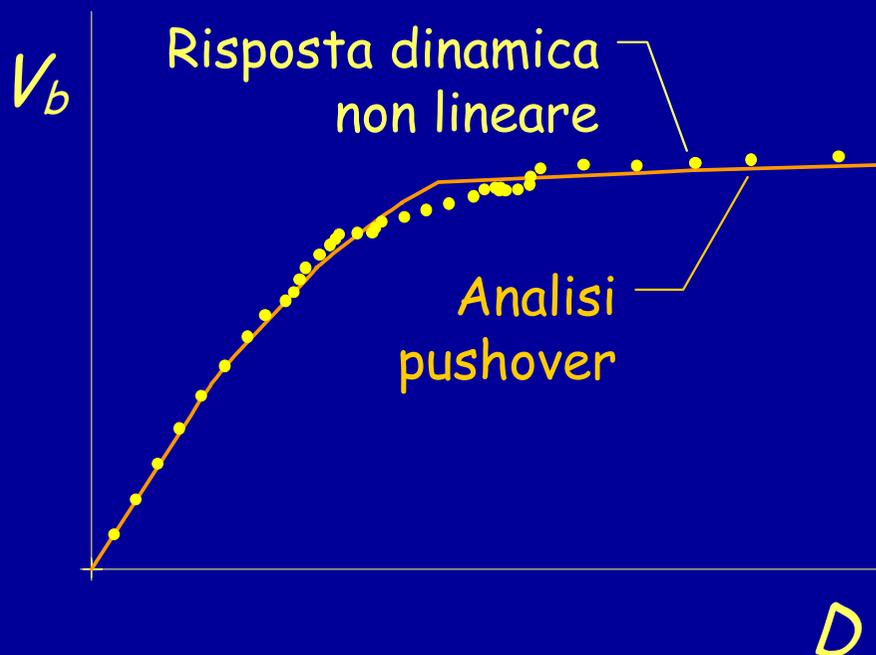
In caso contrario, esistono formule che li mettono in relazione

Si confronta lo spostamento da sisma con quello di collasso

Analisi statica non lineare

L'idea è ottima, perché supera le incertezze legate alla valutazione di q . Ma:

- Gli spostamenti di collasso valutati con forze statiche coincidono con quelli dinamici?



Nell'esempio qui a fianco sì, ma non è sempre vero

Analisi statica non lineare

L'idea è ottima, perché supera le incertezze legate alla valutazione di q . Ma:

- Gli spostamenti di collasso valutati con forze statiche coincidono con quelli dinamici?
- Quanto è affidabile la previsione degli spostamenti che la struttura subirà durante un terremoto?

Inoltre, essa può essere usata solo per verifica (richiede una preliminare definizione delle resistenze)

FINE

Tratto dalla presentazione
Azioni - 7

Con qualche modifica e aggiunta fatte da
B. Biondi

Per questa presentazione:

coordinamento

A. Ghersi

realizzazione

A. Ghersi

ultimo aggiornamento

8/03/2004