VERIFICA DI EDIFICI ESISTENTI IN CEMENTO ARMATO

Catania, 25 giugno – 2 luglio 2019

11 – Analisi pushover

Docente del corso

AURELIO GHERSI

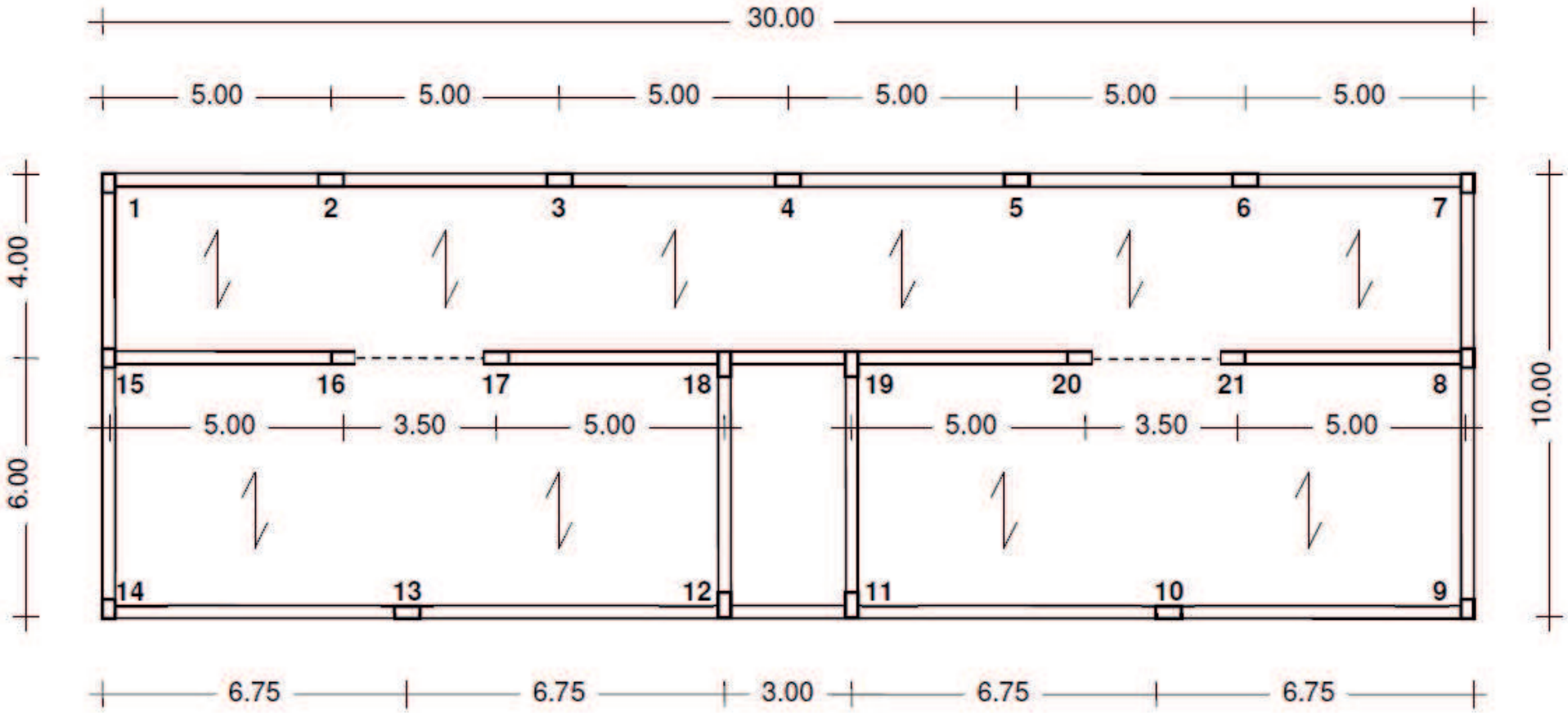
Corso organizzato da: FONDAZIONE DELL'ORDINE DEGLI INGEGNERI
DELLA PROVINCIA DI CATANIA

Analisi pushover

- Analisi non lineare che mostra il comportamento di una struttura soggetta ad una distribuzione crescente di forze orizzontali
  - Occorre applicare preliminarmente i carichi verticali agenti sulla struttura (valori per la condizione sismica)
    Si effettua in genere una analisi lineare, ritenendo che sotto i carichi di esercizio la struttura sia in campo elastico
  - A questi si somma l'effetto di una distribuzione di forze orizzontali, scalate in maniera via via crescente
    Questo effetto si valuta con analisi non lineare
  - Si ottengono così indicazioni sul progressivo stato della struttura (sollecitazioni, spostamenti, ecc.)

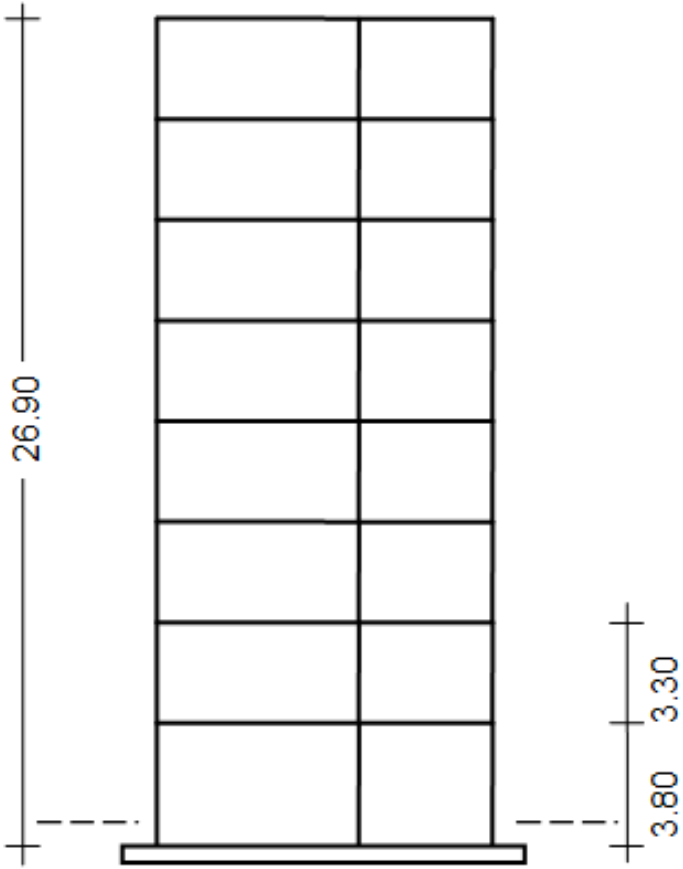
Esempio:

edificio anni '70



Carpenteria del piano tipo

Esempio:
edificio anni '70



Sezione schematica dell’edificio

Modellazione

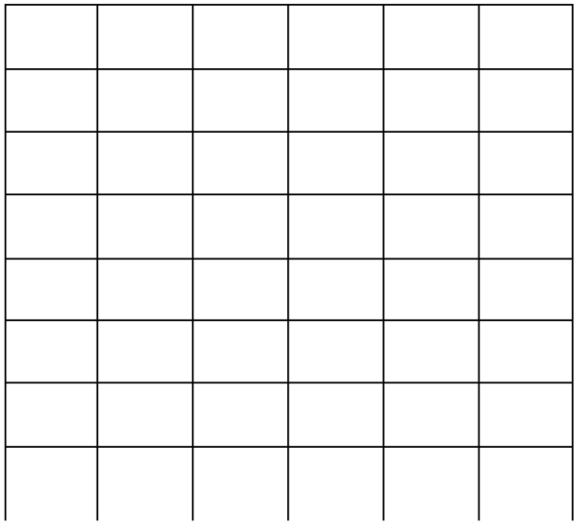
schema geometrico

- Si è schematizzata la struttura, separatamente in direzione x e in direzione y, come un insieme di telai piani
- Per tener conto della tridimensionalità dello schema si è tenuto conto dell'indicazione di Fajfar (risolvere lo schema come traslazionale e poi applicare coefficienti correttivi per tener conto dell'amplificazione di spostamenti nei telai più eccentrici
  - Valori dei coefficienti correttivi:

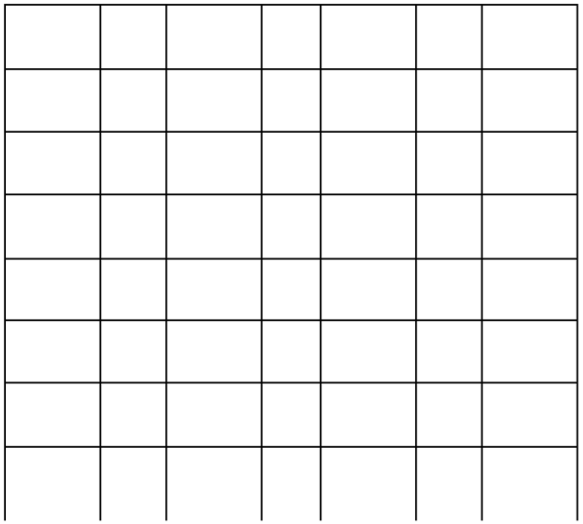
Telai in direzione x		
Tel. 1 x	Tel. 2 x	Tel. 3 x
1.060	1.001	1.069

Telai in direzione y			
Tel. 1-7 y	Tel. 2-6 y	Tel. 3-5 y	Tel. 4 y
1.197	1.103	1.008	1.000

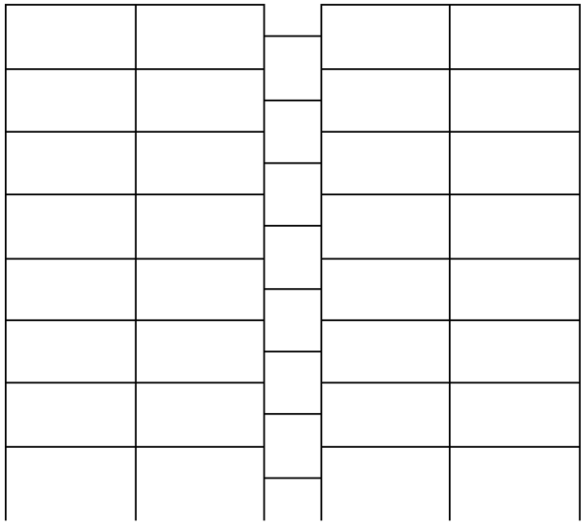
Schema telai in direzione x



Telaio 3x

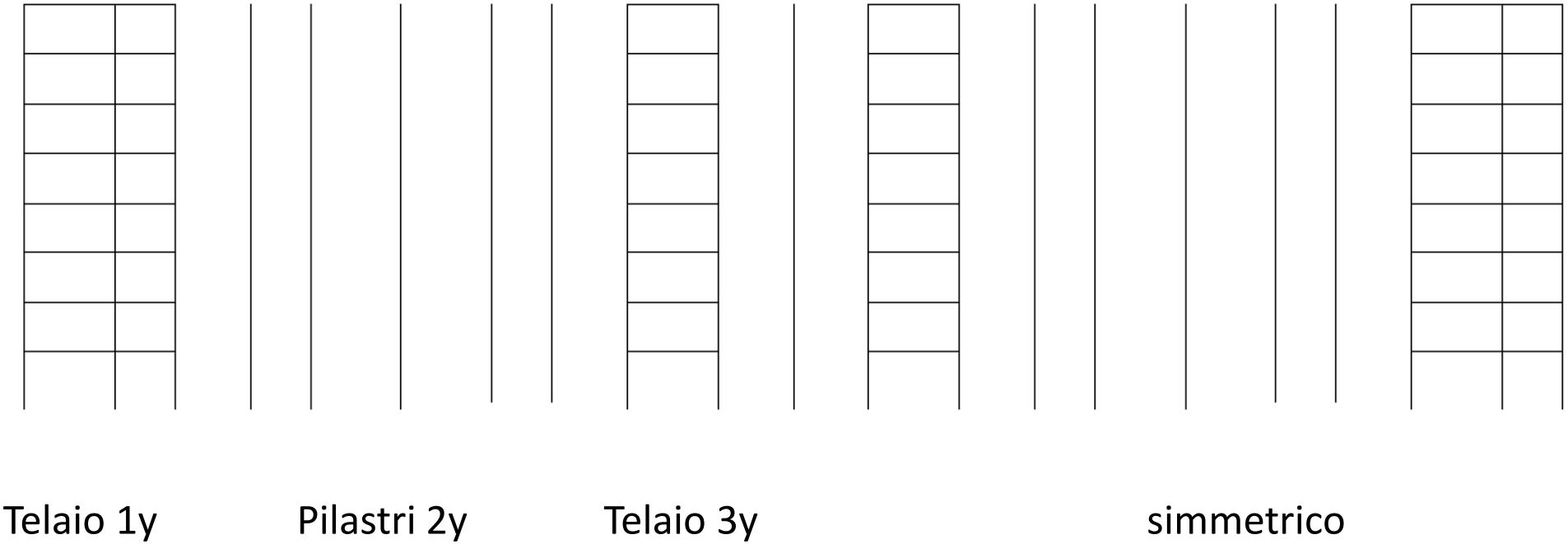


Telaio 2x



Telaio 1x

Schema telai in direzione y



Modellazione

schema geometrico

- Nel modello geometrico:
  - Non sono stati inseriti tratti nodali rigidi e resistenti
  - La riduzione di rigidezza dovuta alla fessurazione è stata considerata con due schemi limite:
    - Con la sezione geometrica, senza alcuna riduzione
    - Riducendo in maniera forfetaria la rigidezza (il modulo elastico) delle aste, in misura maggiore per le travi e minore per i pilastri

Modellazione

comportamento non lineare

- Si è usato un modello a plasticità concentrata
  - La cerniera si può formare agli estremi di ciascuna asta, in corrispondenza al nodo
  - Sarebbe stato più corretto avere cerniere a filo nodo
- La resistenza a flessione delle sezioni è stata calcolata utilizzando i valori medi della resistenza dei materiali:
  f_{cm} = 19 MPa f_{ym} = 380 MPa
- Per i pilastri si è assunto come momento flettente resistente quello corrispondente al valore di sforzo normale dovuto ai carichi verticali
  - Sarebbe stato più corretto considerare un dominio di resistenza M-N, ma le differenze non sono eccessive

Modellazione

distribuzioni di forze

- Come prima distribuzione si è considerata quella derivata dall'analisi modale (MP, modal pattern)
  - Più precisamente, forze determinate come differenze tra i tagli di piano valutati come inviluppo modale
  - Questi valori sono differenti tra direzione x e y
- Come seconda distribuzione si è utilizzata quella proporzionale alle masse (UP, uniform pattern)

Impalcato	MP dir. x	MP dir. y	UP
8	1420.6	1004.4	255.5
7	979.2	629.5	275.3
6	595.5	292.7	275.5
5	410.5	258.8	276.8
4	417.2	93.2	279.9
3	466.4	398.7	283.2
2	429.0	266.8	286.6
1	260.7	228.7	290.3

Modellazione

distribuzioni di forze

- Come prima distribuzione si è considerata quella derivata dall'analisi modale (MP, modal pattern)
- Come seconda distribuzione si è utilizzata quella proporzionale alle masse (UP, uniform pattern)

- In direzione x, essendo i telai simmetrici, le forze di ciascuna distribuzione sono state applicate solo con il verso positivo
- In direzione y, priva di simmetria, le forze di ciascuna distribuzione sono state applicate sia con il verso positivo che con quello negativo

Pushover

direzione x

- Carichi verticali
  - A tutte le travi si applica il carico verticale corrispondente alle condizioni sismiche $g_k + \psi_2 q_k$

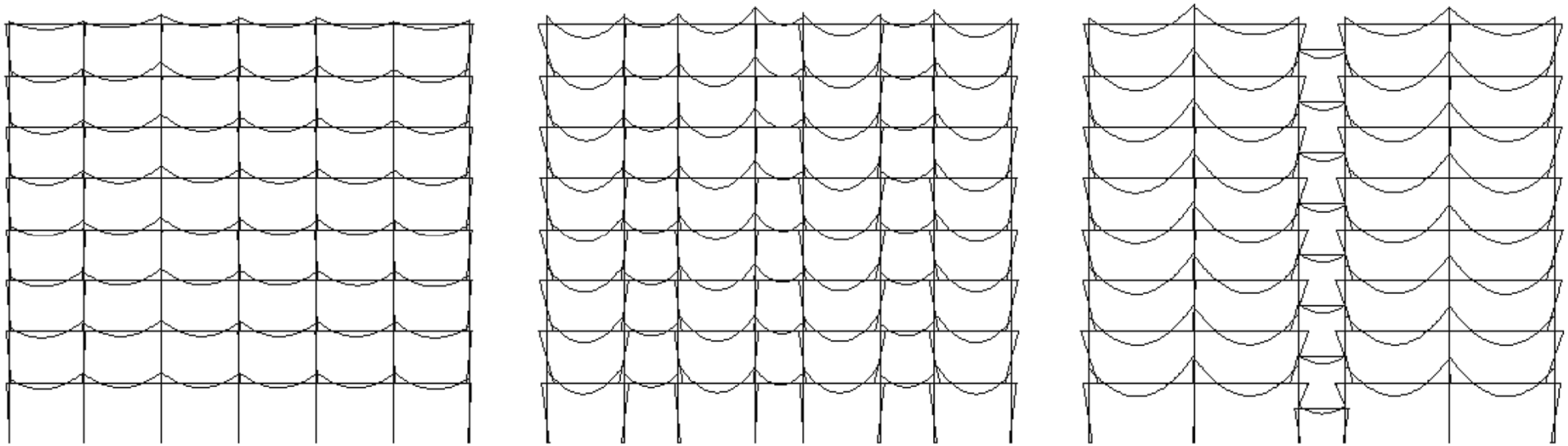


Diagramma del momento flettente prodotto dai carichi verticali

Pushover

direzione x

- Effetto della distribuzione di forze MP

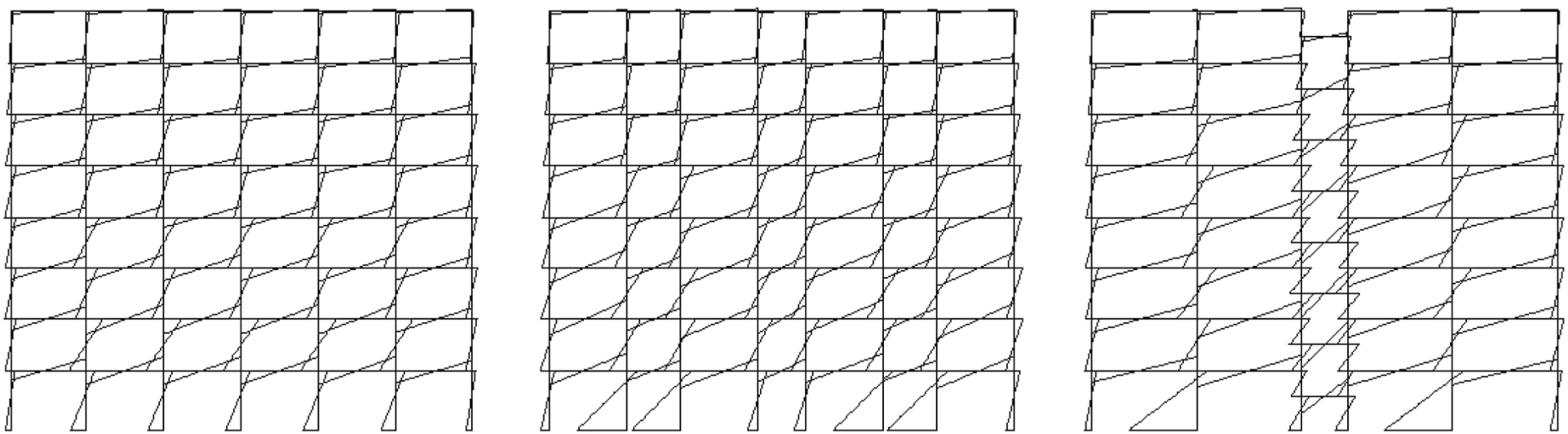


Diagramma del momento flettente prodotto dalla distribuzione di forze

- Si somma all'effetto dei carichi verticali quello delle forze, che vengono fatte crescere man mano

Grafico complessivo delle due pushover

in direzione x

- La relazione forza-spostamento è non lineare

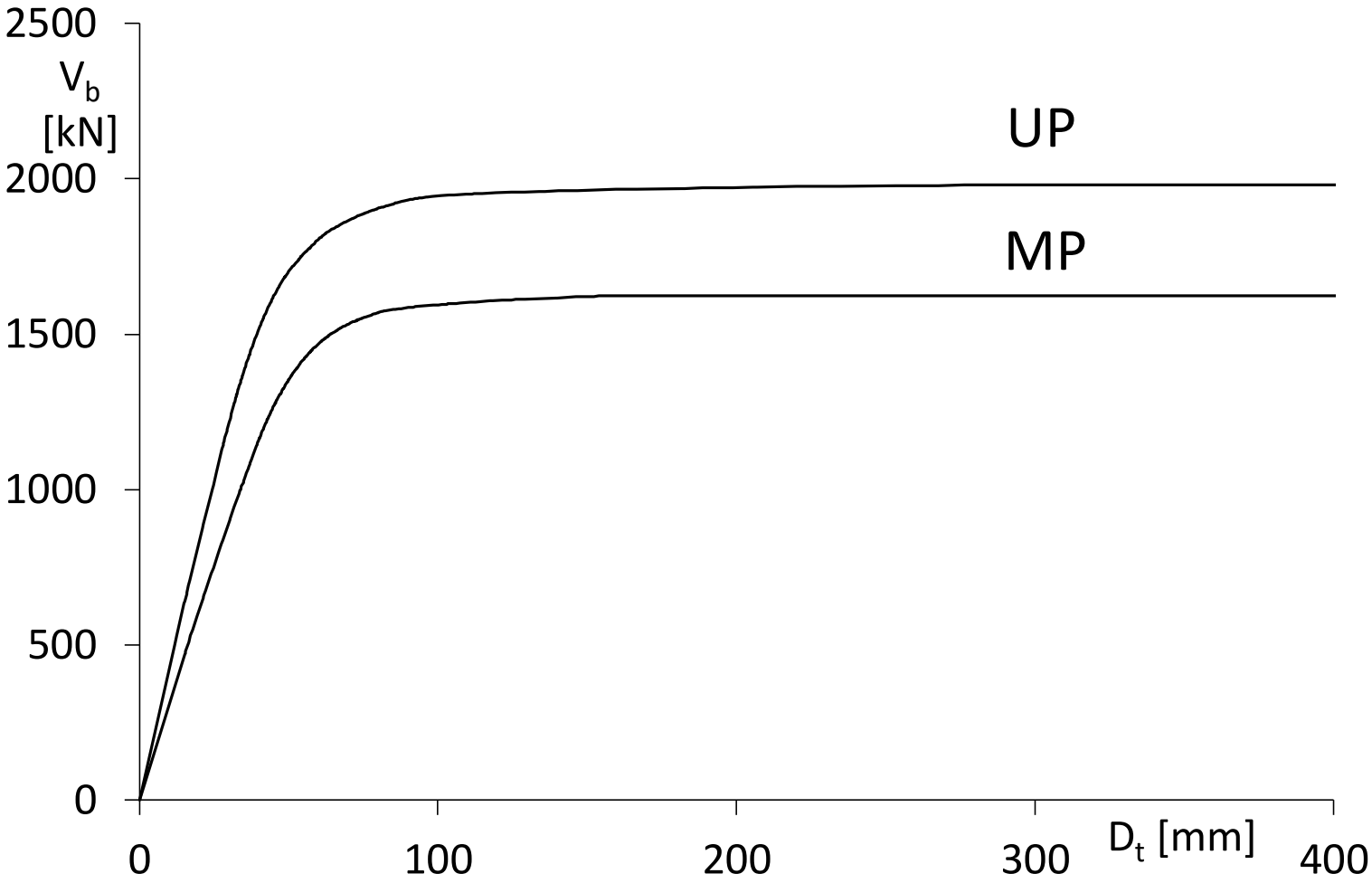
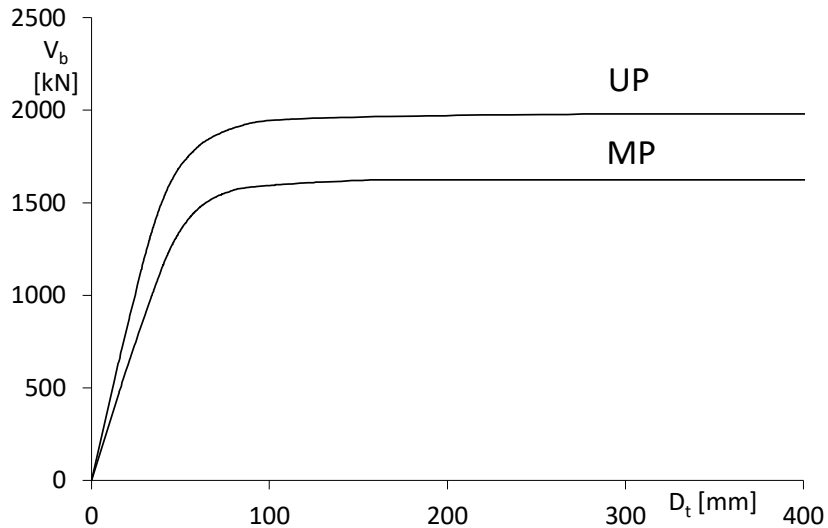


Grafico complessivo delle due pushover

Il grafico forza-spostamento di per sé non dice molto, se non cose ovvie:

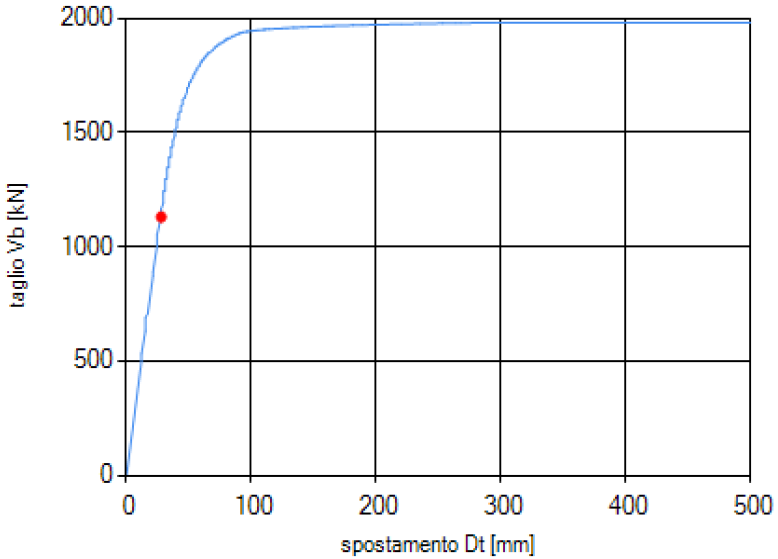
- Con la distribuzione uniforme (UP) la struttura può sopportare forze maggiori
- La pendenza iniziale della curva UP mostra una maggiore rigidezza
  - Ovvio, perché la MP ha forze maggiori in alto, che a parità di taglio sono più dannose per il telaio e provocano spostamenti maggiori

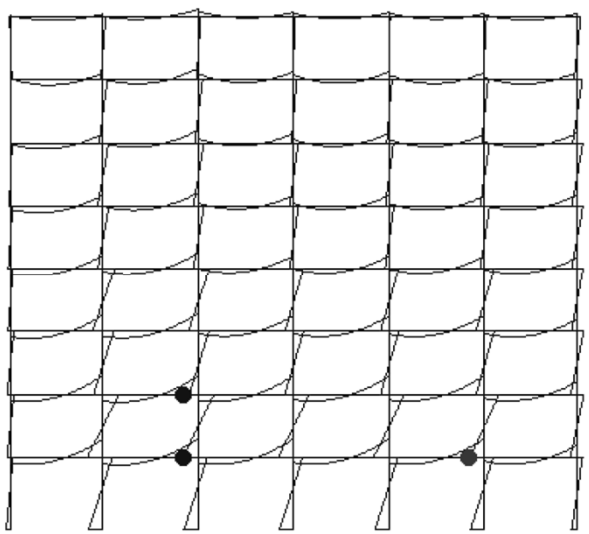


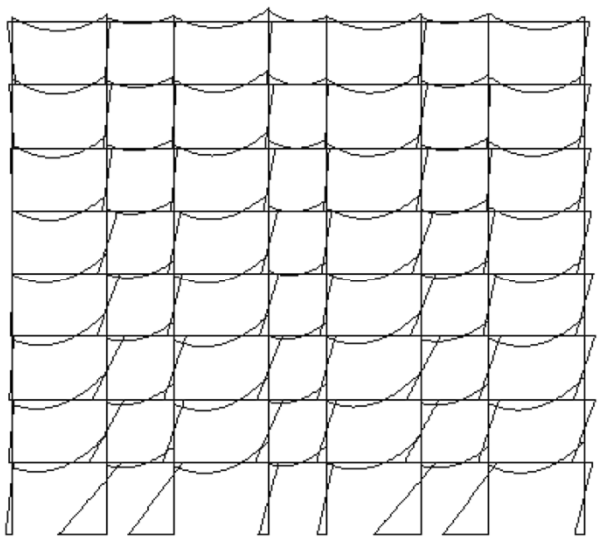
- È invece importante vedere in dettaglio cosa succede al crescere delle forze

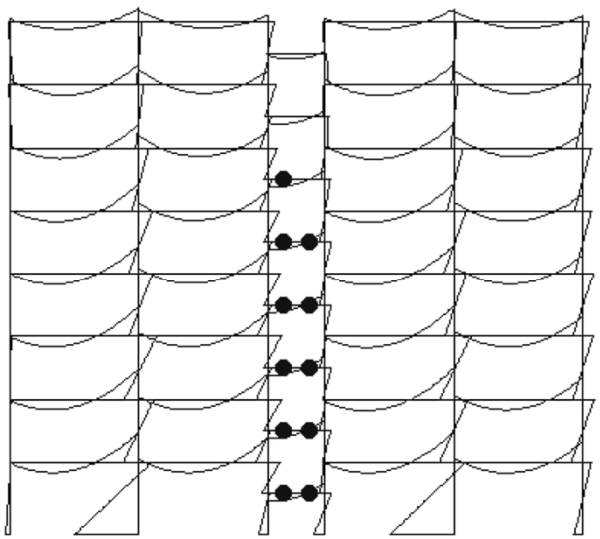
Fasi progressive della pushover x

UP
Cerniere concentrate nella zona scala



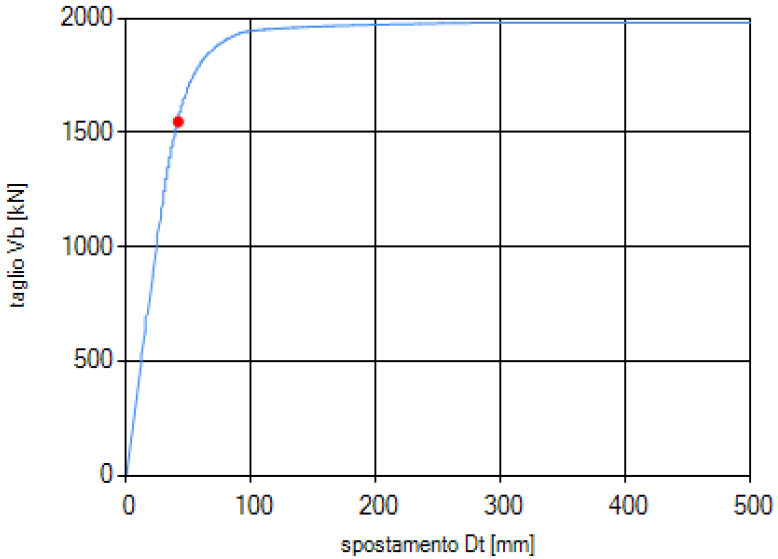


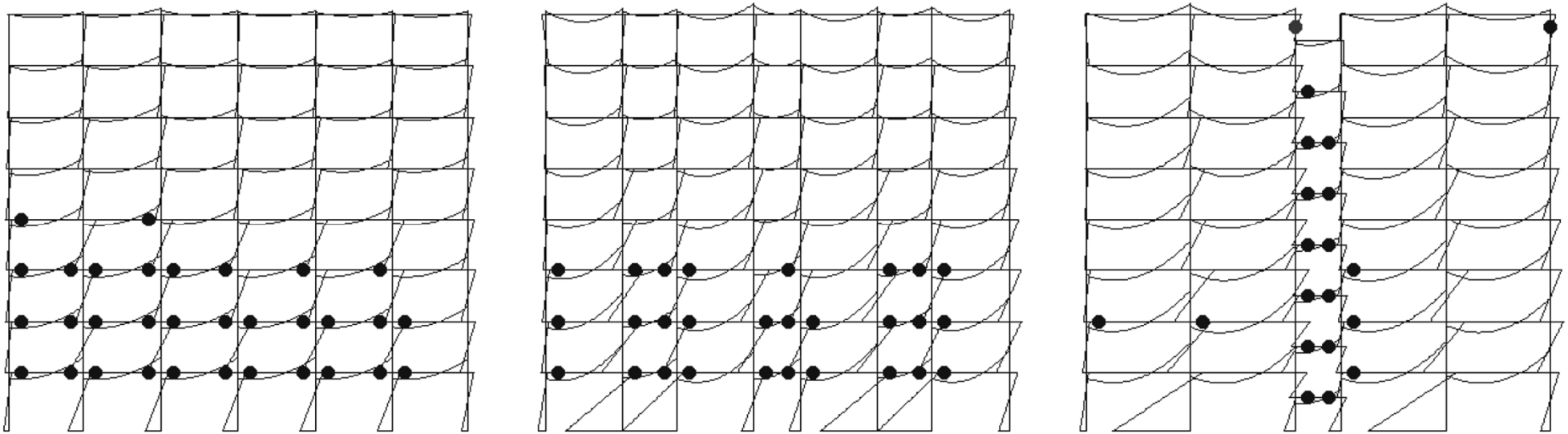




Fasi progressive della pushover x

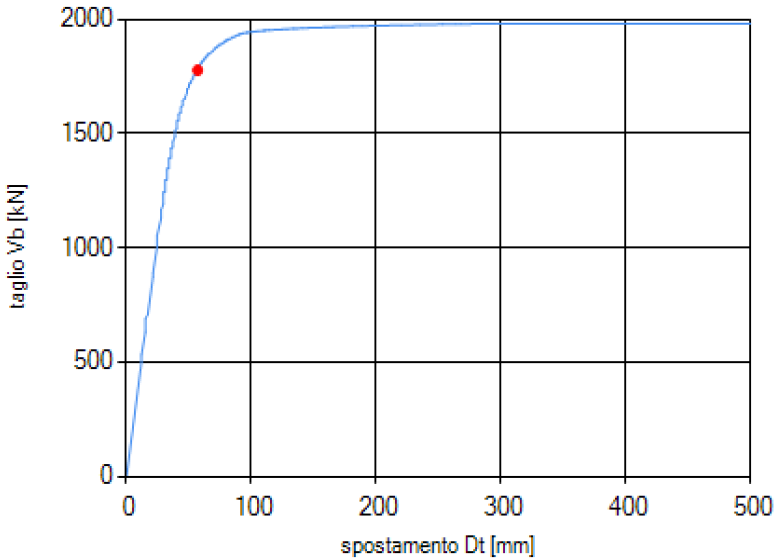
UP
Diffuse cerniere nelle travi dei primi tre impalcati

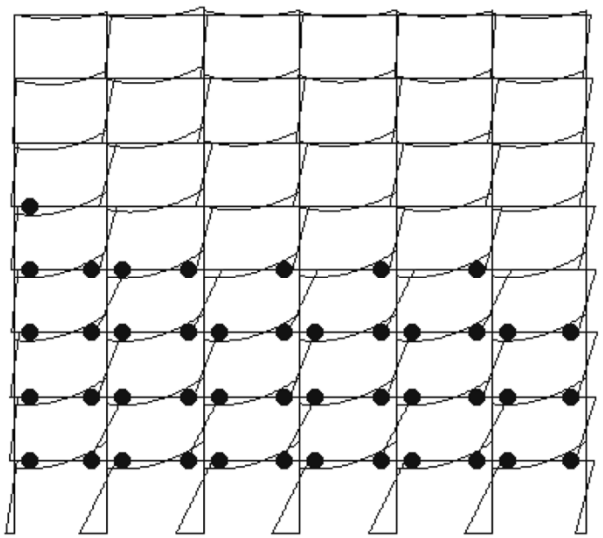


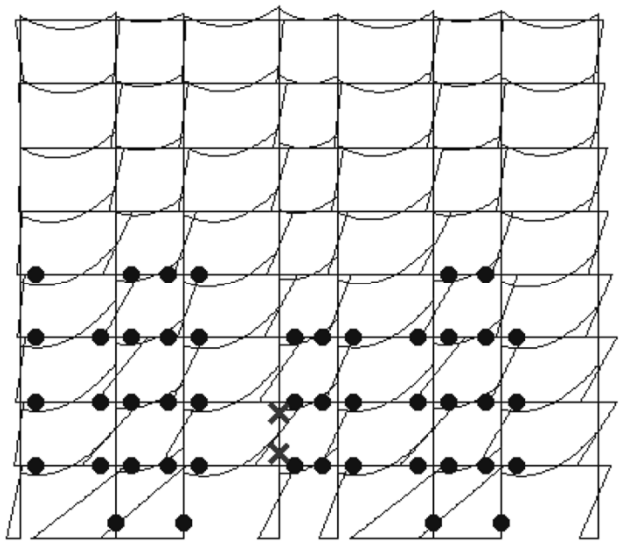


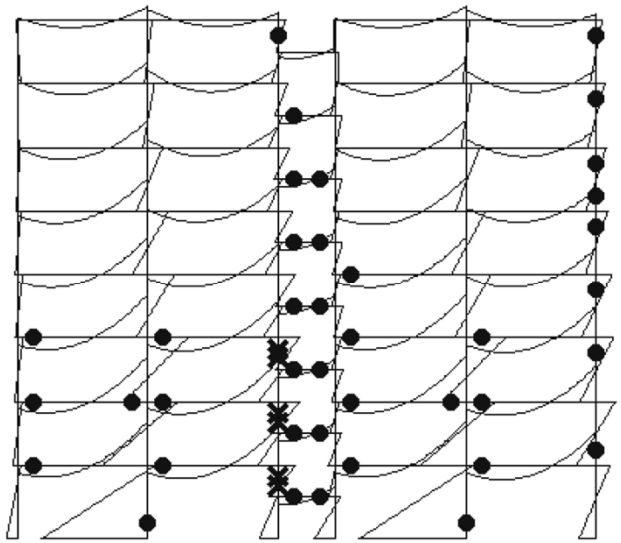
Fasi progressive della pushover x

UP
Iniziano a formarsi cerniere alla base dei pilastri, ma anche rotture a taglio



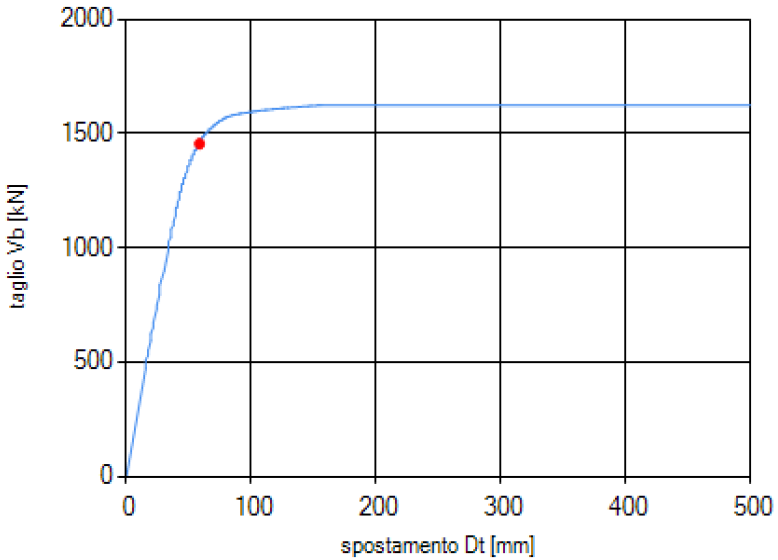






Fasi progressive della pushover x

MP
Avendo forze maggiori ai piani alti,
si hanno numerose cerniere al piede
e in testa a pilastri dei tre ordini
superiori



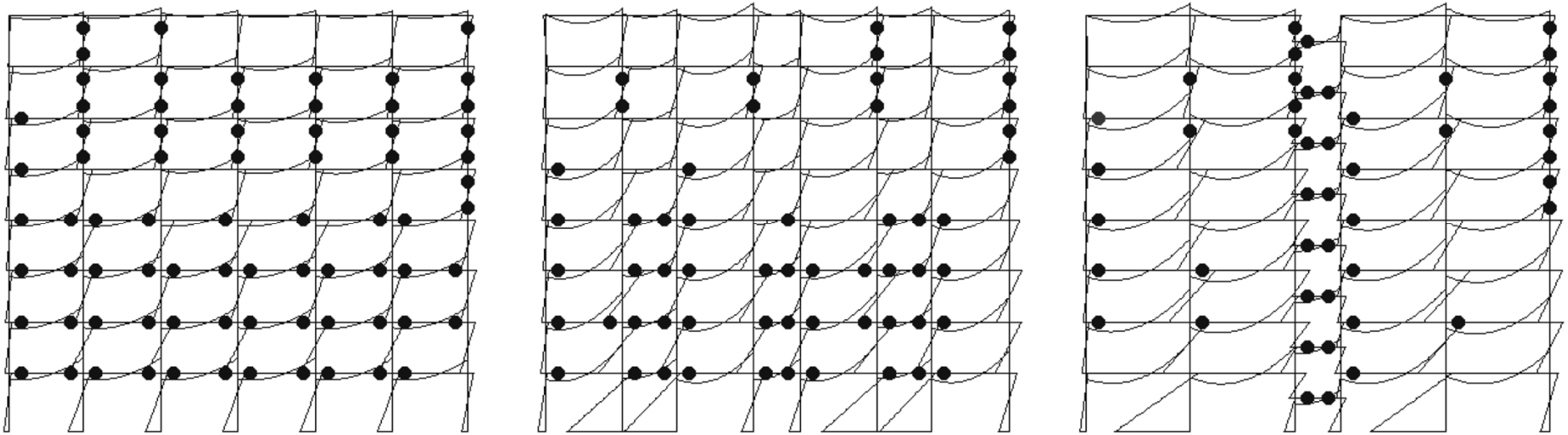


Grafico complessivo delle due pushover

in direzione y

- La relazione forza-spostamento è non lineare

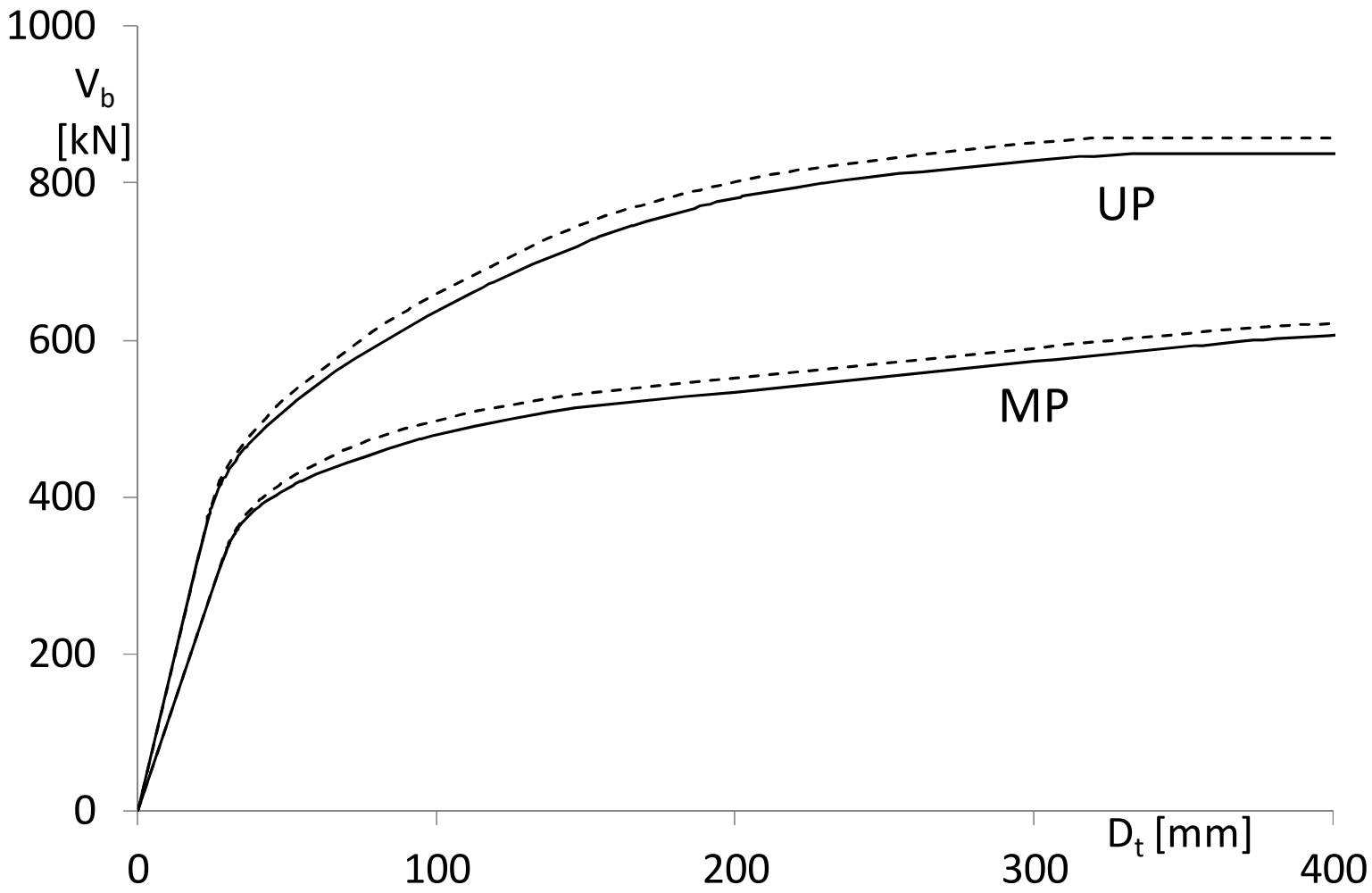
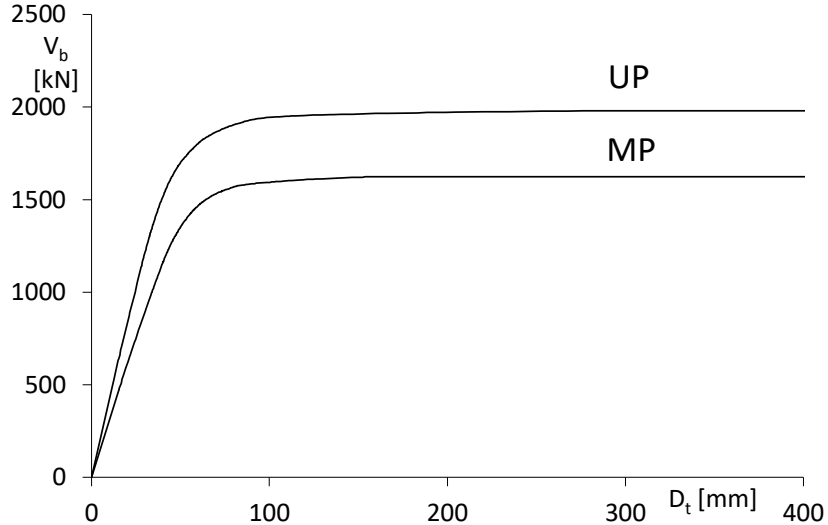


Grafico complessivo delle quattro pushover

Si nota qualche differenza rispetto alla direzione x

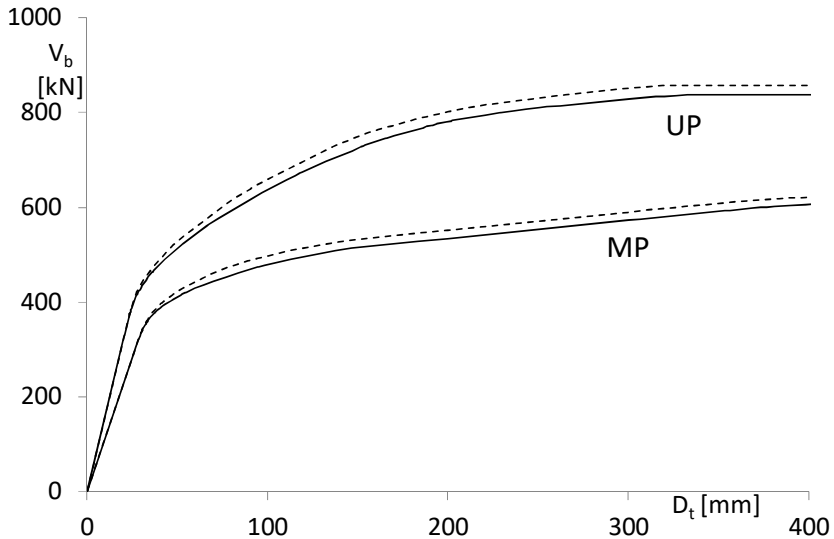
Direzione x

- Plasticizzazione abbastanza concentrata nel gomito della curva, poi tratto orizzontale (labile)



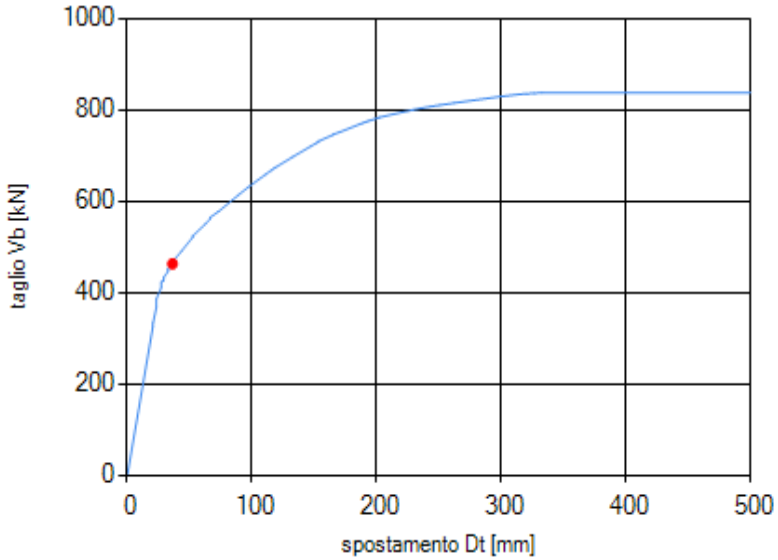
Direzione y

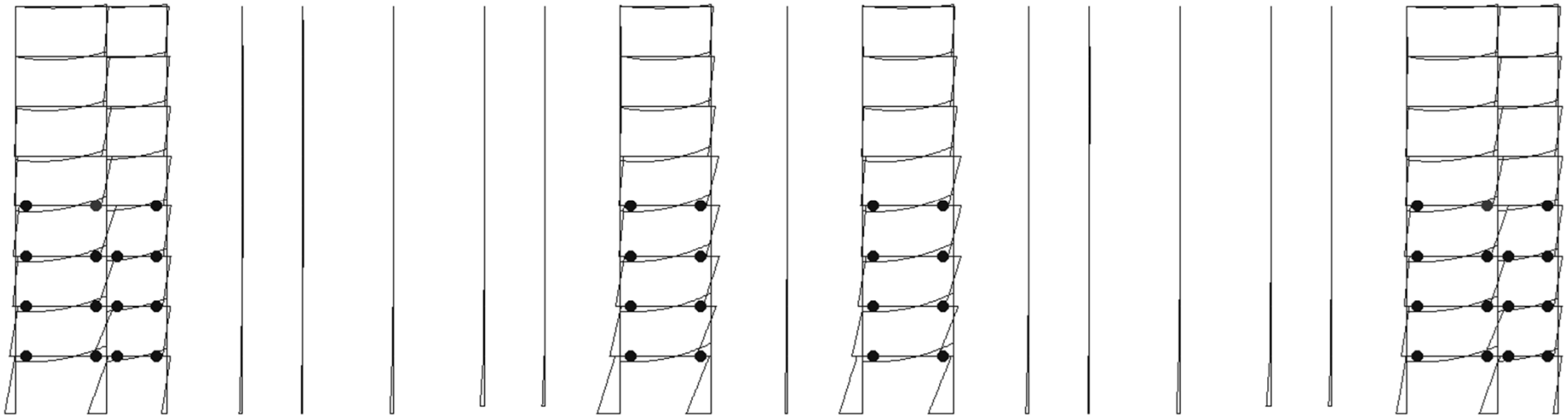
- Dopo il tratto elastico si assesta (specie MP) su un tratto ancora non labile ma molto deformabile



Fasi progressive della pushover y

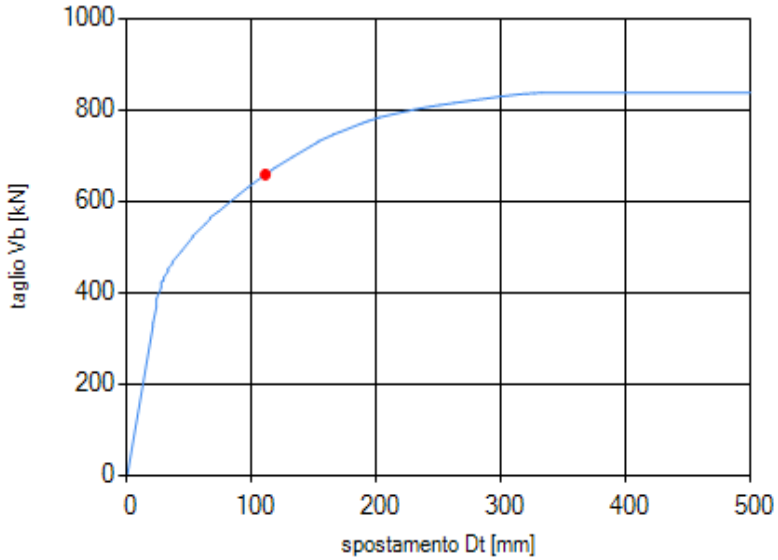
UP
Cerniere nelle travi dei primi quattro impalcati

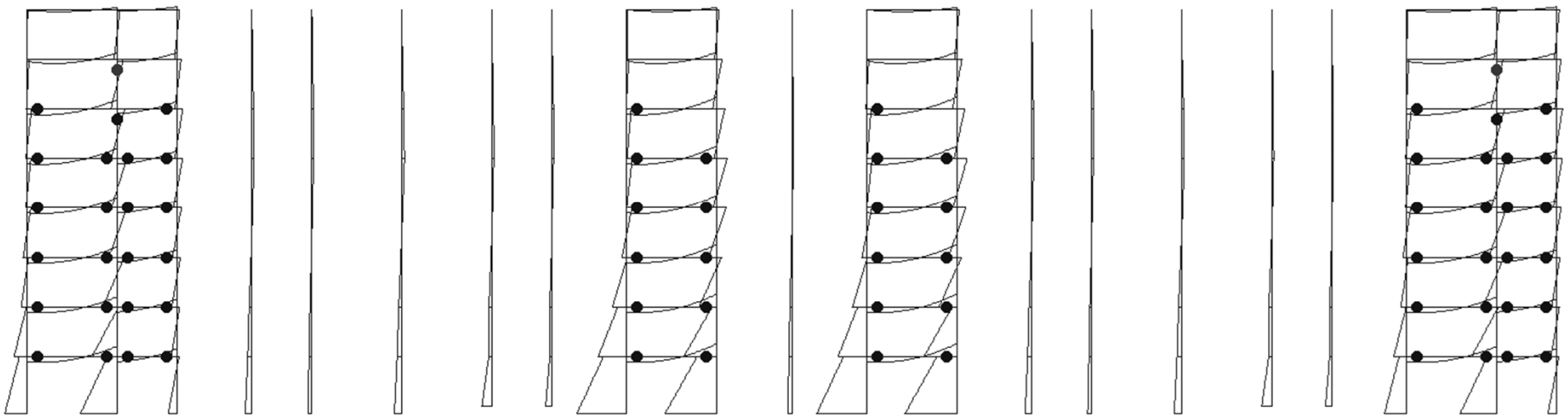




Fasi progressive della pushover y

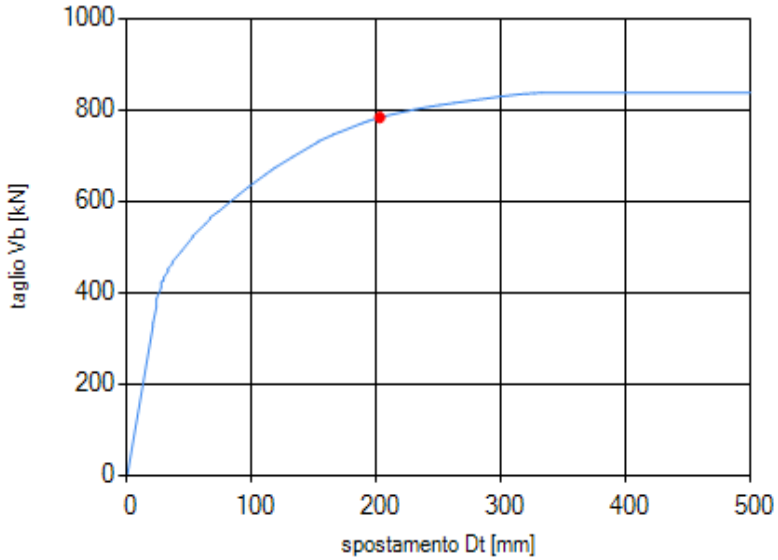
UP
Le cerniere nelle travi si estendono anche agli impalcati superiori
Prime cerniere in pilastri degli ultimi ordini

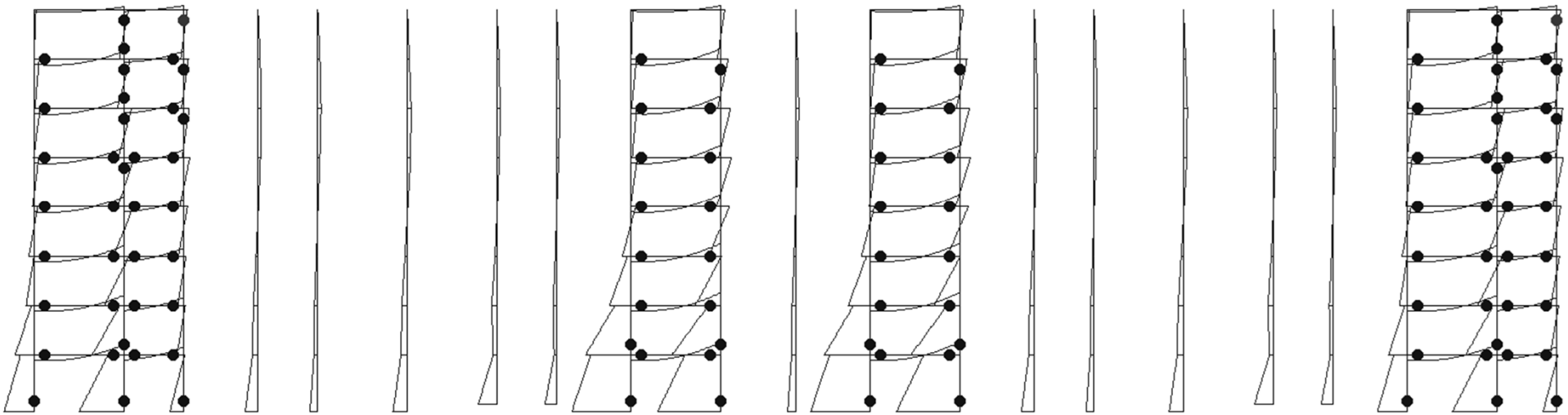


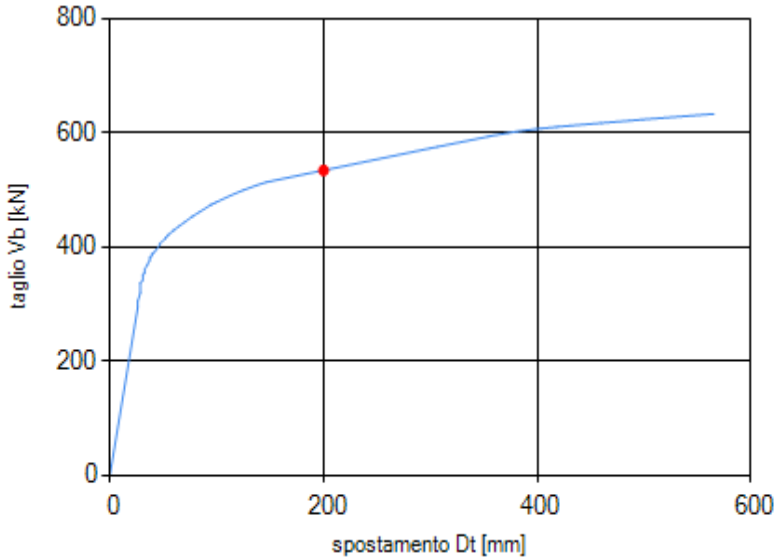
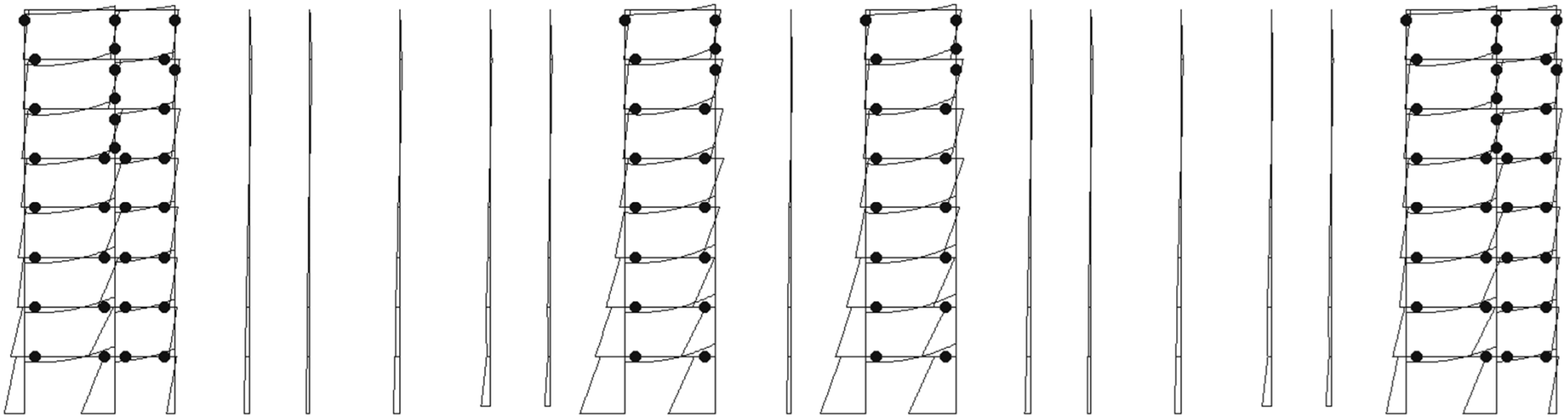


Fasi progressive della pushover y

UP
Si formano cerniere anche al piede dei pilastri del primo ordine
I pilastri isolati sono ancora in campo elastico





Fasi progressive della pushover y

MP
Cerniere in quasi tutte le travi
Cerniere in molti pilastri degli ultimi ordini, non al piede del primo ordine