

CISM International Centre for Mechanical Sciences

# **METODI NUMERICI NELL'INGEGNERIA SISMICA**

Udine, 6 Dicembre 2006

**ANALISI STATICA NON LINEARE DI UN TELAIO IN ACCIAIO  
MEDIAMTE L'UTILIZZO DEL SOFTWARE MIGAS/GEN 7.0.2**

Dott. Ing. Stefano Tortella,

B.R.I.C.K. workgroup

stefano.tort@alice.it

**csp fea**



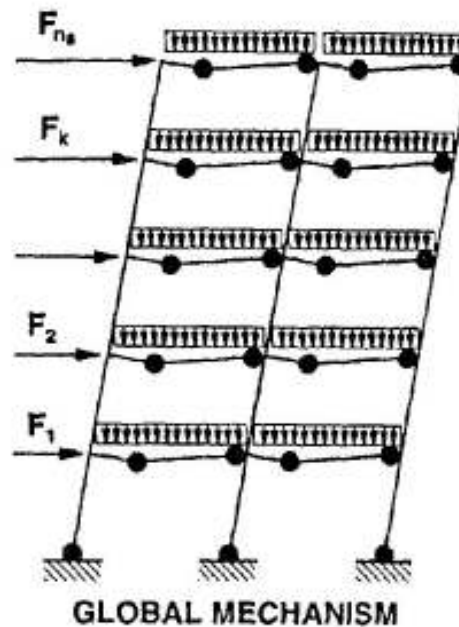
Software solutions for Structural Engineers

Partner **MIDAS**

**MIDAS**  
WWW.MIDASUSER.COM

## Premessa (1/2)

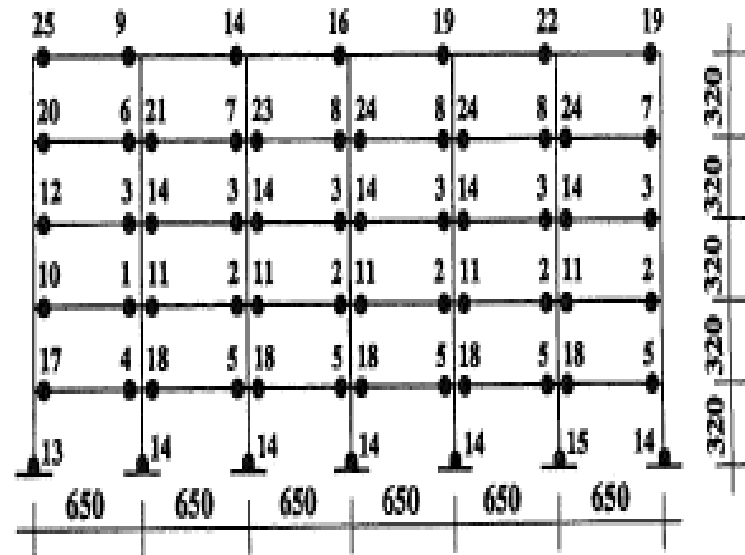
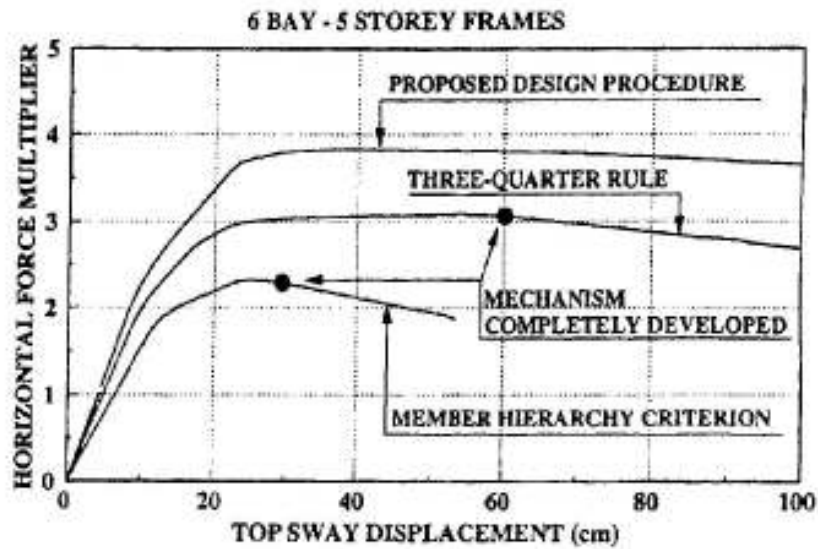
- Oggetto delle analisi: telaio piano sismoresistente in acciaio.
- Progetto secondo quanto proposto in “Plastic design of seismic resistant steel frames”, Mazzolani F.M., Piluso V., 1997.
- Metodo di progetto che garantisca un meccanismo di collasso globale.



# CISM - METODI NUMERICI NELL' INGEGNERIA SISMICA

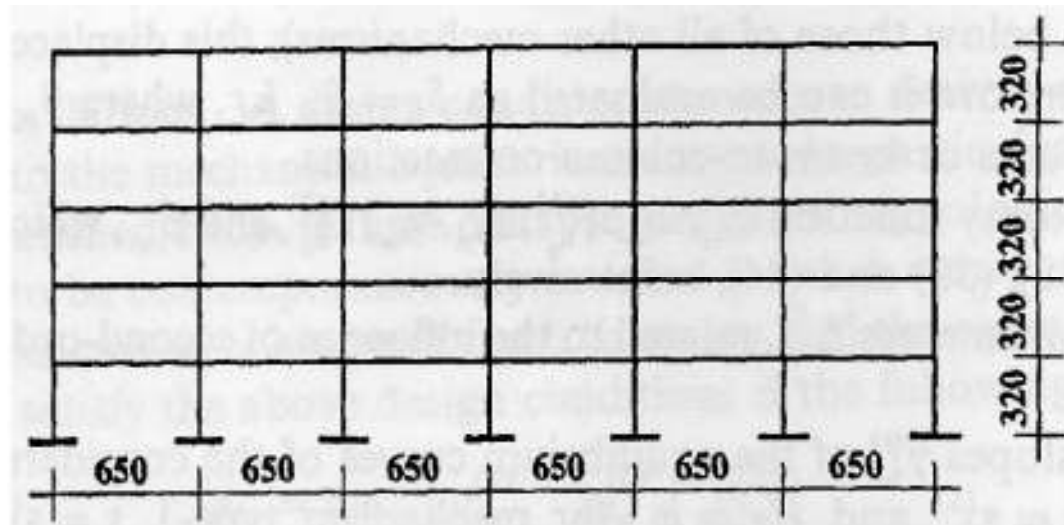
## Premessa (2/2)

- Metodo validato mediante serie di analisi pushover.



## Geometria

- 6 campate ( $L=6,5$  m).
- 5 impalcati rigidi ( $H=3,2$  m).
- Pilastrini incastrati alla base.



## CISM - METODI NUMERICI NELL' INGEGNERIA SISMICA

### Profili

- Acciaio: Fe430
- Travi: IPE330
- Pilastrini:

Piano	interni	esterni
5	HEB280	HEB280
4	HEB320	HEB320
3	HEB320	HEB320
2	HEB340	HEB340
1	HEB360	HEB400

## Carichi

- Permanenti  $G_k$ : 15 KN/m; Accidentali  $Q_k$ : 10 KN/m;
- Combinazione dell'azione sismica E con le altre azioni:

$$\Sigma G_k + \Sigma \psi_2 Q_k + \gamma_I E \quad \text{con } \psi_2 = 0,3; \gamma_I = 1$$

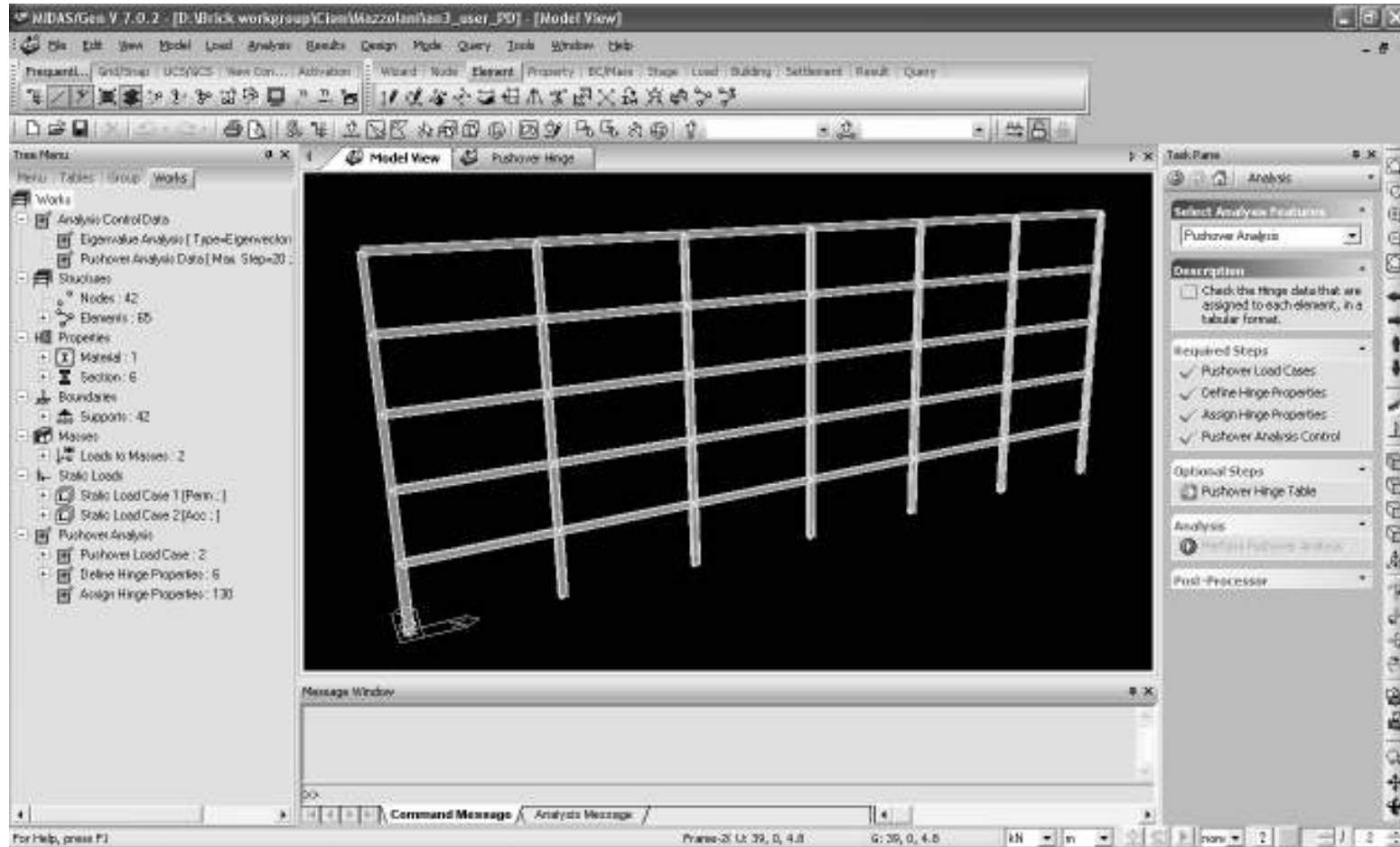
- Masse associate a :  $\Sigma G_k + \Sigma \varphi \psi_2 Q_k$  con  $\psi_2 = 0,3; \varphi = 0,5$

- Azione sismica di progetto E:

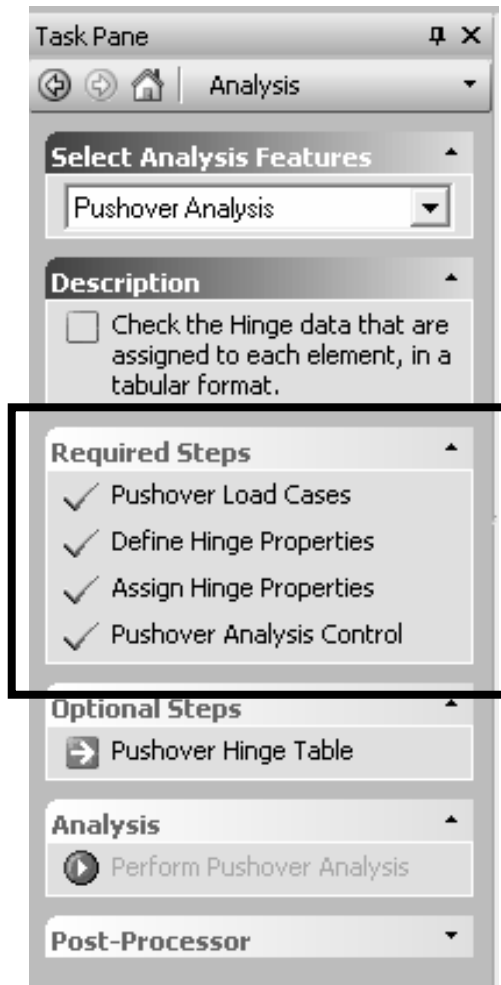
Piano	KN
5	118,40
4	86,84
3	65,13
2	43,42
1	21,71

# CISM - METODI NUMERICI NELL' INGEGNERIA SISMICA

## Modello

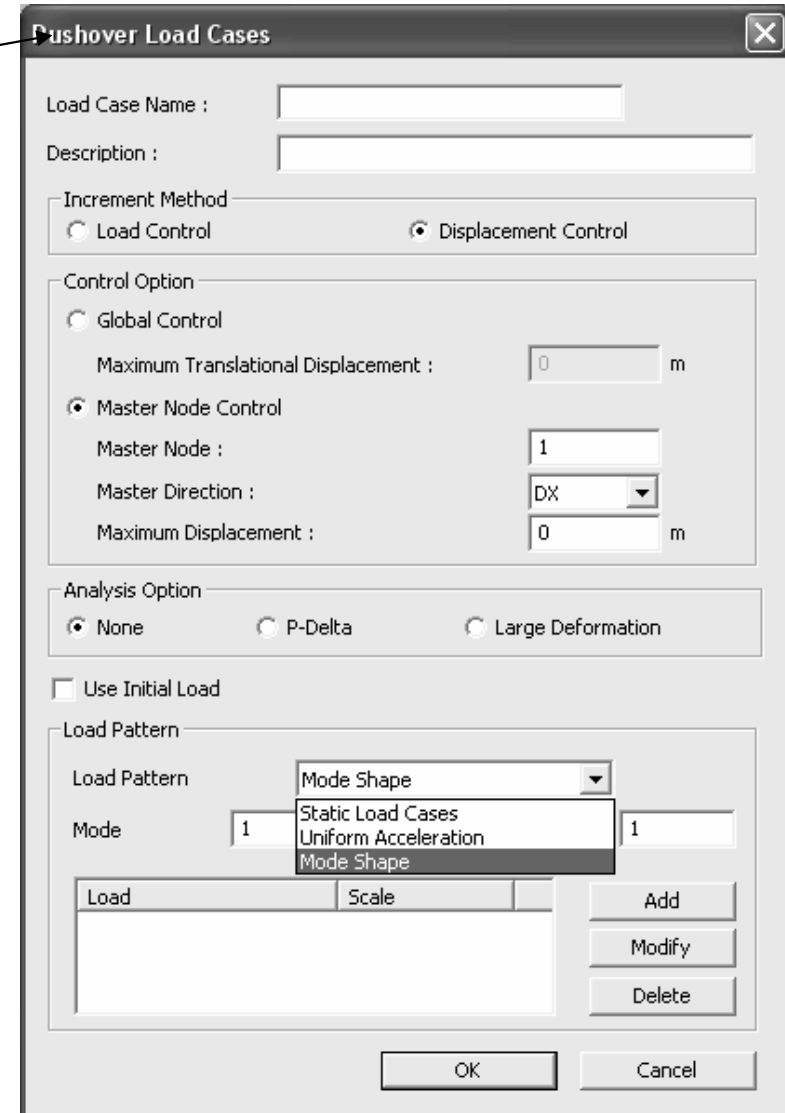
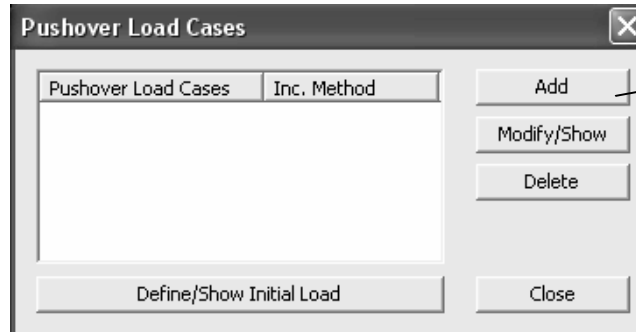


## Task Pane



- Guida (definibile dall'utente)
- In fase di rilascio da CSPfea serie di T.P. in italiano per:
  - analisi modale con spettro di risposta;
  - pushover con cerniere plastiche;
  - pushover con fibre;
  - analisi dinamica non lineare (NL TH);

## Pushover Load Cases (1/2)



- Carico iniziale;
- Load/Displacement control;
- P-Delta/Grandi spostamenti;
- Distribuzione delle forze orizzontali:
  - proporzionale alle masse
  - proporzionale al primo modo di vibrare
  - definita dall'utente

## Pushover Load Cases (2/2)

La presente analisi:

- in controllo di spostamenti;
- considera l'effetto P-Delta;
- distribuzione delle forze orizzontali proporzionale al primo modo di vibrare

Pushover Load Cases

Load Case Name : Push1 triangolare

Description :

Increment Method  
 Load Control  Displacement Control

Control Option  
 Global Control  
Maximum Translational Displacement : 0.32 m  
 Master Node Control  
Master Node : 42  
Master Direction : DX  
Maximum Displacement : 1 m

Analysis Option  
 None  P-Delta  Large Deformation

Use Initial Load

Load Pattern  
Load Pattern : Mode Shape  
Mode : 1 Scale Factor : 1

Load	Scale
Mode:1	1

Add  
Modify  
Delete

OK Cancel

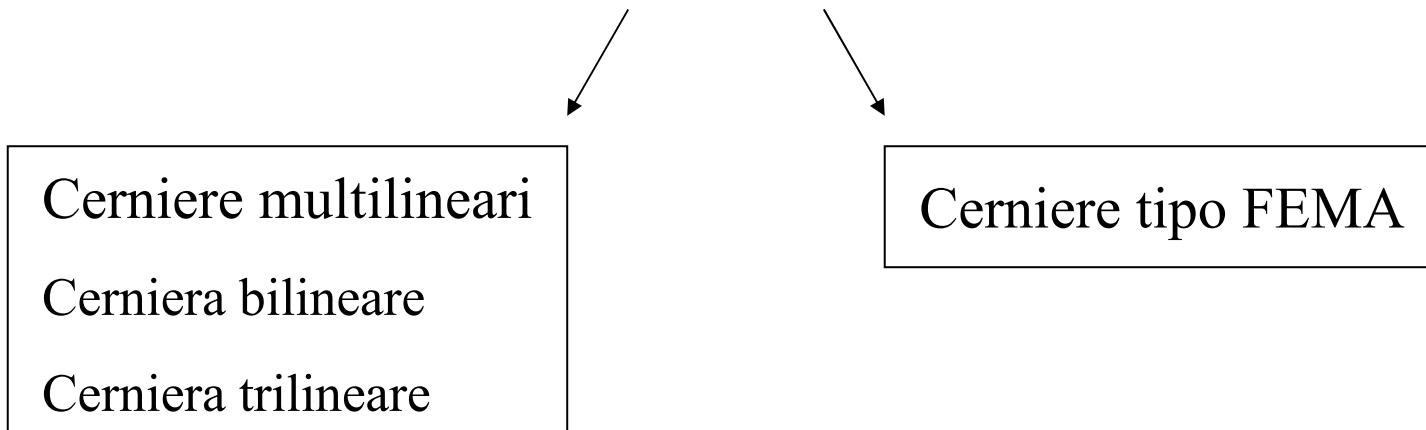
# CISM - METODI NUMERICI NELL' INGEGNERIA SISMICA

## Define Hinge Properties

The image shows a software interface with a 'Task Pane' on the left and two dialog boxes in the center. The 'Task Pane' is titled 'Analysis' and contains several sections: 'Select Analysis Features' with a dropdown menu set to 'Pushover Analysis'; 'Description' with a checkbox 'Check the Hinge data that are assigned to each element, in a tabular format.'; 'Required Steps' with a list of tasks: 'Pushover Load Cases', 'Define Hinge Properties', 'Assign Hinge Properties', and 'Pushover Analysis Control'; 'Optional Steps' with 'Pushover Hinge Table'; 'Analysis' with 'Perform Pushover Analysis'; and 'Post-Processor'. An arrow points from the 'Define Hinge Properties' step in the 'Required Steps' section to the 'Define Hinge Properties' dialog box. The 'Define Hinge Properties' dialog box has a table with columns 'Hinge Properties', 'Type', and 'Multi/FEMA', and buttons 'Add', 'Modify/Show', 'Delete', and 'Close'. Below the table is a checkbox 'Show Generated Hinges'. The 'Add/Modify Hinge Properties Type' dialog box has fields for 'Hinge Properties Type Name', 'Define Properties Type' (set to 'Axial-P'), 'Hinge Type' (radio buttons for 'Multi-Linear Type' and 'FEMA Type'), and 'Hinge Properties' (dropdown set to 'Axial-P' and a 'Properties...' button). It also has 'OK' and 'Cancel' buttons.

## Cerniere plastiche in Midas/Gen (1/4)

- Modello a plasticità distribuite (fibre);
- Modello a plasticità concentrate;

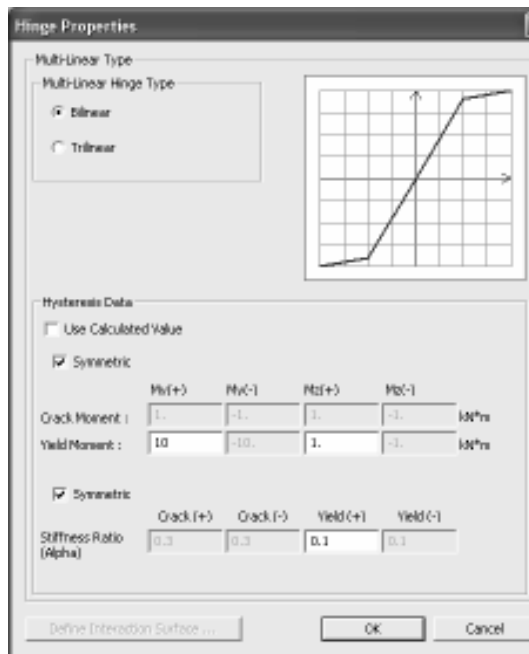


# CISM - METODI NUMERICI NELL' INGEGNERIA SISMICA

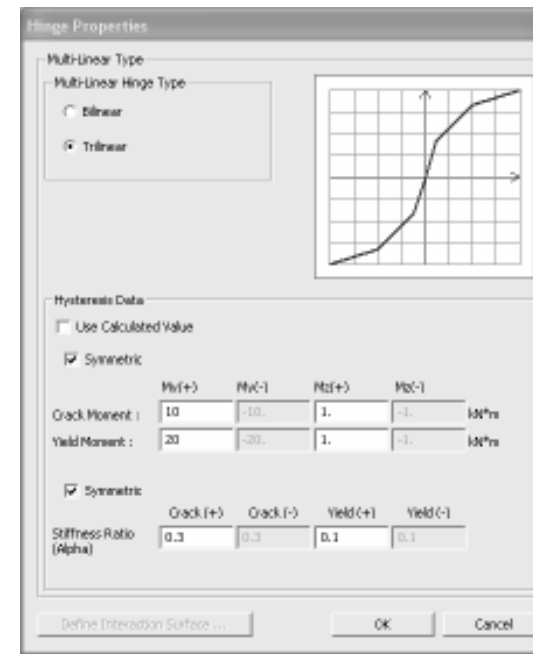
## Cerniere plastiche in Midas/Gen (2/4)

### Cerniere multilineari

#### Cerniera bilineare



#### Cerniera trilineare



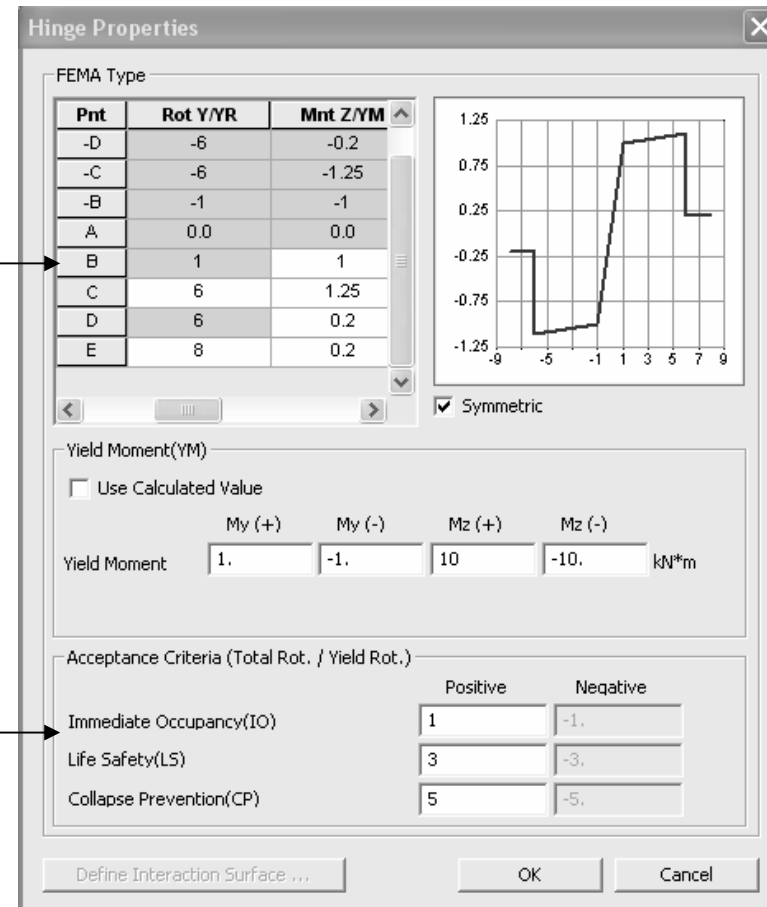
Comportamento elasto-plastico

## Cerniere plastiche in Midas/Gen (3/4)

Cerniere tipo FEMA

Comportamento elasto-plastico  
con limite di deformabilità e softening

Capacità di deformazione per  
verifiche meccanismi duttili



## Cerniere plastiche in Midas/Gen (4/4)

- Cerniere definibili per strutture in acciaio e calcestruzzo armato.
- In fase di implementazione cerniere per strutture in muratura.
- Cerniere per caratterizzare:
  - momento
  - interazione momento – azione assiale
  - azione assiale
  - taglio
- Proprietà delle cerniere: definibili dall'utente o automaticamente generate a partire dalla struttura definita.

## Caratterizzazione delle cerniere plastiche (1/2)

- Proprietà dei materiali: valori medi.
- Comportamento elastico perfettamente plastico.

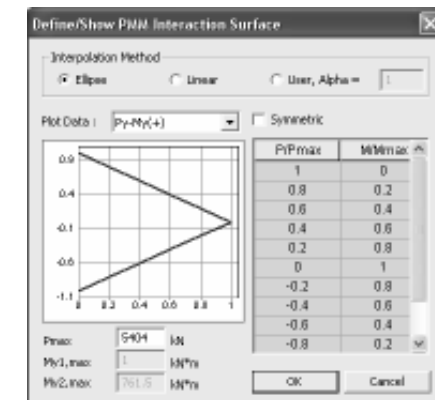
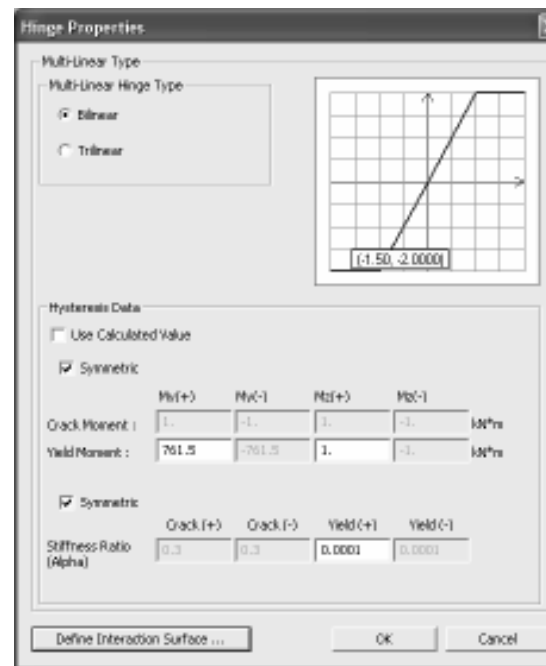
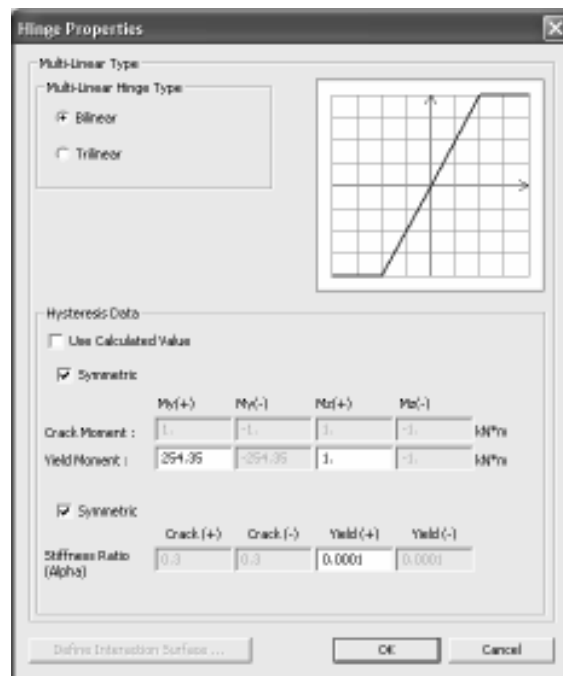
Sezione	$M_y$ (kNm)	$N_{max}$ (kN)
IPE330	254.27	-
HEB400	1022.04	6254.72
HEB360	848.49	5712.51
HEB340	761.56	5404.64
HEB320	679.70	5102.46
HEB320	679.70	5102.46
HEB280	485.26	4154.40

# CISM - METODI NUMERICI NELL' INGEGNERIA SISMICA

## Caratterizzazione delle cerniere plastiche (2/2)

Travi: flessione pura

Pilastri: dominio interazione M/N



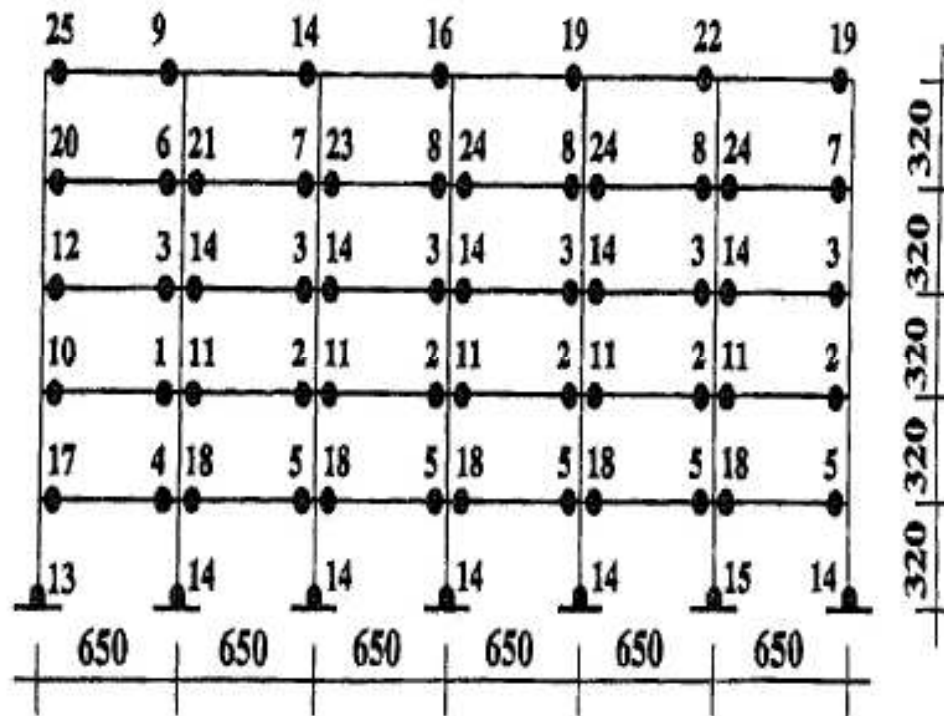
Load contour method (Bresler)

## Riassumendo

- Analisi pushover in controllo di spostamenti (100 step,  $DX=1$  metro).
- Effetto P-Delta.
- Distribuzione delle forze proporzionale al primo modo.
- Cerniere con comportamento elastico perfettamente plastico.

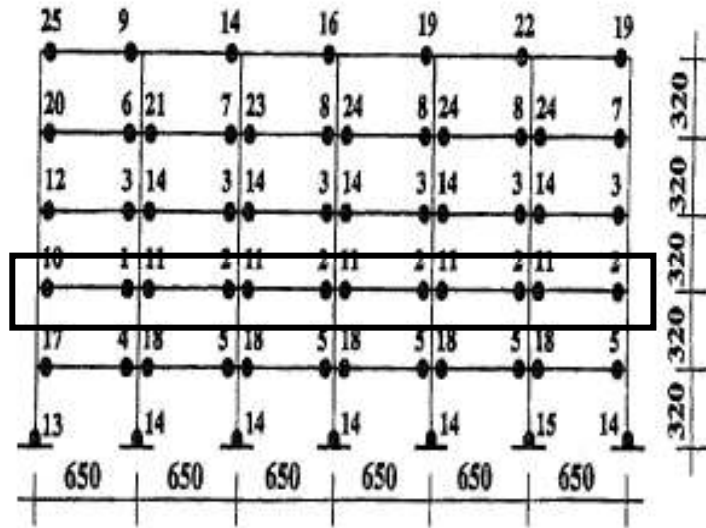
## Risultati (1/7)

Meccanismo globale: ordine di formazione delle cerniere plastiche

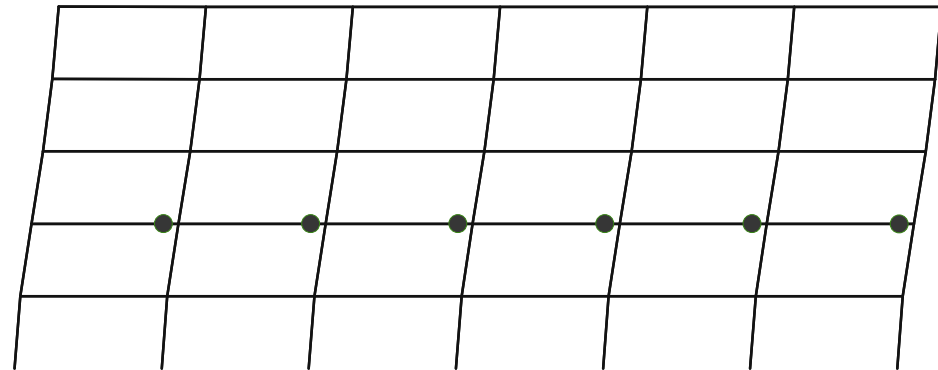


# CISM - METODI NUMERICI NELL' INGEGNERIA SISMICA

## Risultati (2/7)

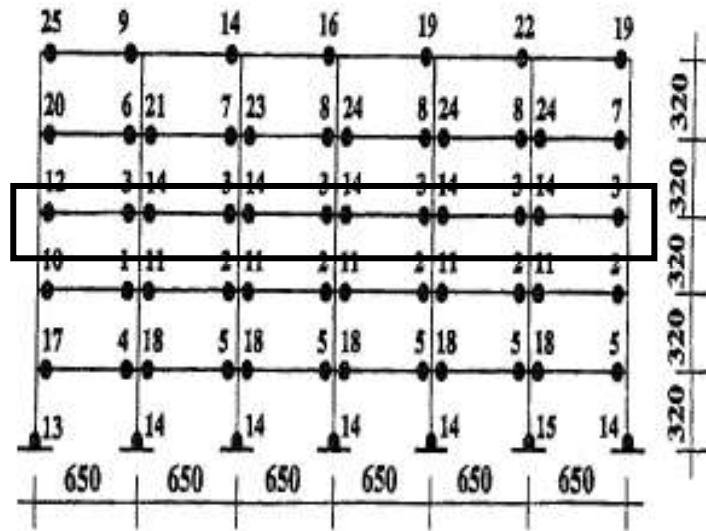


Step 12

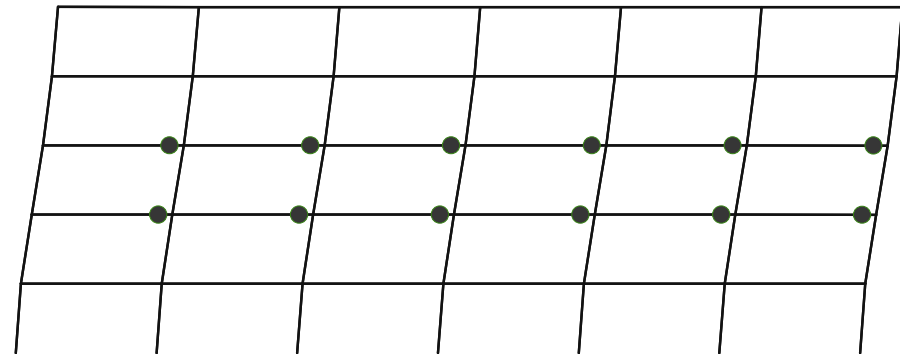


# CISM - METODI NUMERICI NELL' INGEGNERIA SISMICA

## Risultati (3/7)

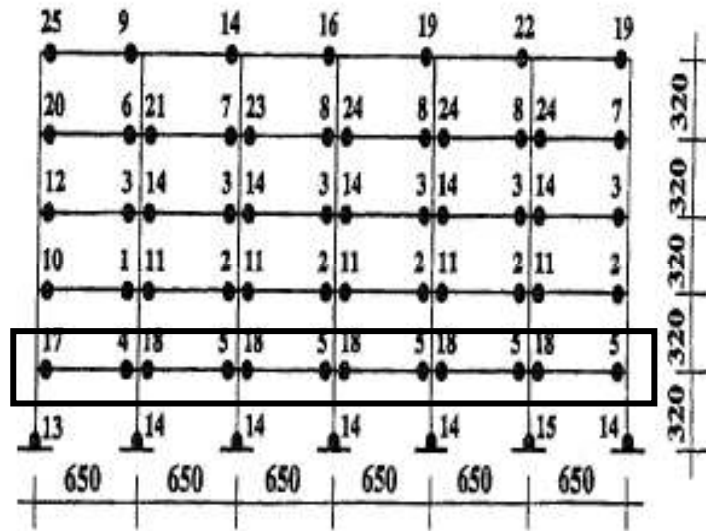


Step 14

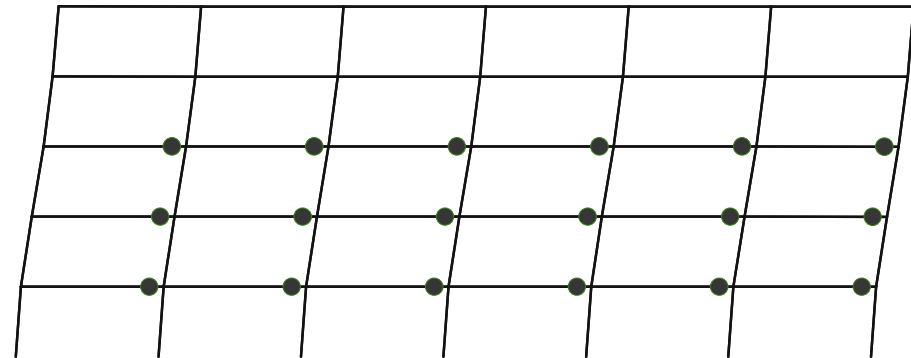


# CISM - METODI NUMERICI NELL' INGEGNERIA SISMICA

## Risultati (4/7)

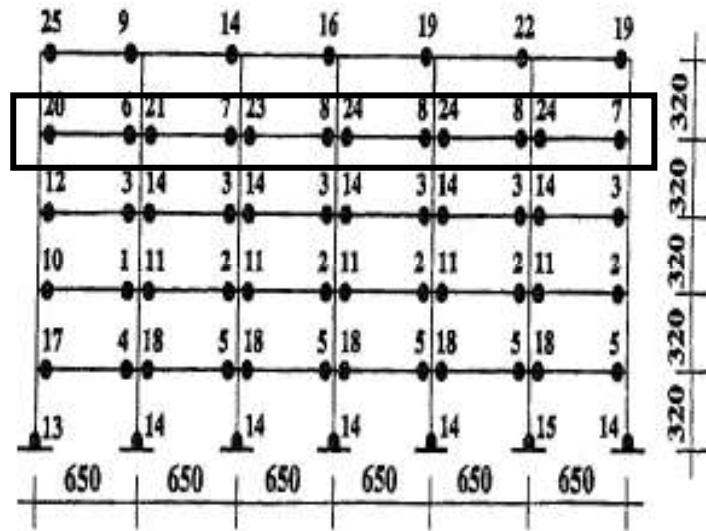


Step 16

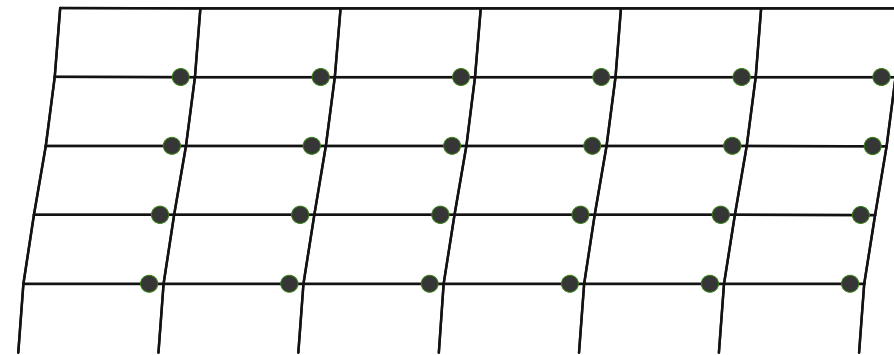


# CISM - METODI NUMERICI NELL' INGEGNERIA SISMICA

## Risultati (5/7)

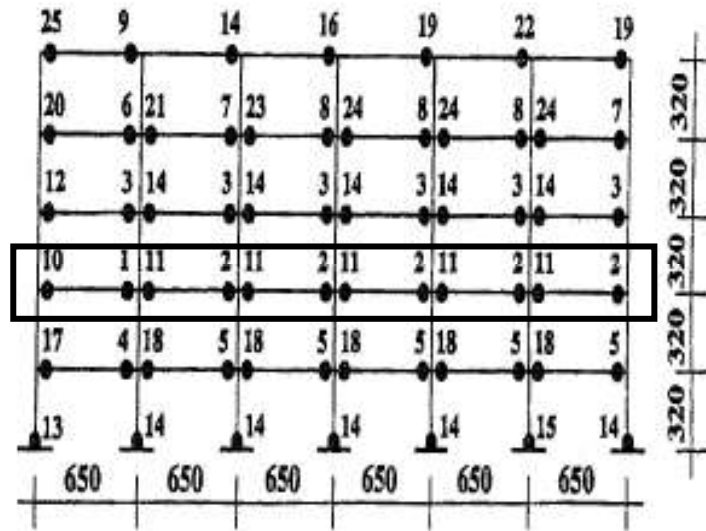


Step 20

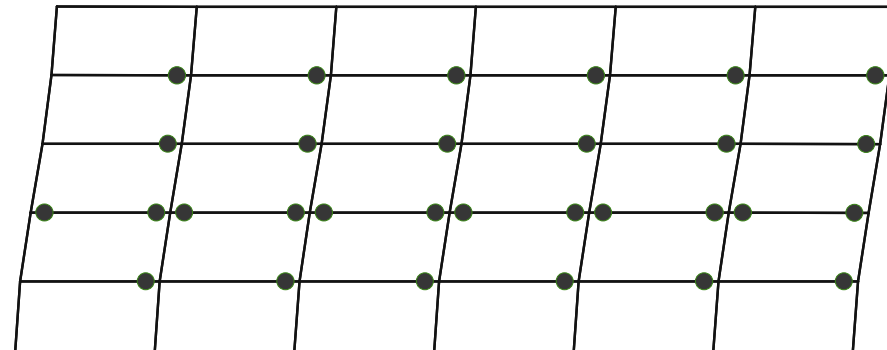


# CISM - METODI NUMERICI NELL' INGEGNERIA SISMICA

## Risultati (6/7)

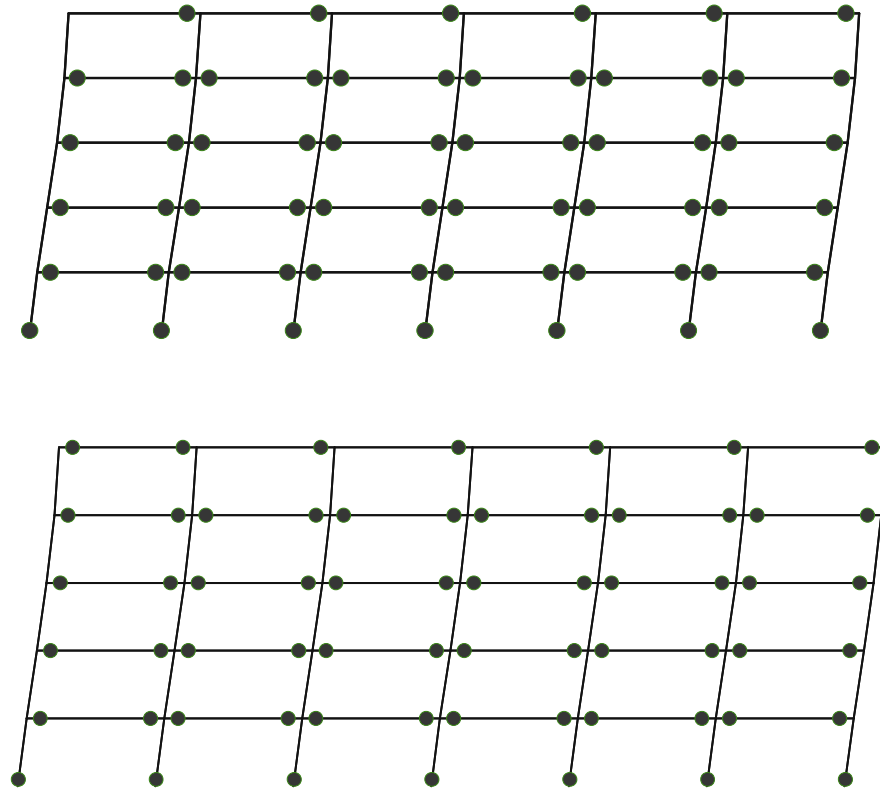
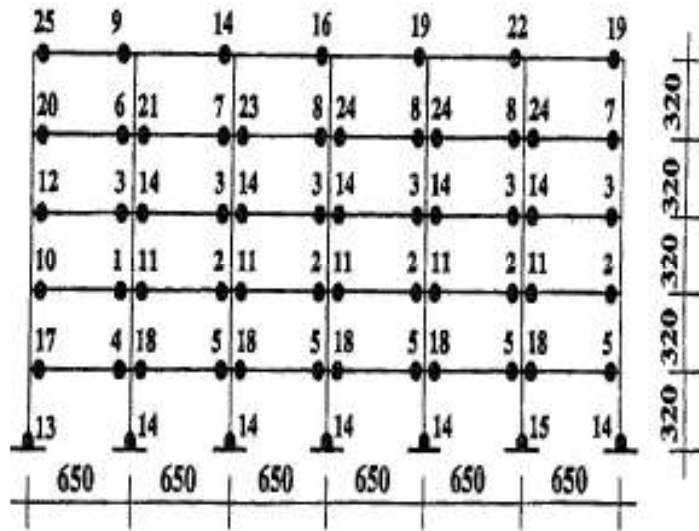


Step 25

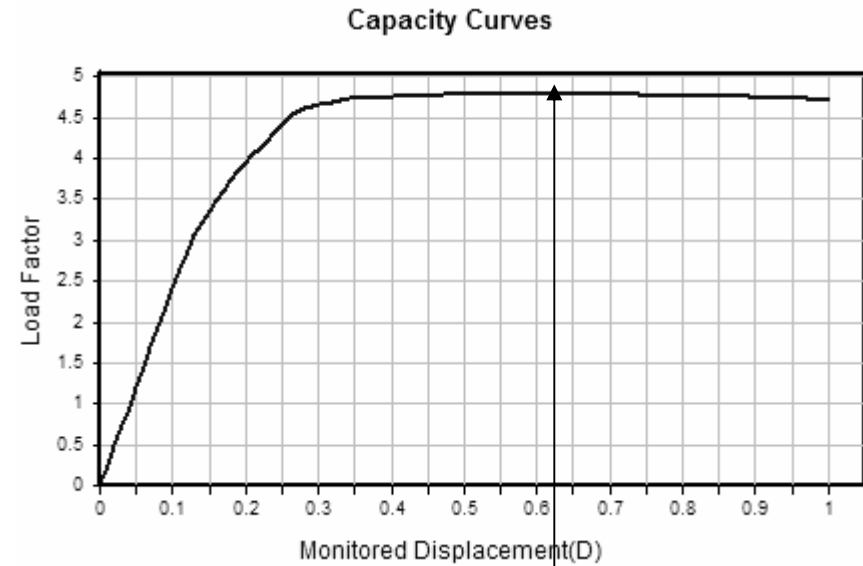
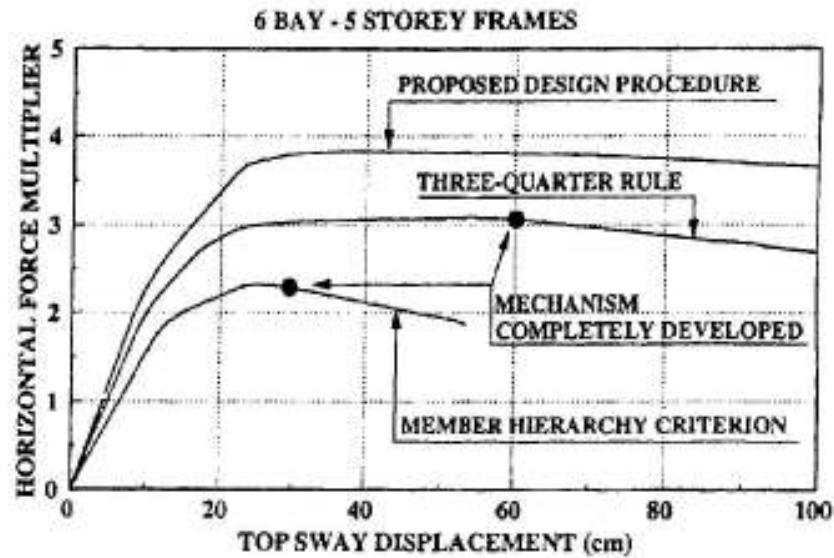


# CISM - METODI NUMERICI NELL' INGEGNERIA SISMICA

## Risultati (7/7)



## Curva di capacità

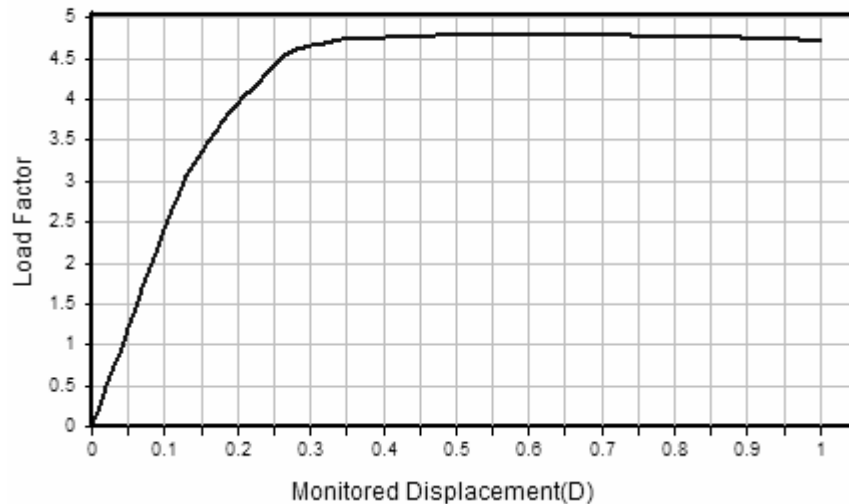


Taglio alla base massimo: 1572 KN  
per spostamento in sommità pari a 62 cm

## Influenza dell'effetto P-Delta

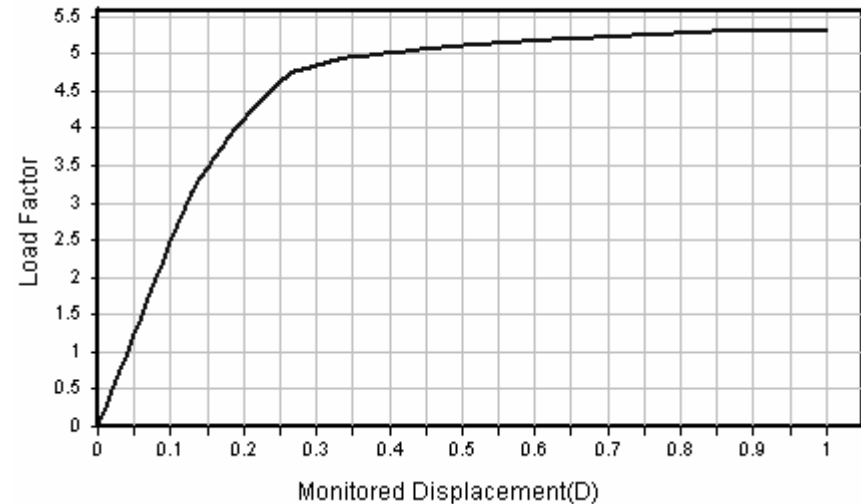
- Meccanismo globale analogo

Capacity Curves



Taglio alla base massimo: 1572 KN  
per spostamento in sommità pari a 62 cm

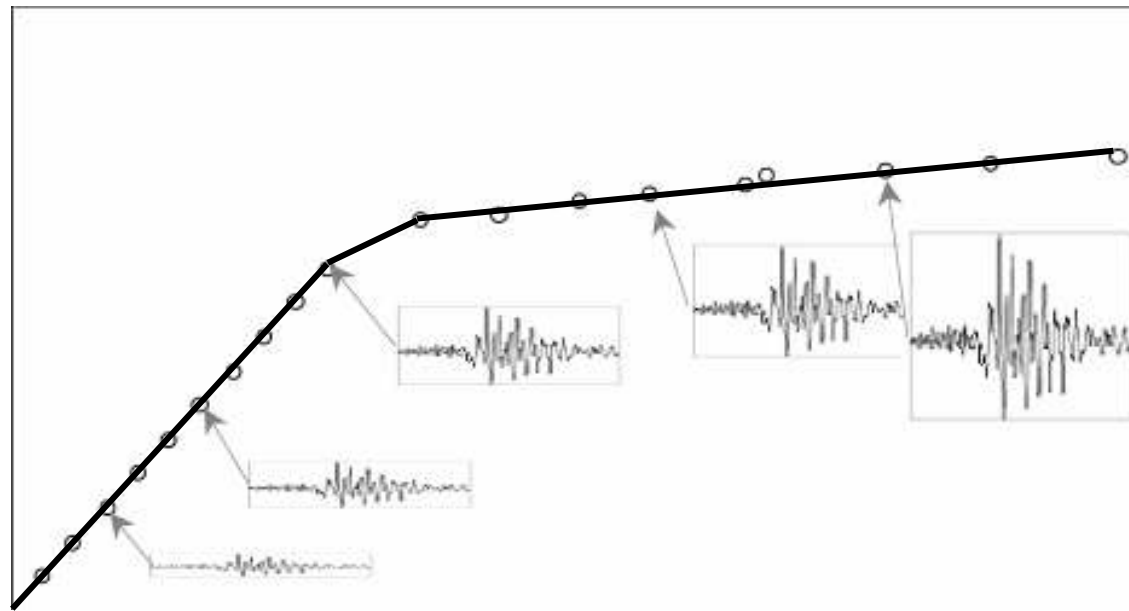
Capacity Curves



Taglio alla base massimo: 1740 KN  
per spostamento in sommità pari a 100 cm

## Confronto con analisi dinamica non lineare (1/3)

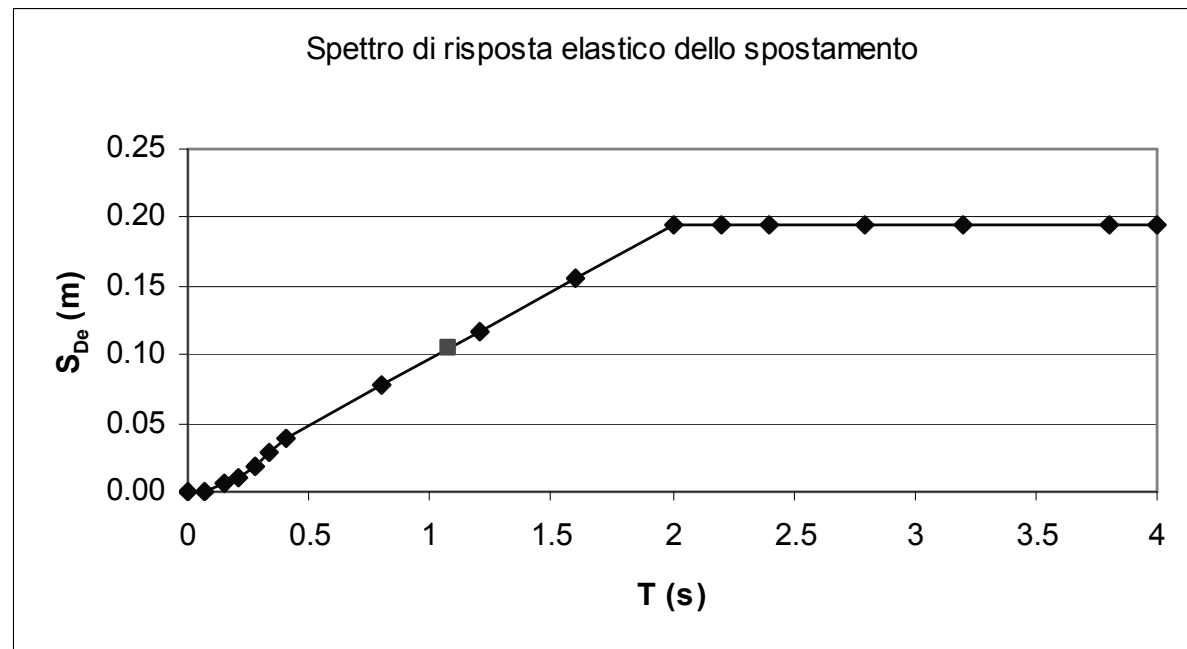
*Idea alla base del metodo pushover: applicare alla struttura una distribuzione di forze crescente al fine di ottenere una curva forza-spostamento che involupi tutte le possibili risposte strutturali calcolate mediante analisi non lineari dinamiche.*



1. Calcolo della domanda in termini di spostamento ottenuta con l'analisi pushover.
2. Confronto con lo spostamento massimo ottenuto con l'analisi dinamica non lineare della stessa struttura.

## Confronto con analisi dinamica non lineare (2/3)

1. Risposta sistema della struttura >> caratteristiche di un sistema NL equivalente a 1 GDL.
2. Determinazione dello spostamento massimo atteso del sistema equivalente mediante lo spettro di risposta in termini di spostamento.
3. Determinazione della domanda di spostamento per la struttura in oggetto.



## Confronto con analisi dinamica non lineare (3/3)

- Per zona sismica 1 e categoria di suolo A, la domanda di spostamento per lo stato limite di danno severo, calcolato con analisi PO, risulta pari a 0,136 m.
- Lo spostamento massimo ottenuto con un analisi dinamica non lineare della medesima struttura, impiegando un accelerogramma spettro-compatibile, risulta pari a 0,125 m.

