

# Dalla dinamica alla normativa sismica

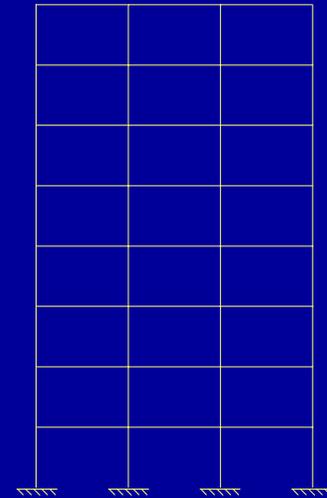
Sistemi a più gradi di libertà:  
studio del comportamento elasto-plastico

Catania, 9 marzo 2004

Aurelio Ghersi

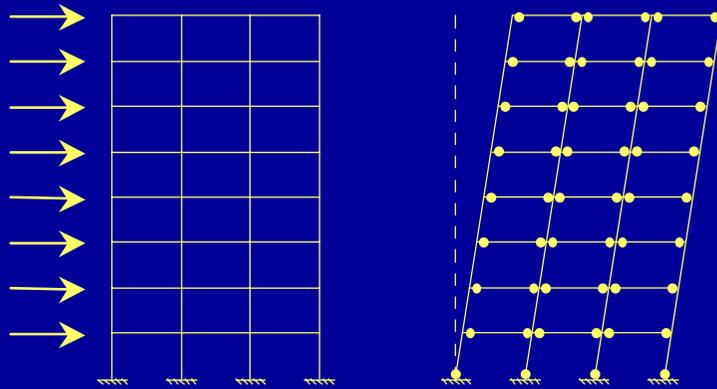
# Dalla sezione alla struttura

Per schemi a più gradi di libertà



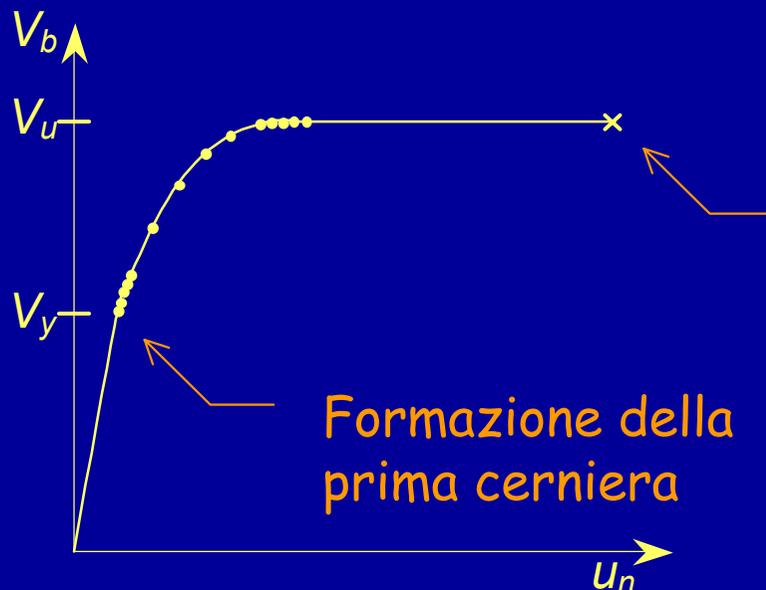
il passaggio tra comportamento della sezione e comportamento globale è molto più complesso

# Meccanismi di collasso per schemi multipiano



Notare:

Buon incremento della forza da prima plasticizzazione a collasso

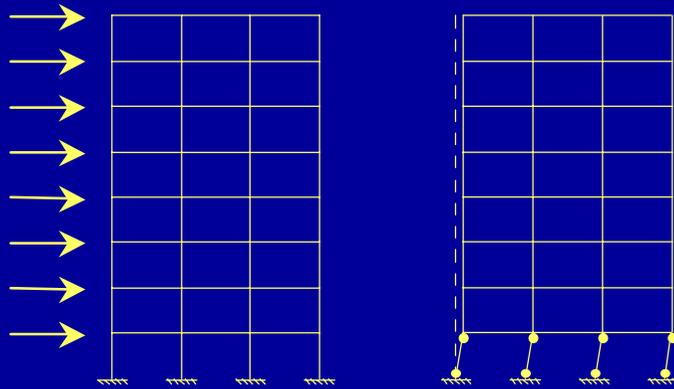


Collasso (rottura di una sezione)

Forti spostamenti a collasso = elevata duttilità globale

Modalità di collasso: globale

# Meccanismi di collasso per schemi multipiano



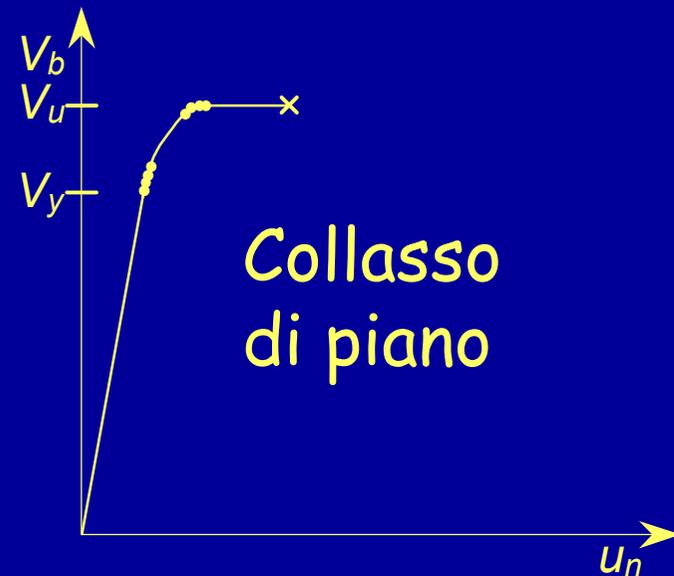
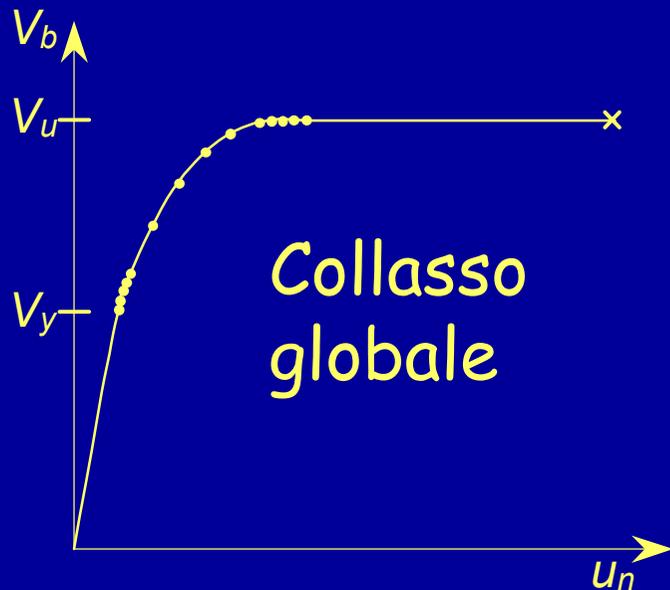
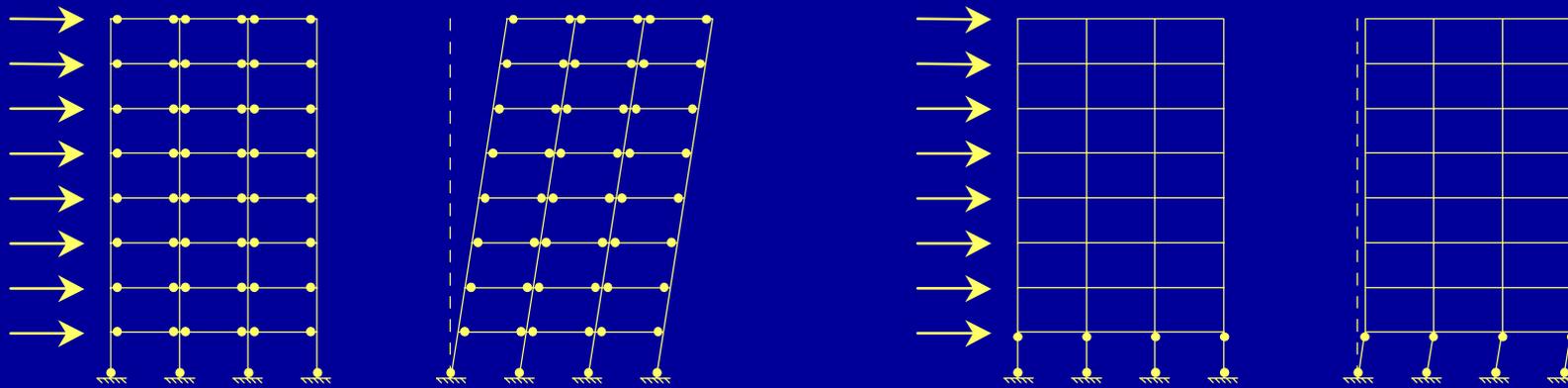
In altri casi, invece:

Basso incremento della forza da prima plasticizzazione a collasso

Modesti spostamenti a collasso = ridotta duttilità globale

Modalità di collasso:  
di piano

# Meccanismi di collasso per schemi multipiano



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)

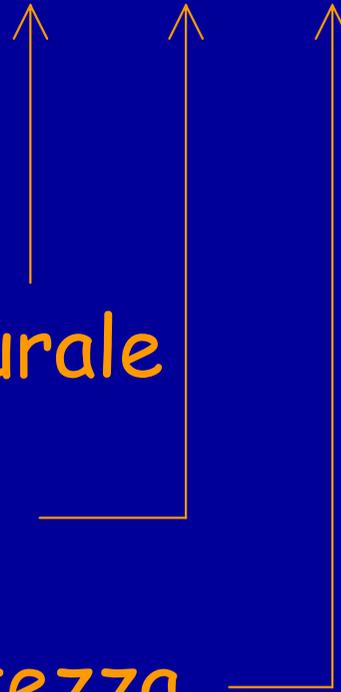
$$q = q_0 K_D K_R$$

Dipende da:

- Tipologia strutturale

- Duttilità locale

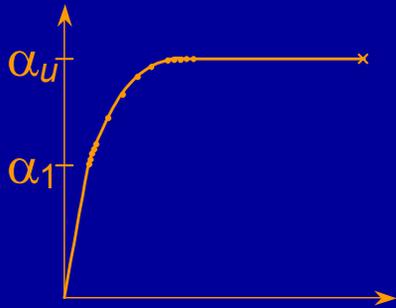
- Regolarità in altezza



# Tipologia strutturale (edifici in cemento armato)

	$q_0$
Struttura a telaio	$4.5 \alpha_u / \alpha_1$
Struttura a pareti	$4.0 \alpha_u / \alpha_1$
Struttura mista telai-pareti	$4.0 \alpha_u / \alpha_1$
Struttura a nucleo	3.0

# Tipologia strutturale (edifici in cemento armato)



	$\alpha_u / \alpha_1$
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

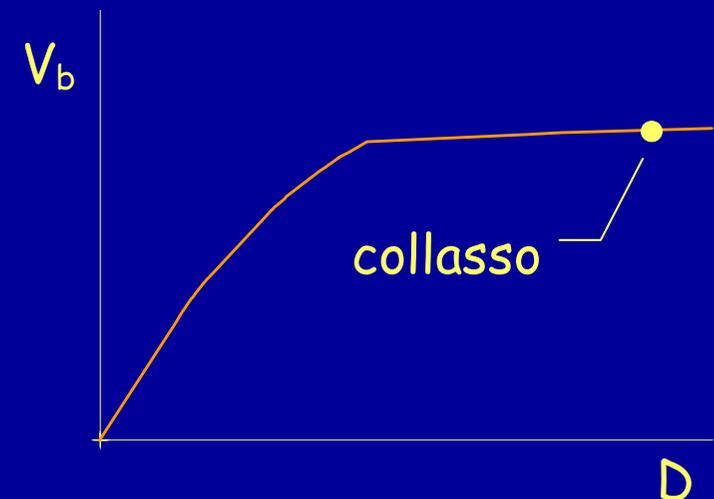
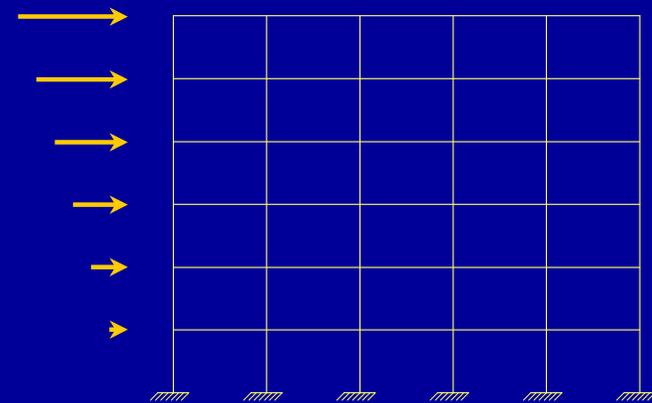
## 1 - Valutazione degli spostamenti di collasso

Si sceglie una opportuna distribuzione di forze

$$F_i = m_i \Phi_i$$

Si fanno crescere le forze fino al collasso

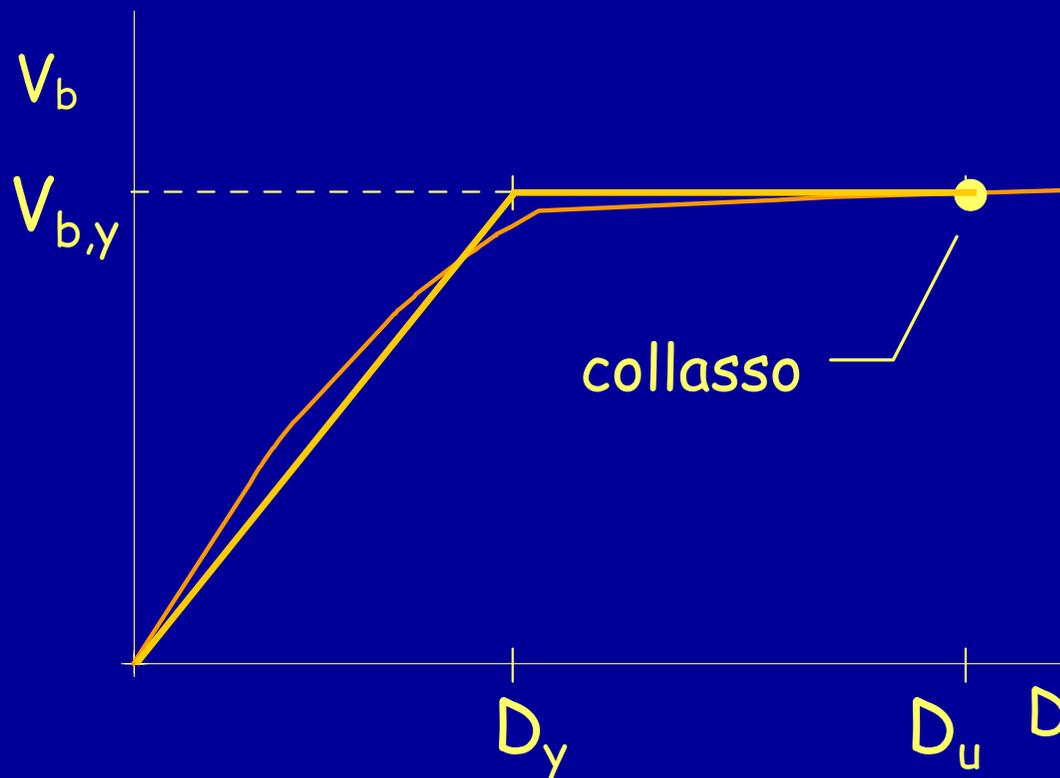
Nel diagramma:  
ascisse = spostamento in testa D  
ordinate = taglio alla base  $V_b$



# Applicazione dell'analisi statica non lineare

## 2 - Idealizzazione della curva $V_b-D$

Si sostituisce la curva reale con una bilatera equivalente

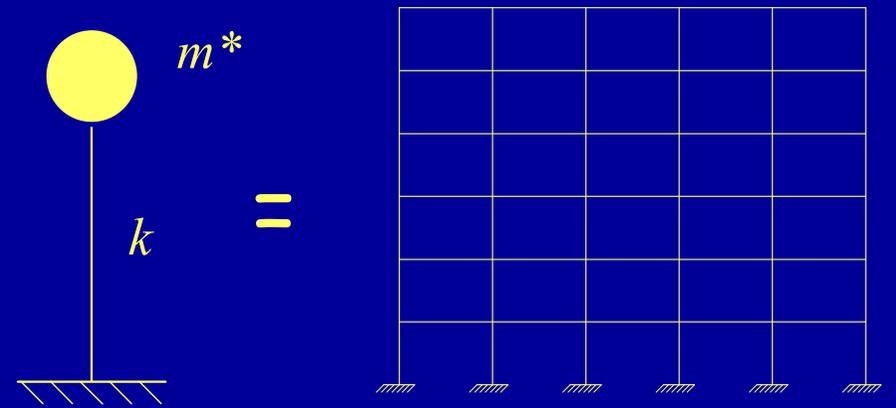


L'area sottesa dalla bilatera deve essere uguale all'area sottesa dalla curva

# 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

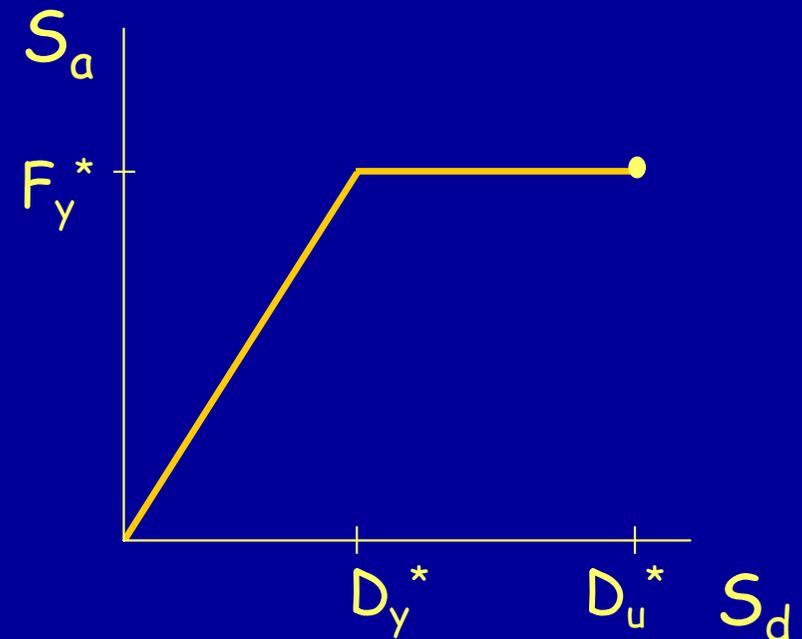
## 3 - Oscillatore semplice equivalente

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

# 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

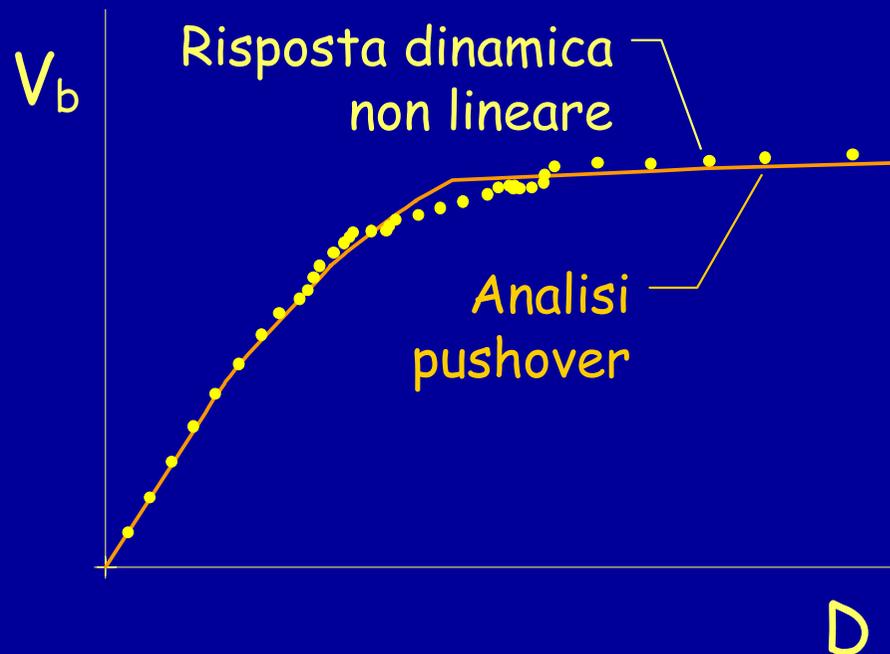
In caso contrario, esistono formule che li mettono in relazione

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

Immagini tratte dal libro:  
A. Ghersi, P. Lenza  
Edifici antisismici in c.a.  
(in preparazione)

Per questa presentazione:

coordinamento

A. Ghersi

realizzazione

A. Ghersi

ultimo aggiornamento

8/03/2004