VERIFICA DI EDIFICI ESISTENTI IN CEMENTO ARMATO

Catania, 25 giugno – 2 luglio 2019

15 – Giudizio sulla struttura (al variare della resistenza o dello schema)

Docente del corso

AURELIO GHERSI

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

Come procedere?

Valutare come cambia la risposta al variare dello schema:

- Per la possibile variazione di resistenza delle singole sezioni
- Per la modifica dello schema, ad esempio per l'inserimento di una soletta rampante o delle tamponature

Variazione della resistenza

- La resistenza del calcestruzzo e dell'acciaio varia
- Si è individuato (e assunto come riferimento) il valore medio f_m
- Nei calcoli si è tenuto conto dell'incertezza utilizzando un fattore di confidenza FC ed utilizzando come valore di calcolo f_m / FC
- Ove fosse più gravoso si dovrebbe utilizzare nel calcolo f_m x FC

Variazione della resistenza

Procedimento ideale:

- Considerare la resistenza come variabile aleatoria, con distribuzione lognormale definita da valore medio e scarto quadratico medio
- Effettuare più volte il calcolo, assegnando ogni volta a ciascuna sezione una resistenza del materiale differente (coerente con la distribuzione)
- Fare una analisi statistica dei risultati ottenuti

Variazione della resistenza

Procedimento possibile:

- Esaminare uno o più schemi limite con resistenza differenziata per vedere cosa cambia

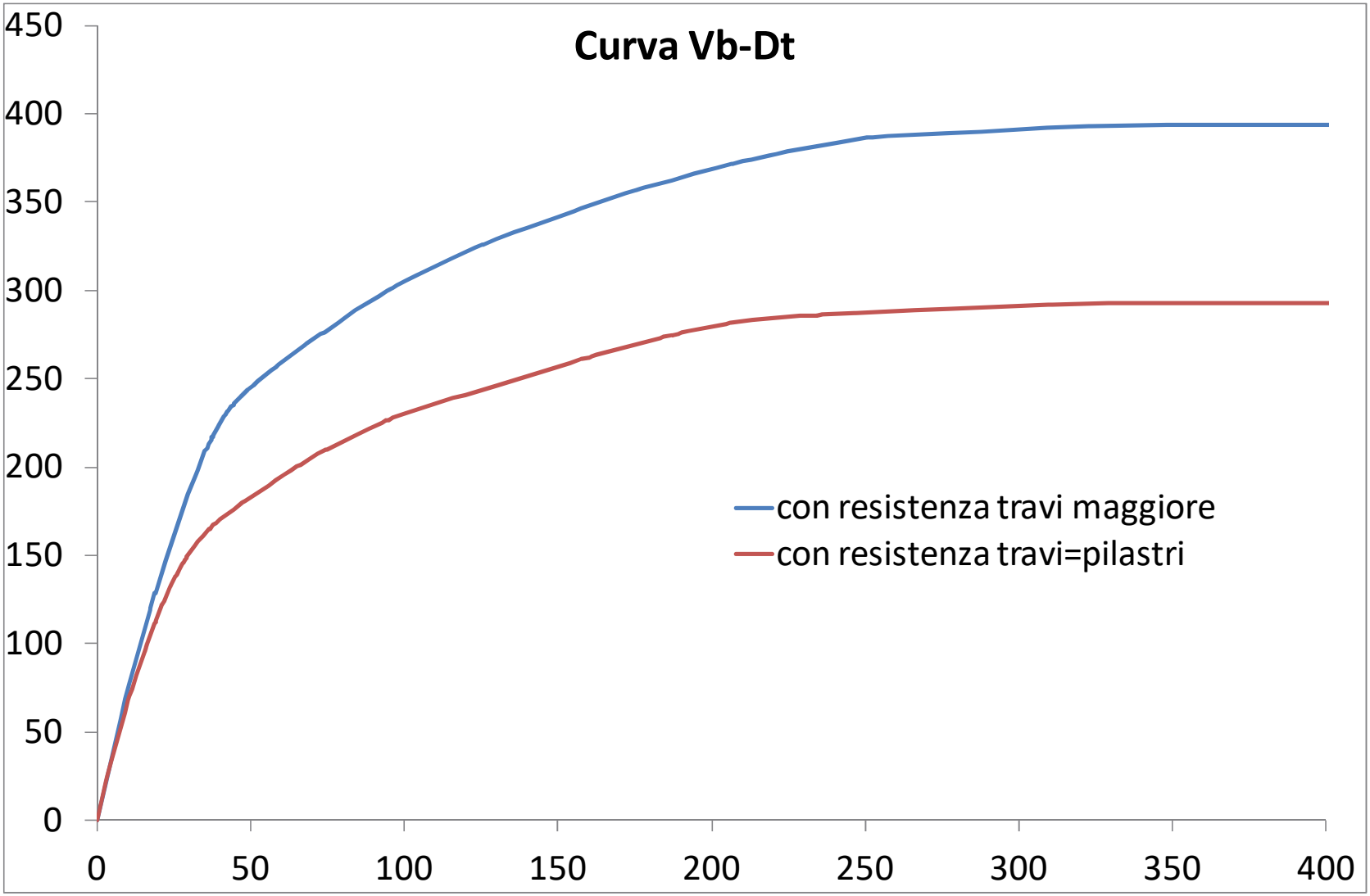
- Ad esempio:
  assegnare a tutti i pilastri la resistenza f_m / FC
  e a tutte le travi la resistenza f_m x FC

  Questo schema porta a sollecitazioni maggiori nei pilastri e a un più forte rischio di rottura a taglio

Variazione della resistenza

risultati ottenuti

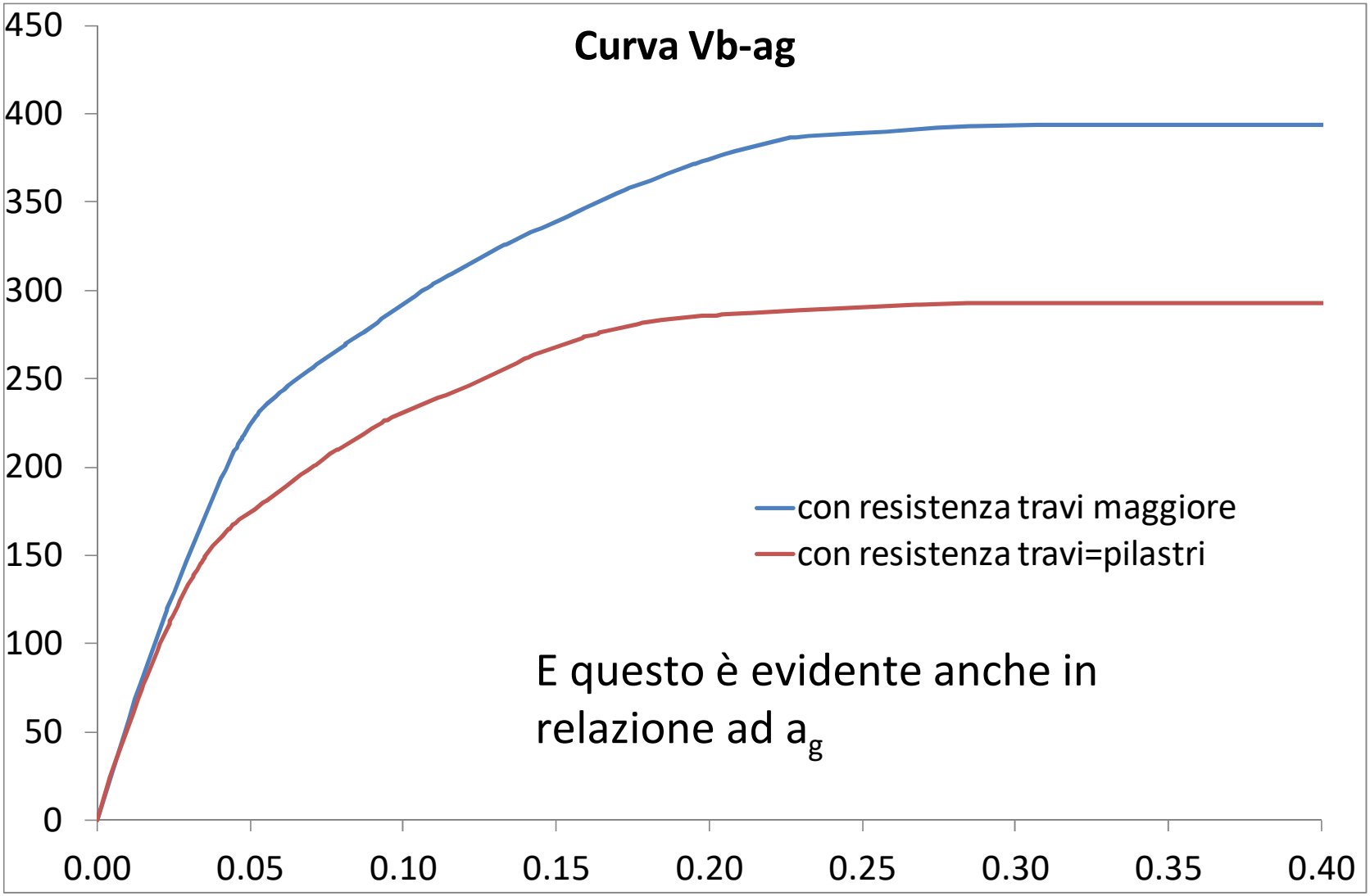
- La resistenza complessiva ovviamente aumenta



Variazione della resistenza

risultati ottenuti

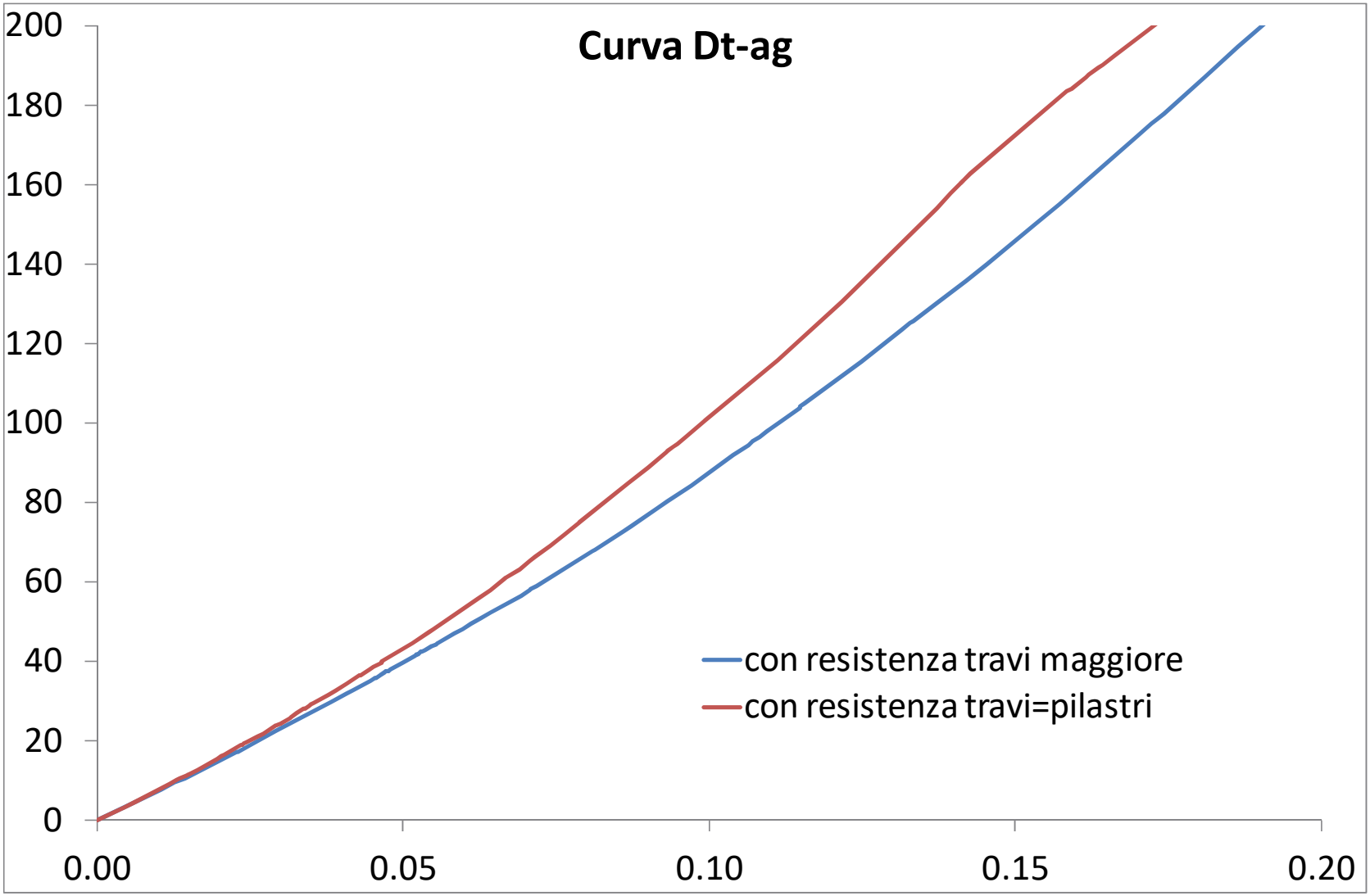
- La resistenza complessiva ovviamente aumenta



Variazione della resistenza

risultati ottenuti

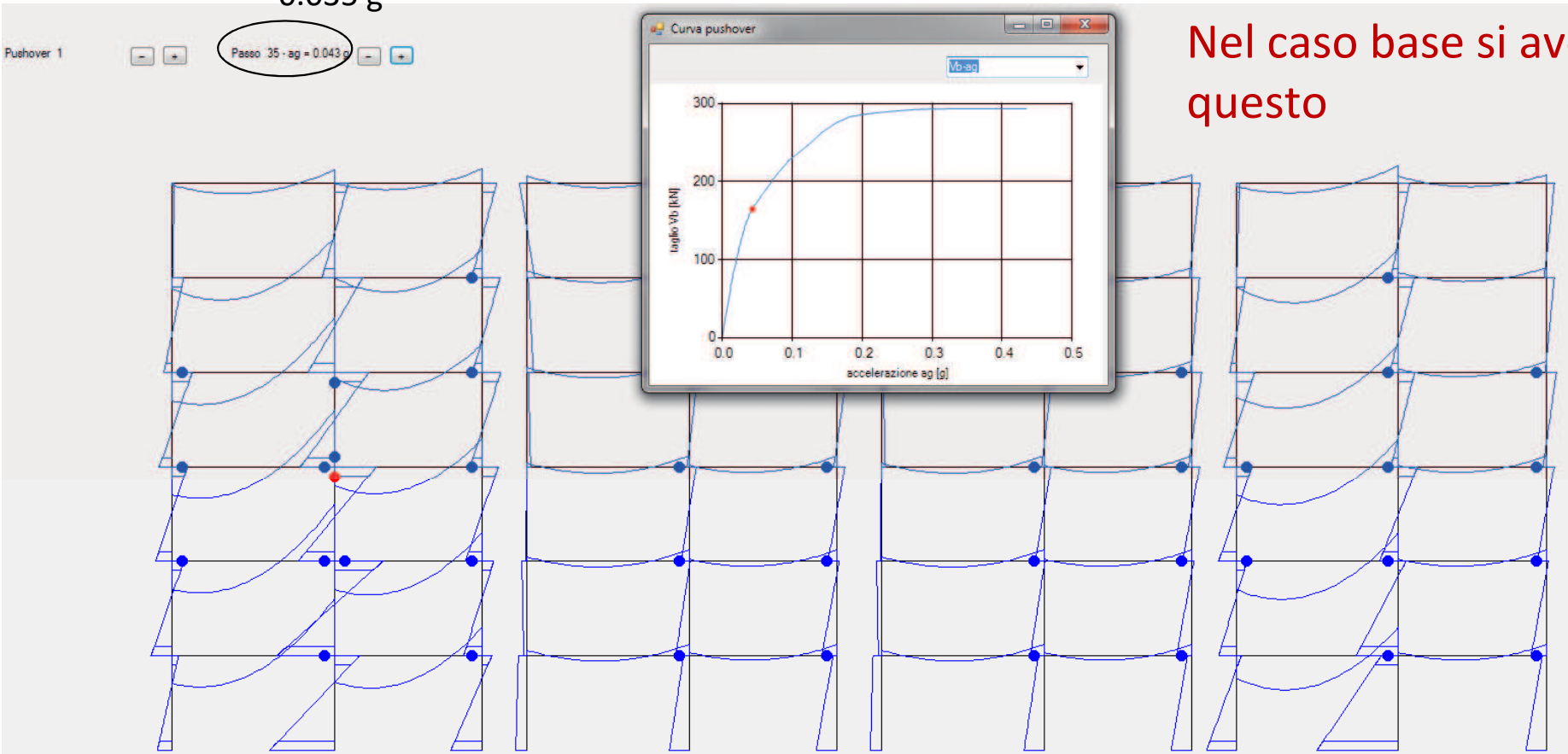
- Lo spostamento è un po' minore (a parità di a_g)



Formazione progressiva

delle cerniere plastiche

0.035 g



Nel caso base si aveva questo

La prima cerniera in un pilastro si forma quando molte travi sono già plasticizzate. L'accelerazione sismica è ancora molto bassa

Formazione progressiva

delle cerniere plastiche

0.045 g

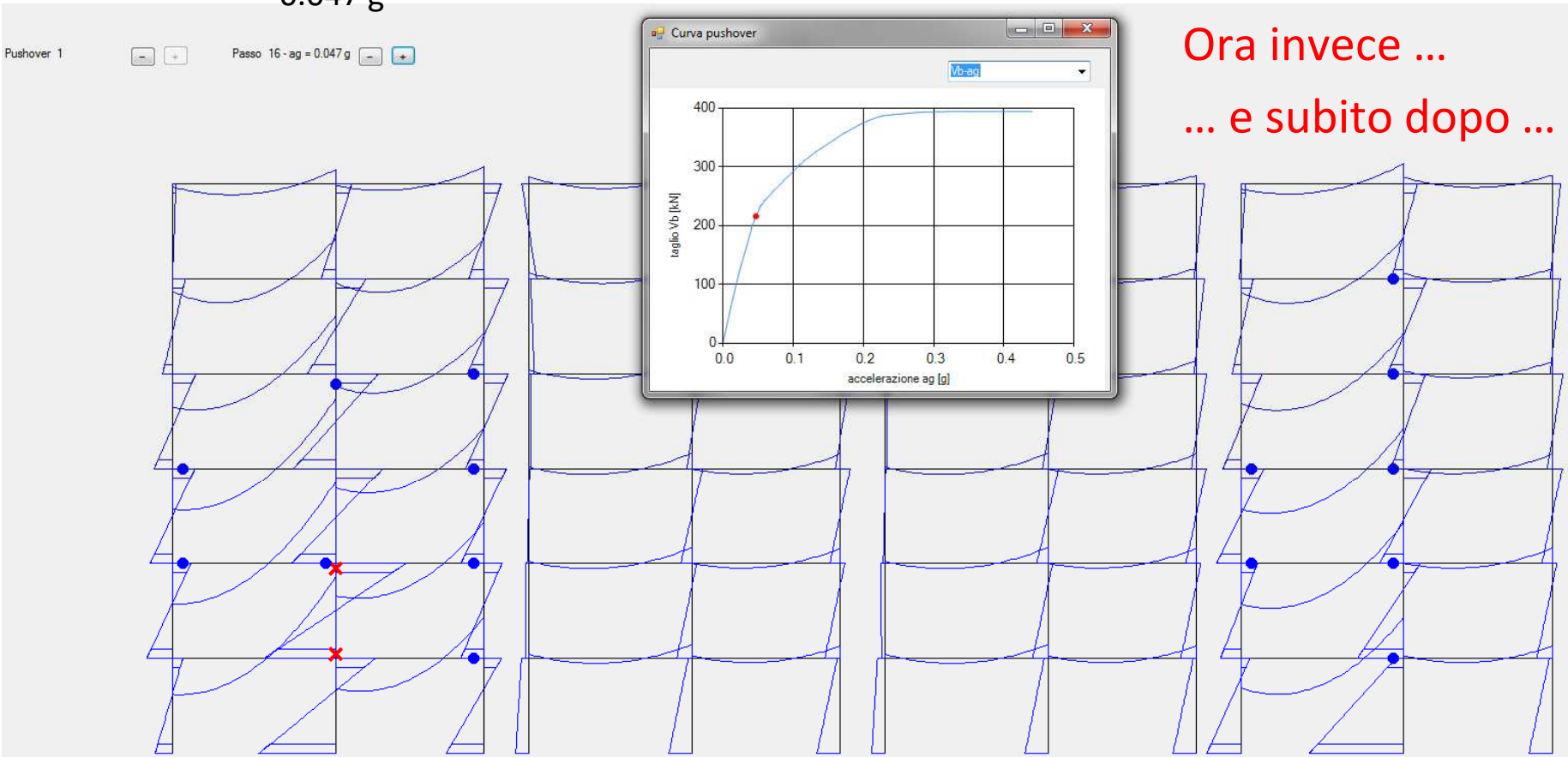
Ora invece …

Si forma la prima cerniera in un pilastro per un'accelerazione bassa (0.045 g).
Solo poche travi sono già plasticizzate

Formazione progressiva

delle cerniere plastiche

0.047 g



Ora invece …

… e subito dopo …

Subito dopo (per 0.047 g) si ha una rottura a taglio in un pilastro

Variazione della resistenza

commento

- Una maggior resistenza delle travi (nell'ambito della possibile variabilità statistica) può modificare l'ordine di formazione delle cerniere e può portare a precoci rotture a taglio dei pilastri

- Con questo schema (limite) si deve concludere che la struttura può portare un sisma con a_g = 0.047 g (anziché 0.105 g)
- Ovviamente è uno schema limite
  Il professionista deciderà quale peso dargli

Modifica dello schema

- Lo schema può essere modificato per tener conto dell'influenza di vari fattori

  Ad esempio:

  - Soletta rampante
    Normalmente non inclusa nello schema, ma la trave intermedia su cui poggia è collegata al pilastro e quindi la soletta costituisce un vincolo mutuo
  - Tamponature
    La presenza di tamponature non è in genere inserita nello schema, ma esse provocano un irrigidimento e azioni concentrate sui pilastri in adiacenza agli estremi

Modifica dello schema

- Lo schema può essere modificato per tener conto dell'influenza di vari fattori

  Questi fattori non possono essere trattati dal punto di vista probabilistico perché non sono variabili aleatorie definibili mediante una opportuna distribuzione probabilistica

  Si parla in questo caso di variabili epistemiche

  In mancanza di indicazioni probabilistiche affidabili solo il progettista può giudicare quale peso dare a ciascun fattore epistemico

Modifica dello schema

soletta rampante

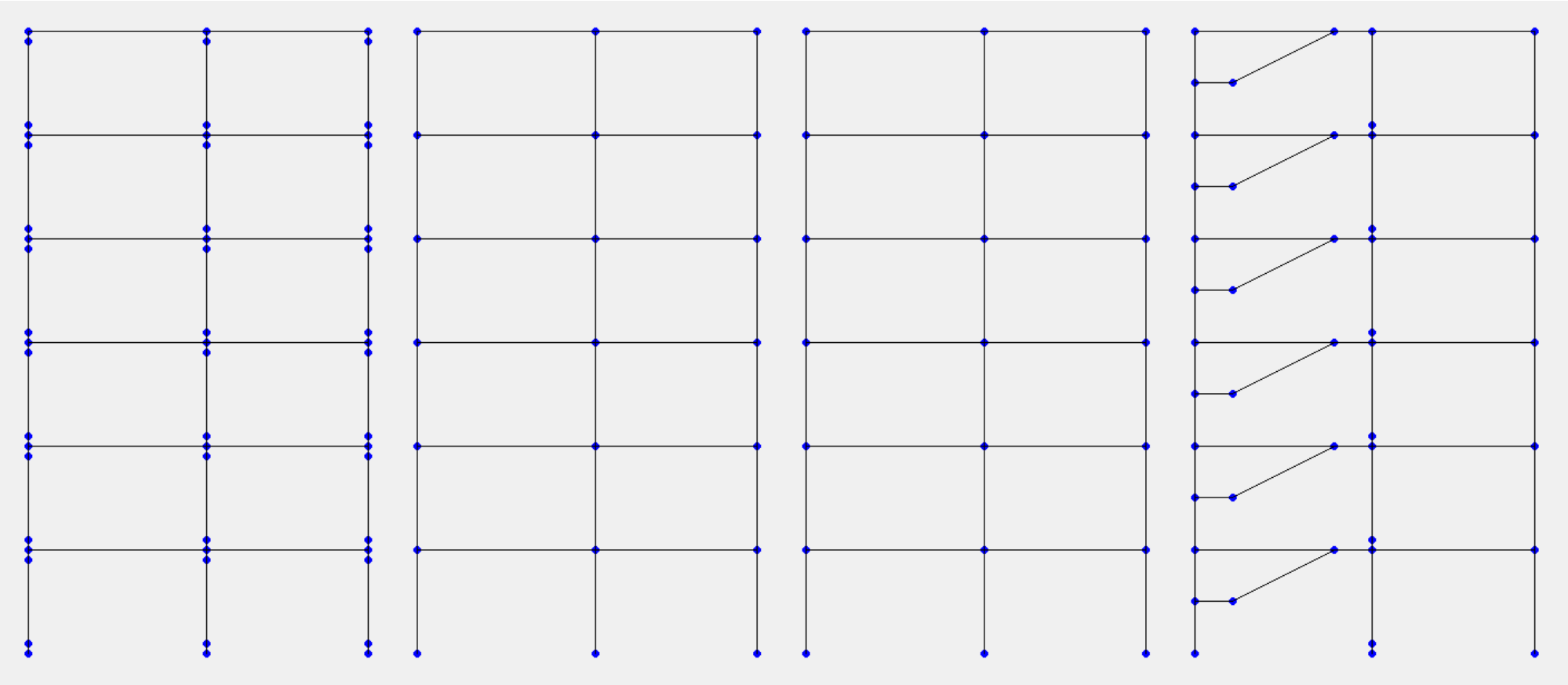
- Ho modellato la struttura inserendo la soletta rampante a tutti i piani

  Ho ipotizzato per ciascuna soletta due aste, collegate alla struttura base mediante cerniere (perché agiscono in un piano parallelo al telaio ed occorrerebbe forte rigidezza torsionale per trasmettere un momento flettente)

Modifica dello schema

soletta rampante

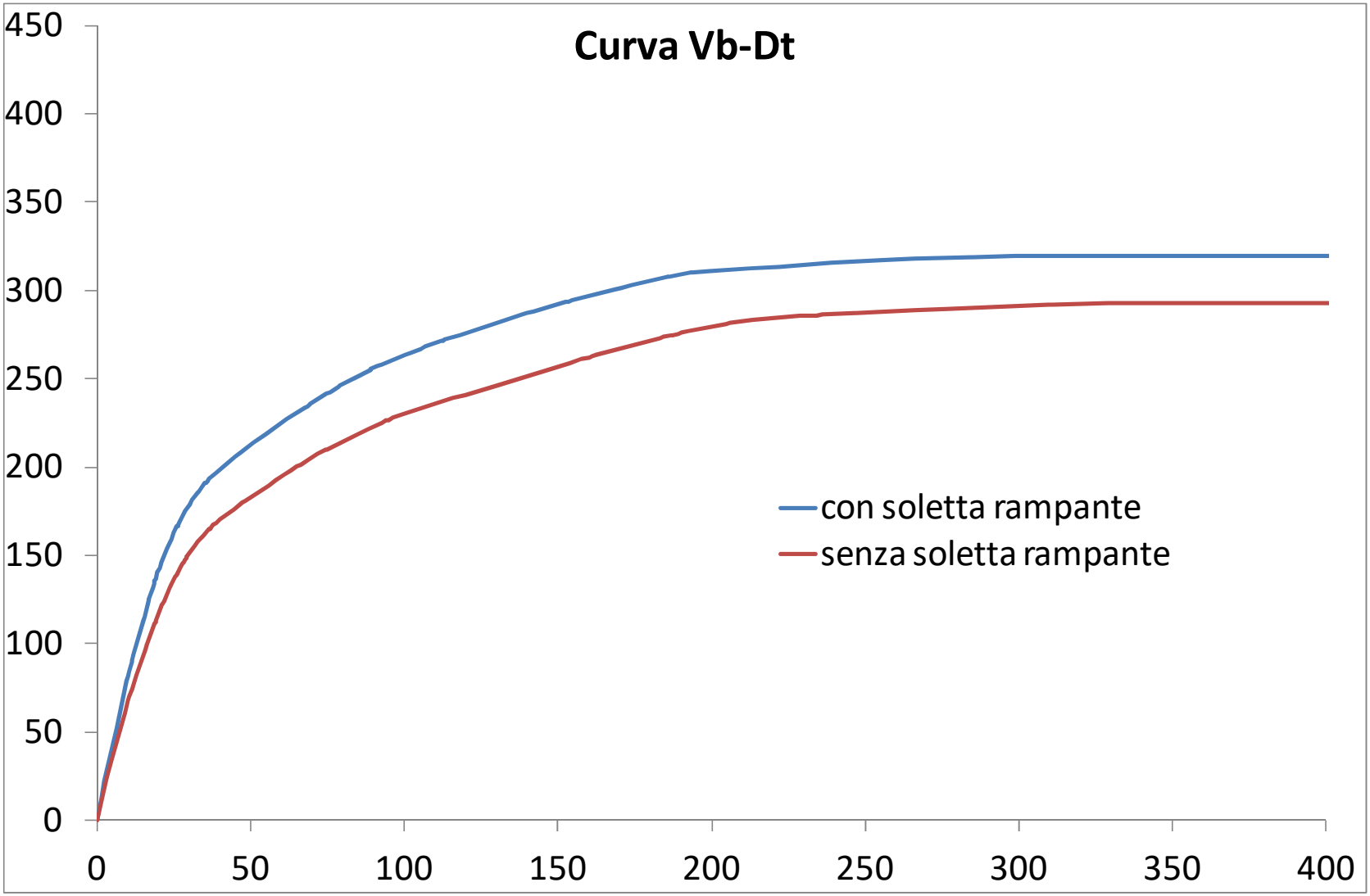
- Schema utilizzato nel calcolo



Modifica dello schema

soletta rampante

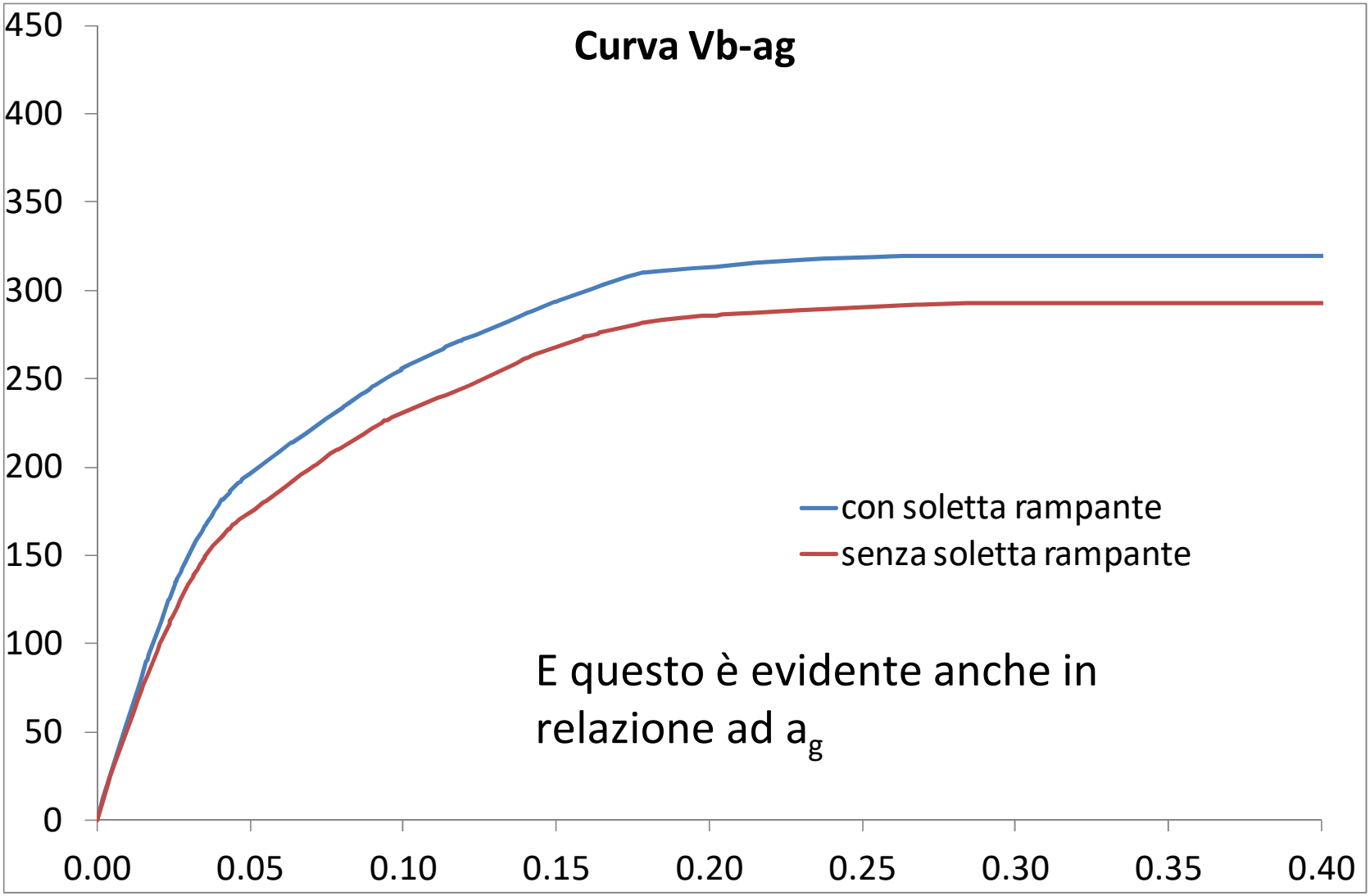
- La resistenza complessiva aumenta un po’



Modifica dello schema

soletta rampante

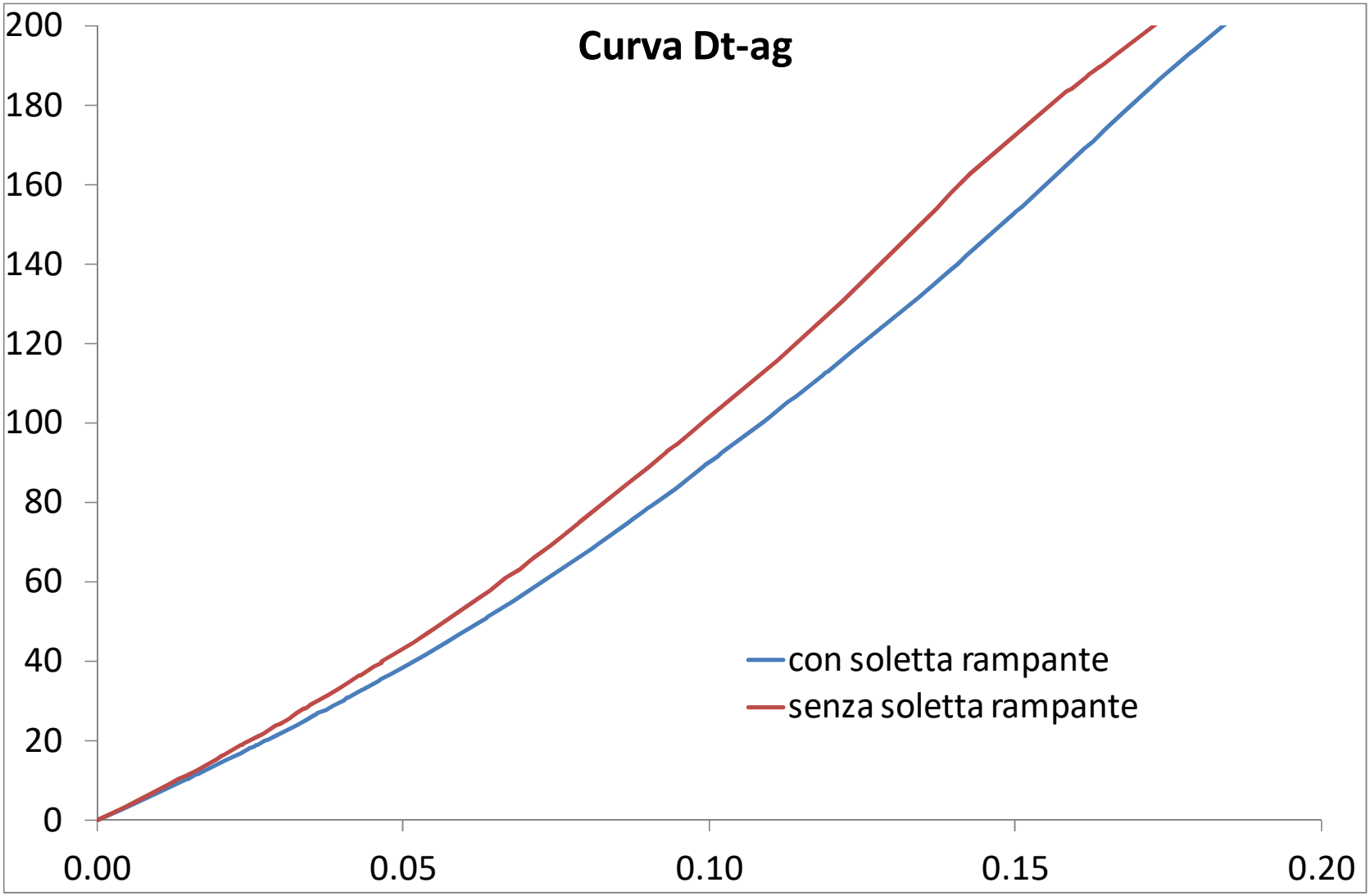
- La resistenza complessiva aumenta un po’



Modifica dello schema

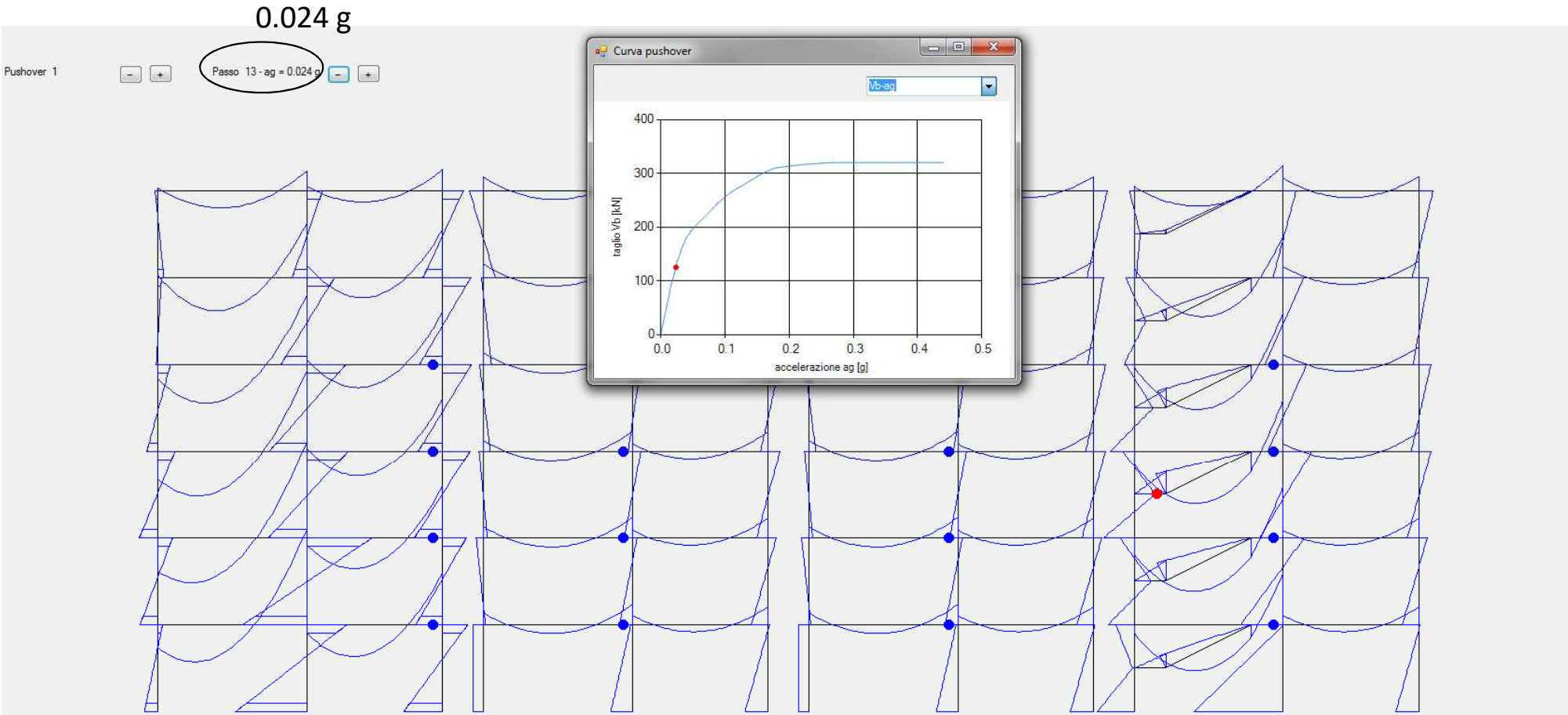
soletta rampante

- Lo spostamento è un po' minore (a parità di a_g)



Modifica dello schema

soletta rampante

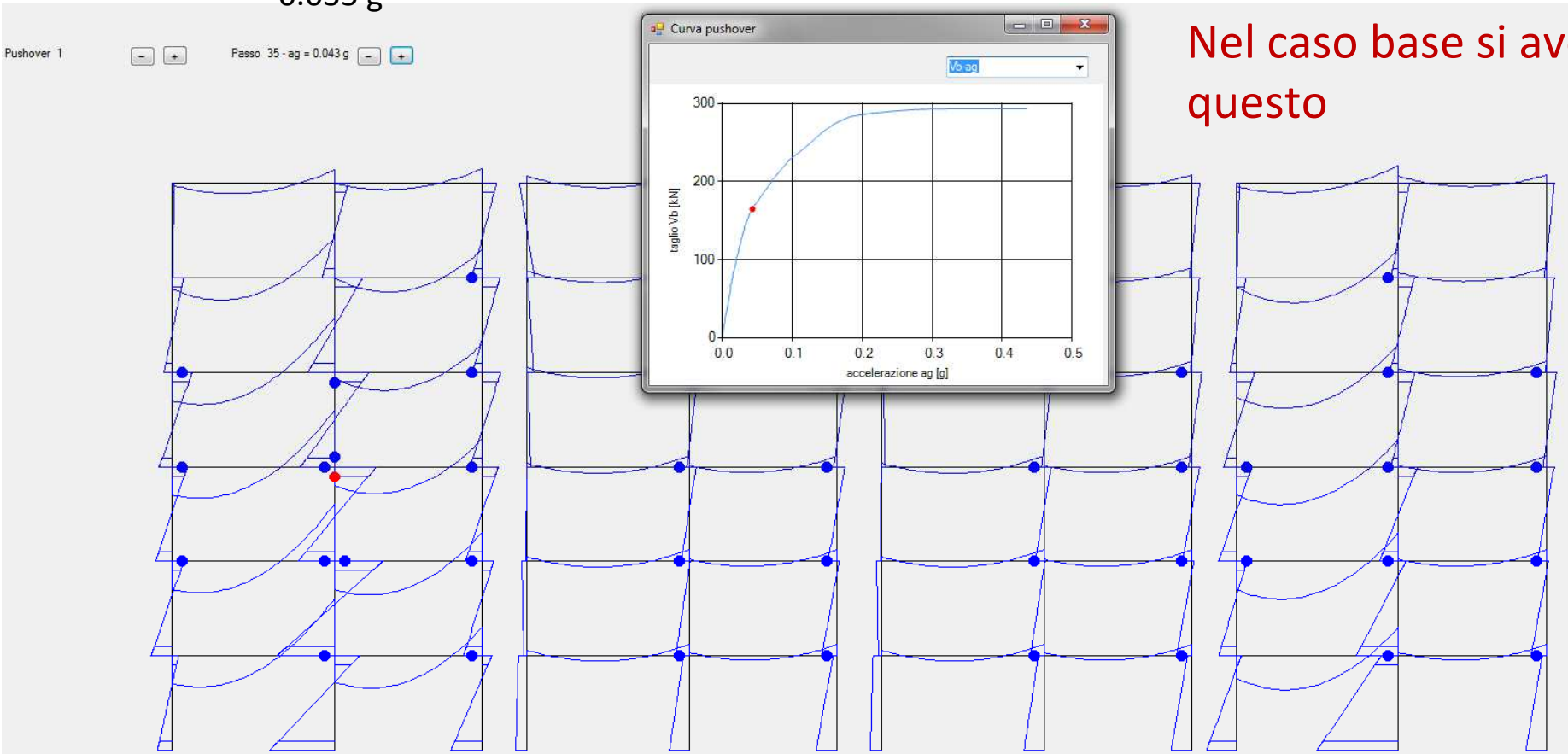


Anche la soletta comincia a danneggiarsi quando l'accelerazione sismica è ancora molto bassa

Formazione progressiva

delle cerniere plastiche

0.035 g



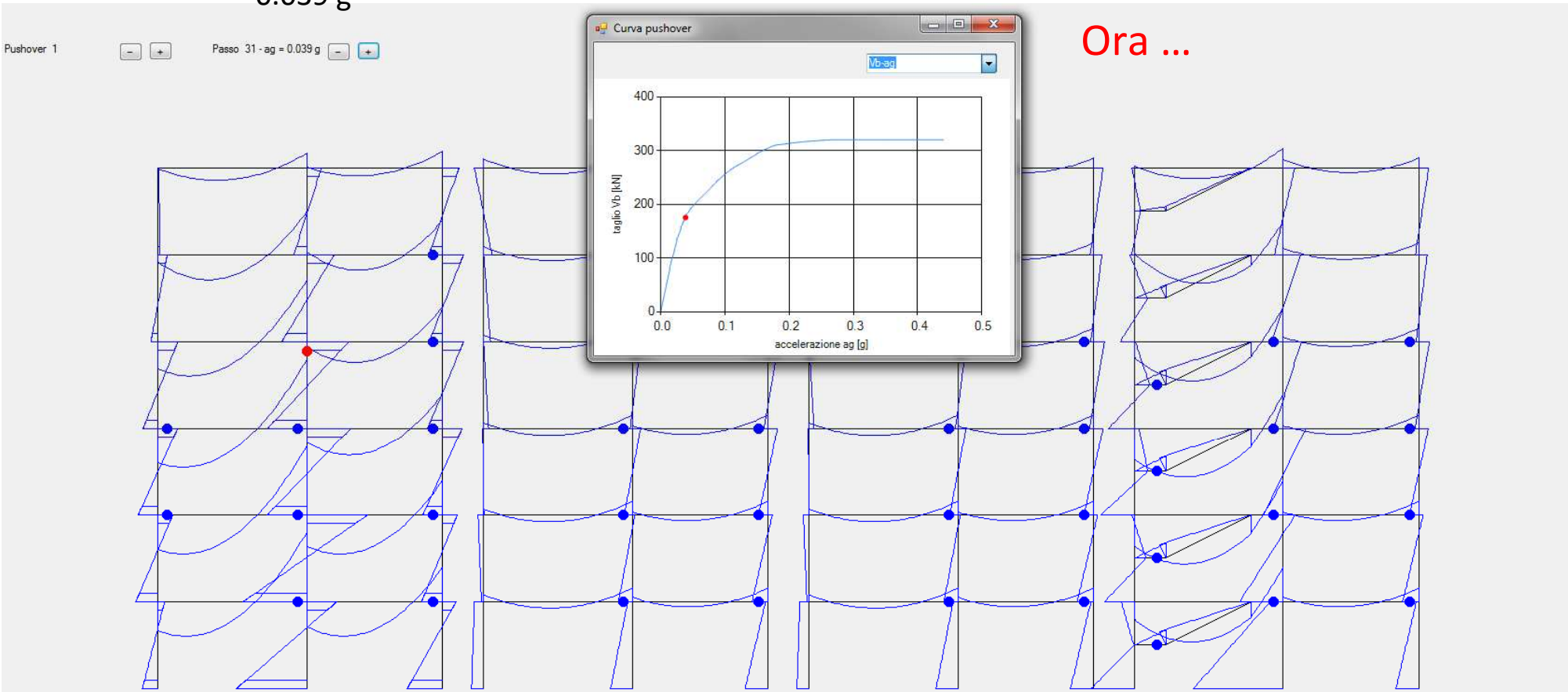
Nel caso base si aveva questo

La prima cerniera in un pilastro si forma quando molte travi sono già plasticizzate. L'accelerazione sismica è ancora molto bassa

Formazione progressiva

delle cerniere plastiche

0.039 g



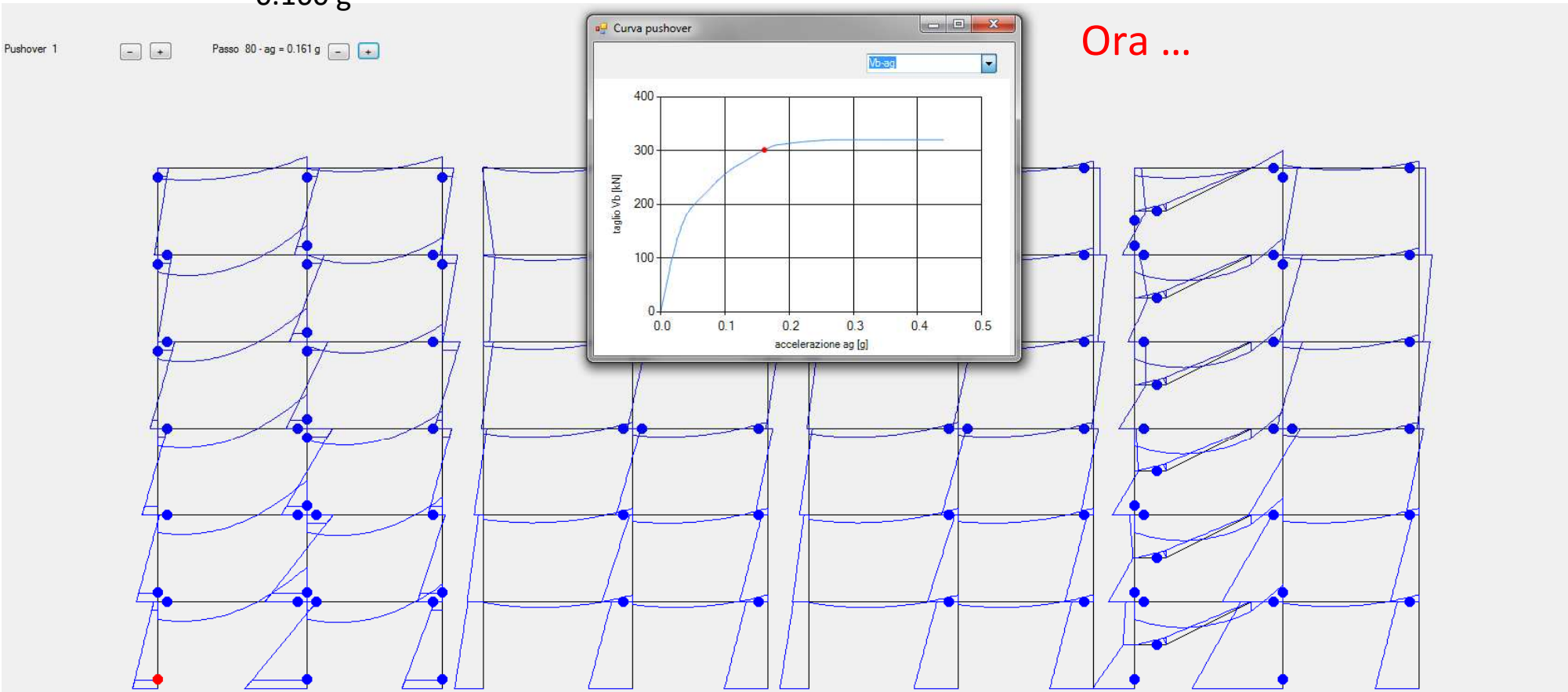
Ora …

Si forma la prima cerniera in un pilastro per un'accelerazione bassa (0.039 g), quando molte travi sono già plasticizzate

Formazione progressiva

delle cerniere plastiche

0.160 g



Ora …

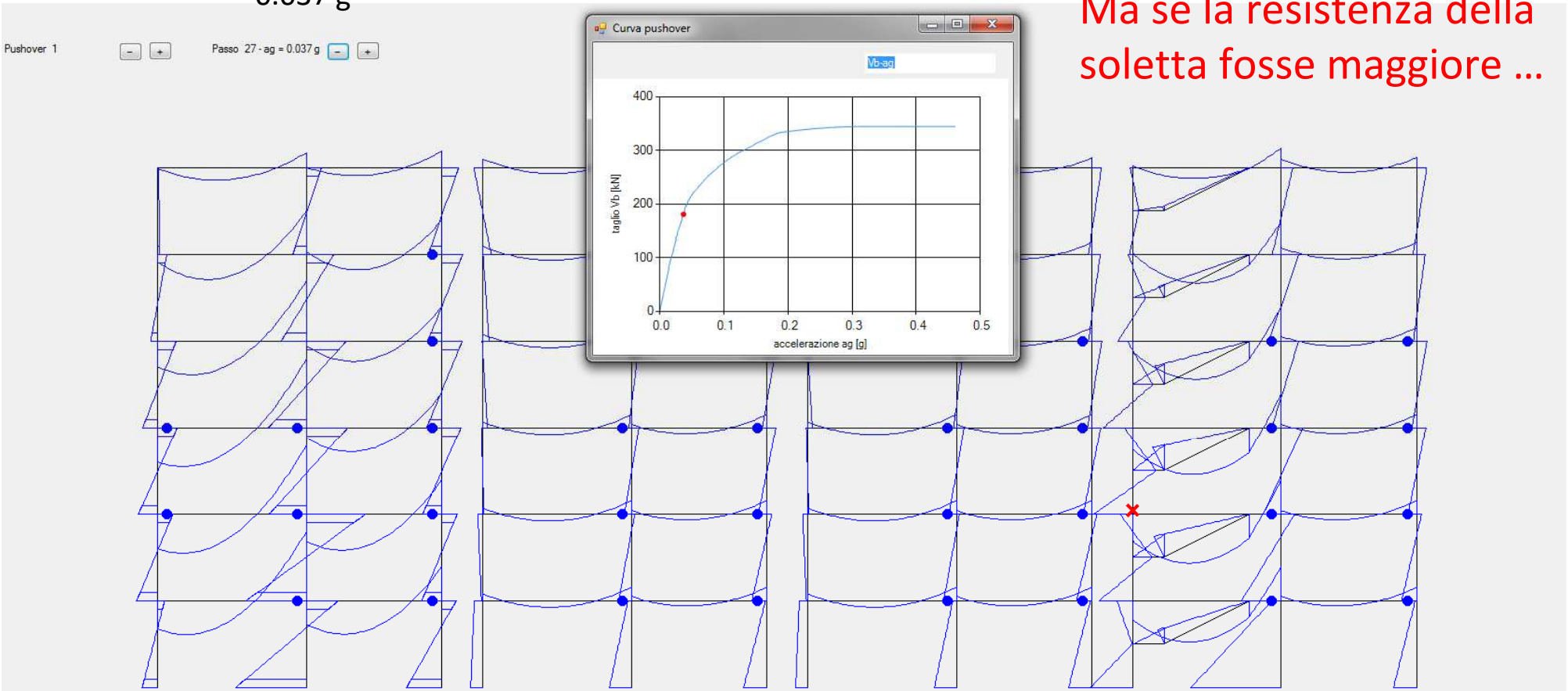
Per un valore di a_g pari a 0.16 g la struttura ha raggiunto oltre il 90% della sua capacità (in termini di V_b) ed è danneggiata in maniera diffusa, ma sempre principalmente nelle travi

Formazione progressiva

delle cerniere plastiche

0.037 g

Ma se la resistenza della soletta fosse maggiore …



Per una accelerazione molto bassa (0.037 g) si avrebbe la rottura a taglio del tratto “corto” di pilastro vicino alla soletta

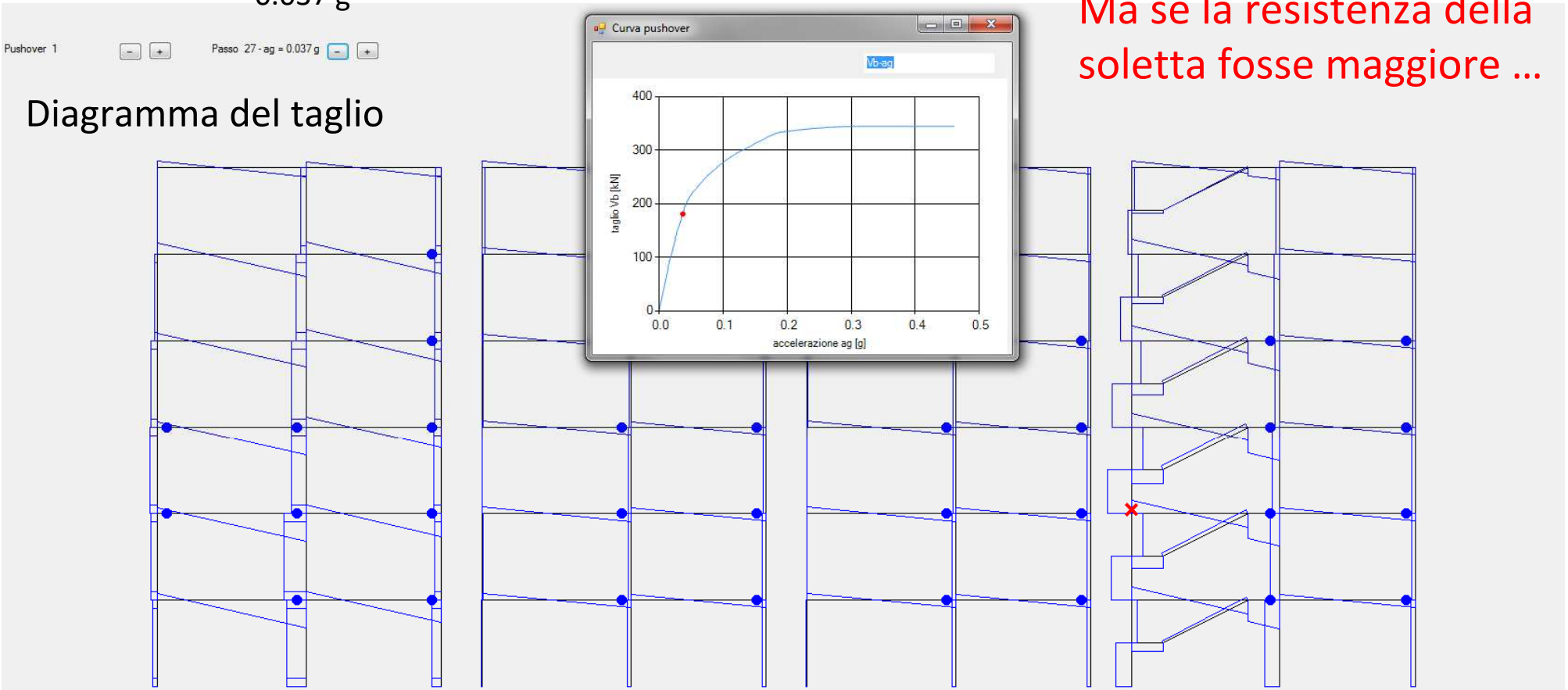
Formazione progressiva

delle cerniere plastiche

0.037 g

Ma se la resistenza della soletta fosse maggiore …

Diagramma del taglio



Per una accelerazione molto bassa (0.037 g) si avrebbe la rottura a taglio del tratto “corto” di pilastro vicino alla soletta

Soletta rampante

commento

- La presenza di una soletta rampante può essere poco rilevante se la sua resistenza è modesta, perché si plasticizza anticipatamente, come le travi, ed il suo contributo scompare

- … ma la soletta rampante porta un incremento del taglio nel pilastro adiacente e se la soletta non si plasticizza il pilastro può rompersi prematuramente a taglio

Modifica dello schema

tamponature

Il modello della struttura deve essere tridimensionale e rappresentare in modo adeguato le effettive distribuzioni spaziali di massa, rigidezza e resistenza

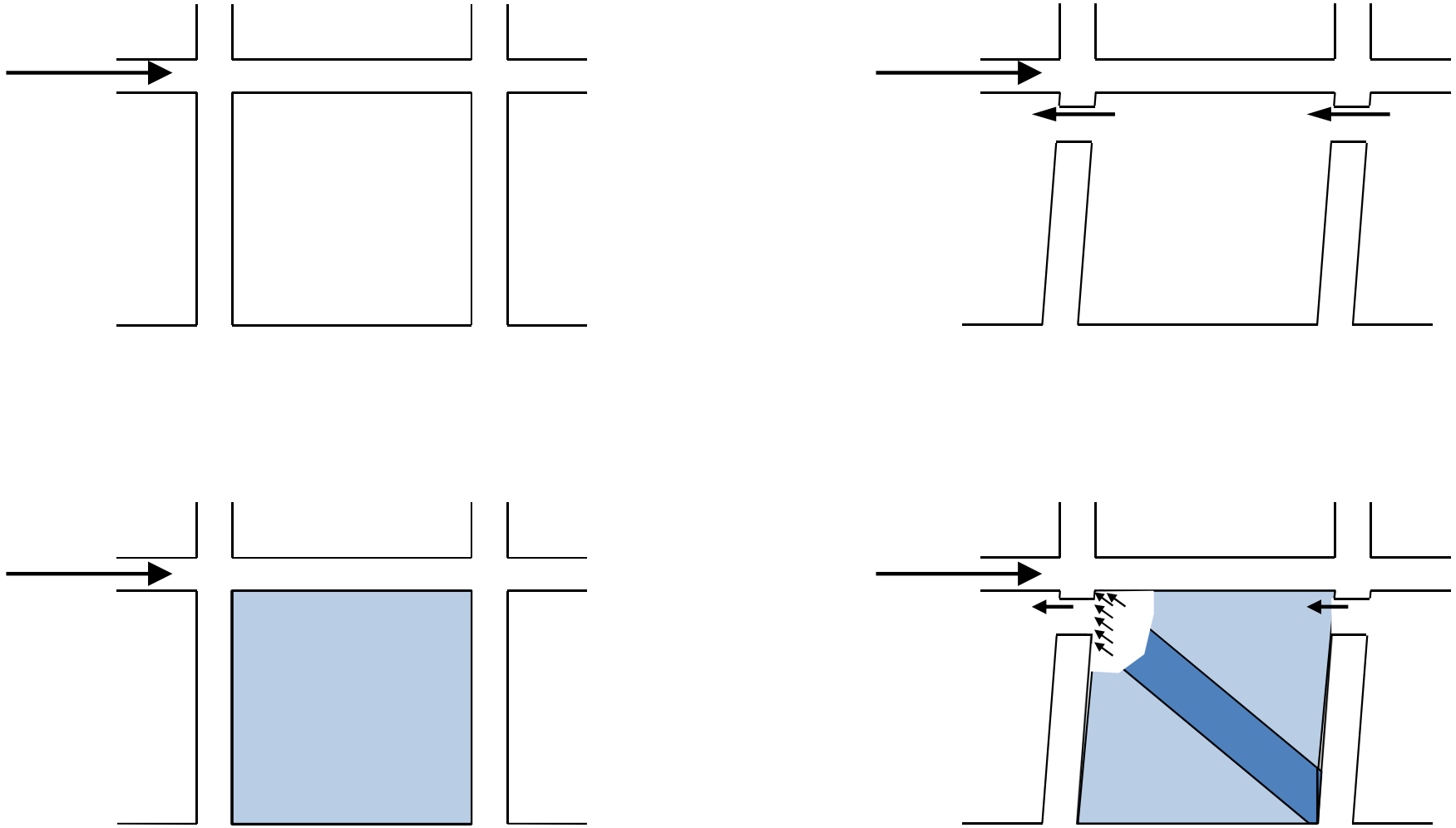
Gli elementi non strutturali (quali tamponature e tramezzi) possono essere rappresentati unicamente in termini di massa, considerando il loro contributo alla rigidezza e alla resistenza del sistema strutturale solo qualora tale contributo modifichi significativamente il comportamento del modello

Come e in quali casi il contributo degli elementi non strutturali modifica il comportamento?

NTC, punto 7.2.6

Elementi non strutturali

(tramezzi, tamponature)

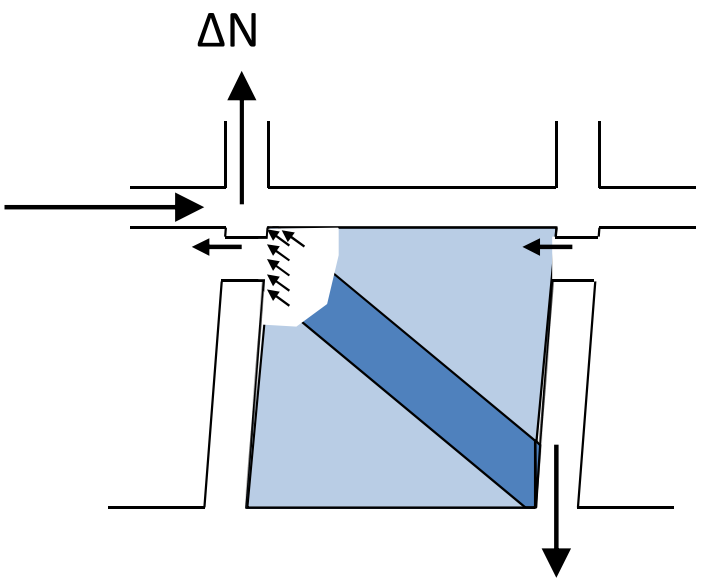


Elementi non strutturali

(tramezzi, tamponature)

Effetto locale su travi e pilastri:

- variazione dello sforzo normale nei pilastri (dovuto alla componente verticale della forza nel pannello murario)

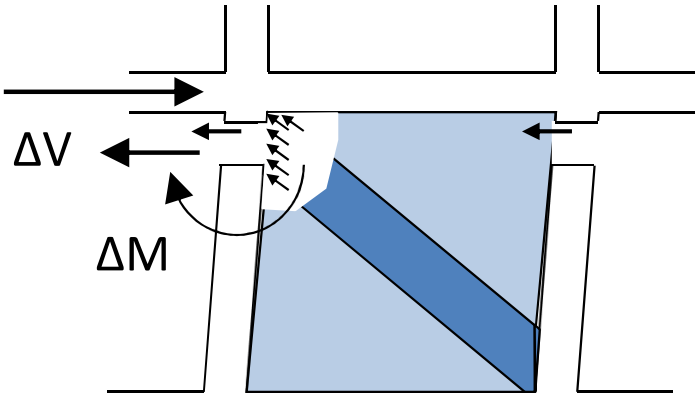


Elementi non strutturali

(tramezzi, tamponature)

Effetto locale su travi e pilastri:

- variazione dello sforzo normale nei pilastri (dovuto alla componente verticale della forza nel pannello murario)
- variazione di taglio e momento nella zona di estremità dei pilastri
  (dovuto alla componente orizzontale della forza nella diagonale)



Elementi non strutturali

(tramezzi, tamponature)

Effetto locale su travi e pilastri:

- variazione dello sforzo normale nei pilastri (dovuto alla componente verticale della forza nel pannello murario)
- variazione di taglio e momento nella zona di estremità dei pilastri (dovuto alla componente orizzontale della forza nella diagonale), perché il pannello murario ha un contatto diffuso con le aste e non trasmette la forza direttamente nel nodo
- variazione di taglio e momento agli estremi delle travi

Elementi non strutturali
(tramezzi, tamponature)

Effetti globali:

- comportamento dinamico: l'irrigidimento dovuto alla presenza delle tamponature riduce il periodo proprio della struttura; ciò può comportare un incremento dell'azione sismica
- comportamento inelastico: la rottura delle tamponature è fragile; quando essa avviene, l'aliquota di azione sismica da loro portata si scarica istantaneamente sulla struttura

Elementi non strutturali
(tramezzi, tamponature)

Effetti dovuti alla loro distribuzione:

- una distribuzione irregolare in pianta
  può provocare rotazione degli impalcati e quindi incrementi anche notevoli di sollecitazione sugli elementi più eccentrici
  attenzione in particolare agli edifici con struttura simmetrica o bilanciata (baricentro delle masse coincidente con quello delle rigidezze) e tamponature dissimmetriche

- una distribuzione irregolare lungo l'altezza
  può portare a concentrazione di sollecitazione ad un piano ("piano soffice"), con riduzione della duttilità globale

Elementi non strutturali

(tramezzi, tamponature)

Tenerne conto è importante quando:

- Sono pochi e molto robusti
  (rischio di forti sollecitazioni negli elementi strutturali adiacenti)
- Sono disposti in pianta in maniera molto irregolare
  (rischio di rotazione dell'impalcato e quindi di sollecitazioni negli elementi strutturali agli estremi)
- Sono distribuiti irregolarmente lungo l'altezza
  (rischio di creazione di piano soffice, con riduzione della duttilità globale)

In caso contrario si può analizzare un modello costituito dai soli elementi strutturali

Elementi non strutturali
(tramezzi, tamponature)

Possibili schematizzazioni delle tamponature:

- insieme di lastre, collegate in più punti alla maglia di telaio

  - vantaggi:
    possibilità di analizzare pareti con aperture
  - svantaggi:
    complessità dello schema;
    difficoltà a tenere conto dell'unilateralità del vincolo

Elementi non strutturali
(tramezzi, tamponature)

Possibili schematizzazioni delle tamponature:

- pendolo, disposto nella diagonale compressa
  - lunghezza del pendolo l_d = lunghezza diagonale
  - spessore della sua sezione s = spessore muratura
  - larghezza della sua sezione B indicata da fonti bibliografiche:

M. Pagano	$B = 0.5\ A_p / l_d \Rightarrow$	$B \cong 0.20 \div 0.25\ l_d$
B. Stafford Smith	$B \cong 0.15 \div 0.30\ l_d$	
D.M. 2/7/81		$B = 0.10\ l_d$

A_p = area del pannello murario

Modifica dello schema

tamponature

- Ho modellato la struttura inserendo diagonali che rappresentano il puntone compresso

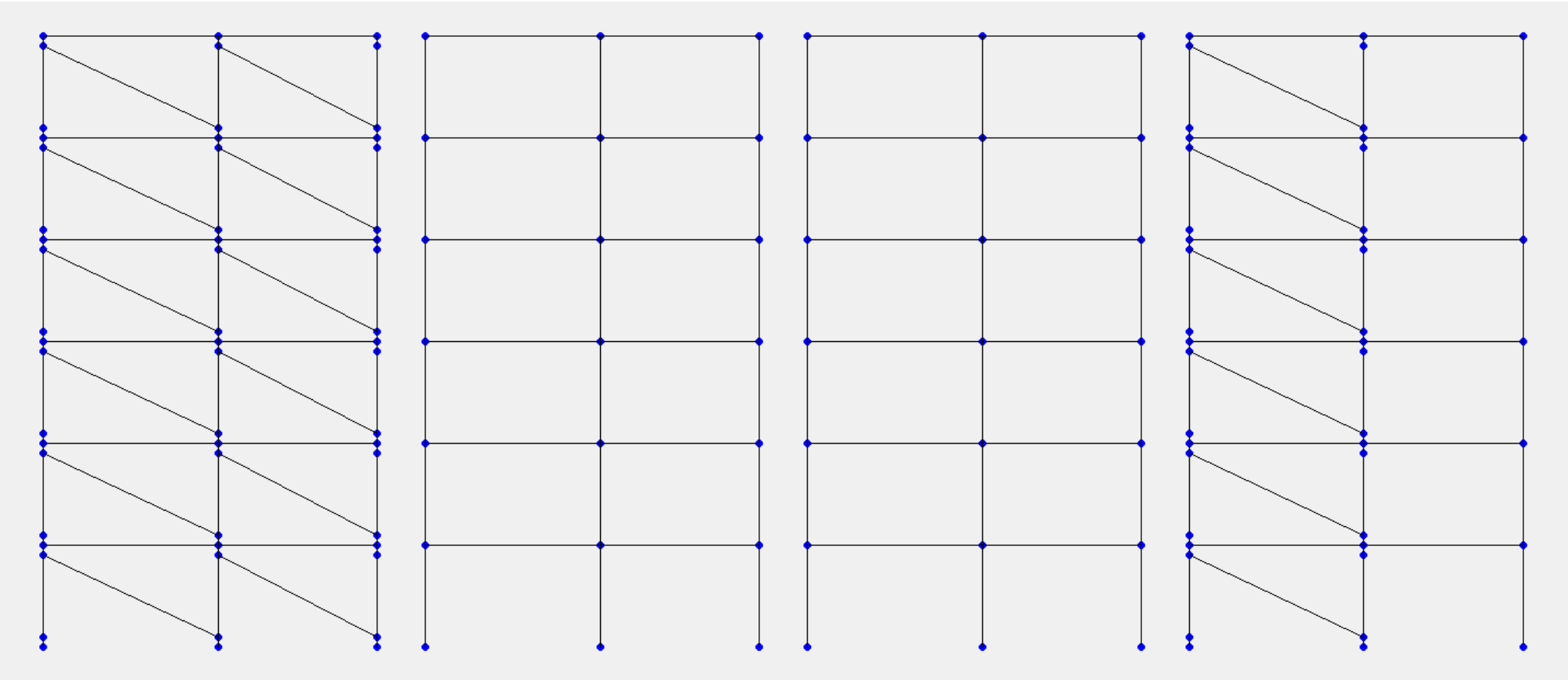
  Poiché l'azione non è concentrata nel nodo bensì distribuita all'estremo del pilastro, ho collegato la diagonale con una eccentricità di 0.1 h dal nodo

  La sezione della diagonale è modesta, ma la resistenza assiale non è trascurabile (ed è nettamente maggiore della resistenza a taglio dei pilastri)

Modifica dello schema

tamponature

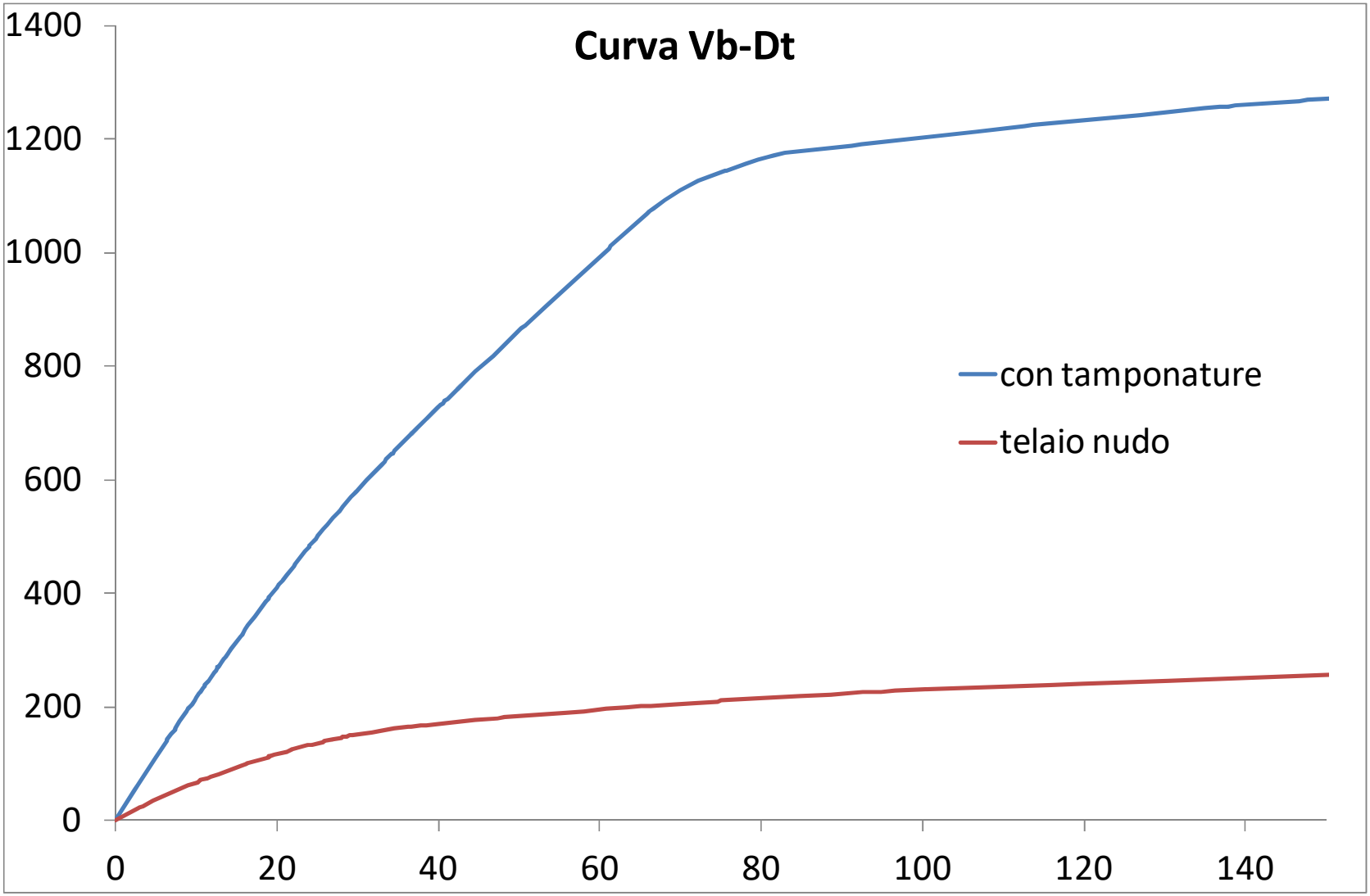
- Schema utilizzato nel calcolo



Modifica dello schema

tamponature

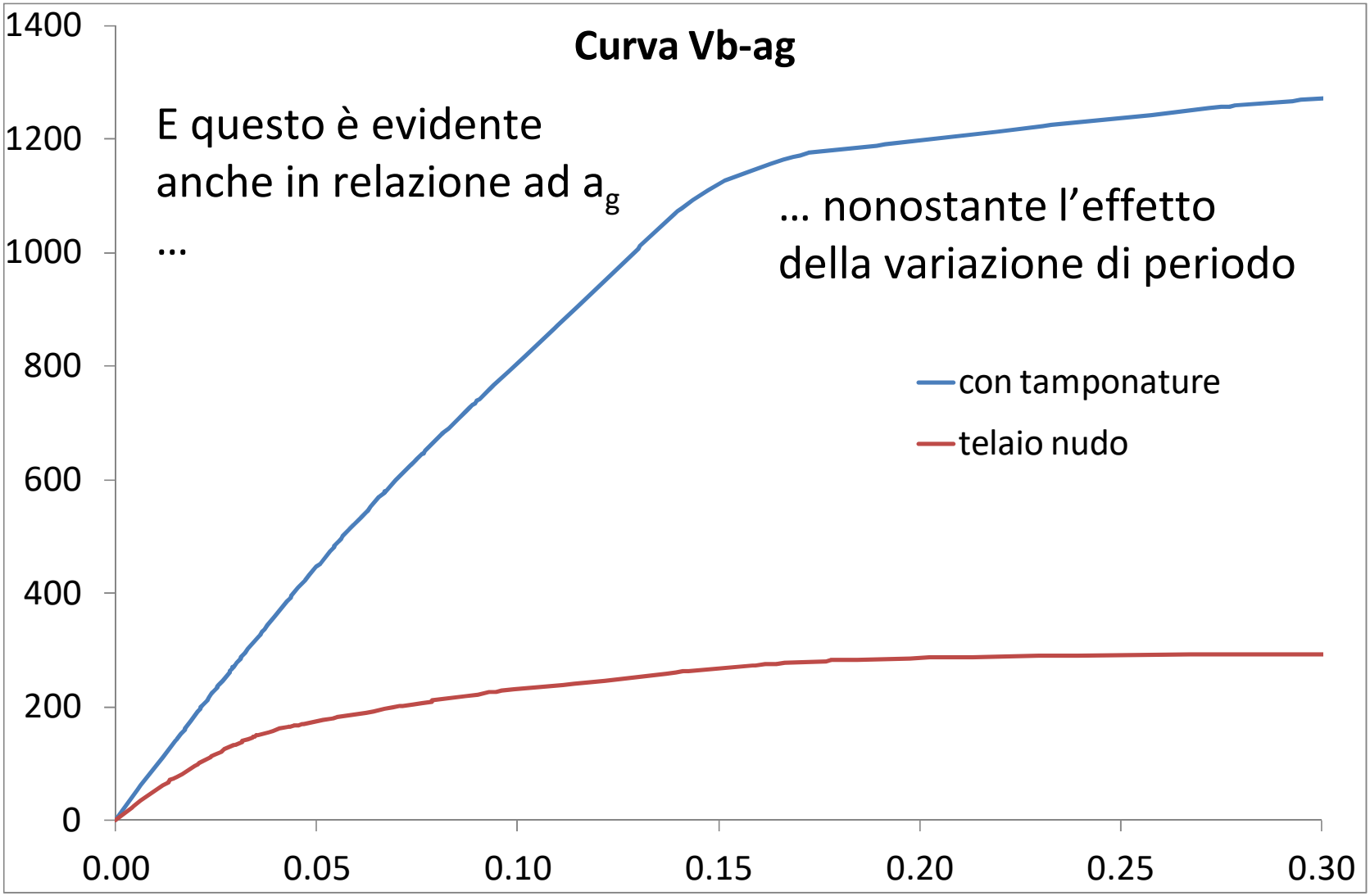
- La resistenza complessiva aumenta di molto



Modifica dello schema

tamponature

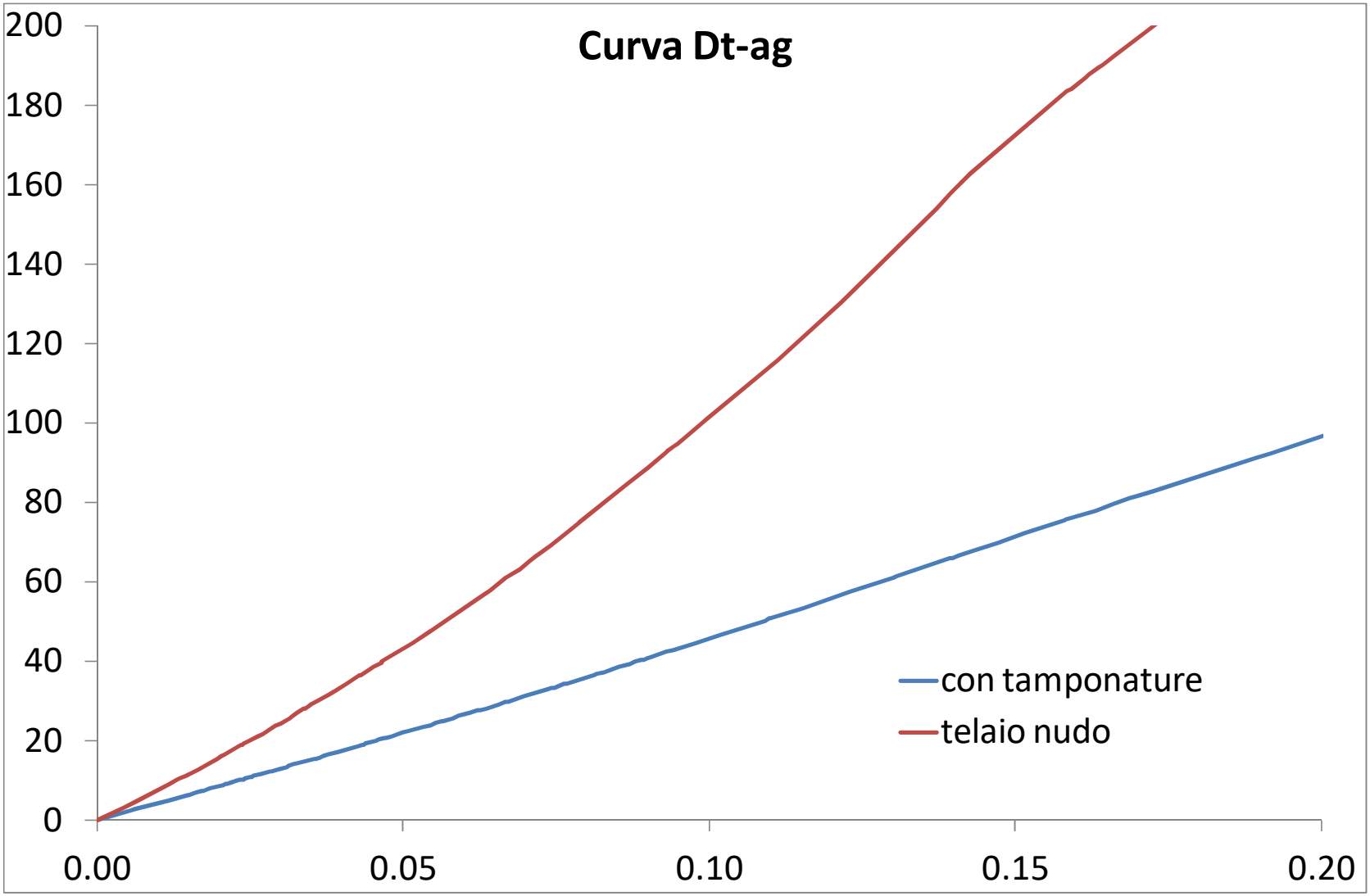
- La resistenza complessiva aumenta di molto



Modifica dello schema

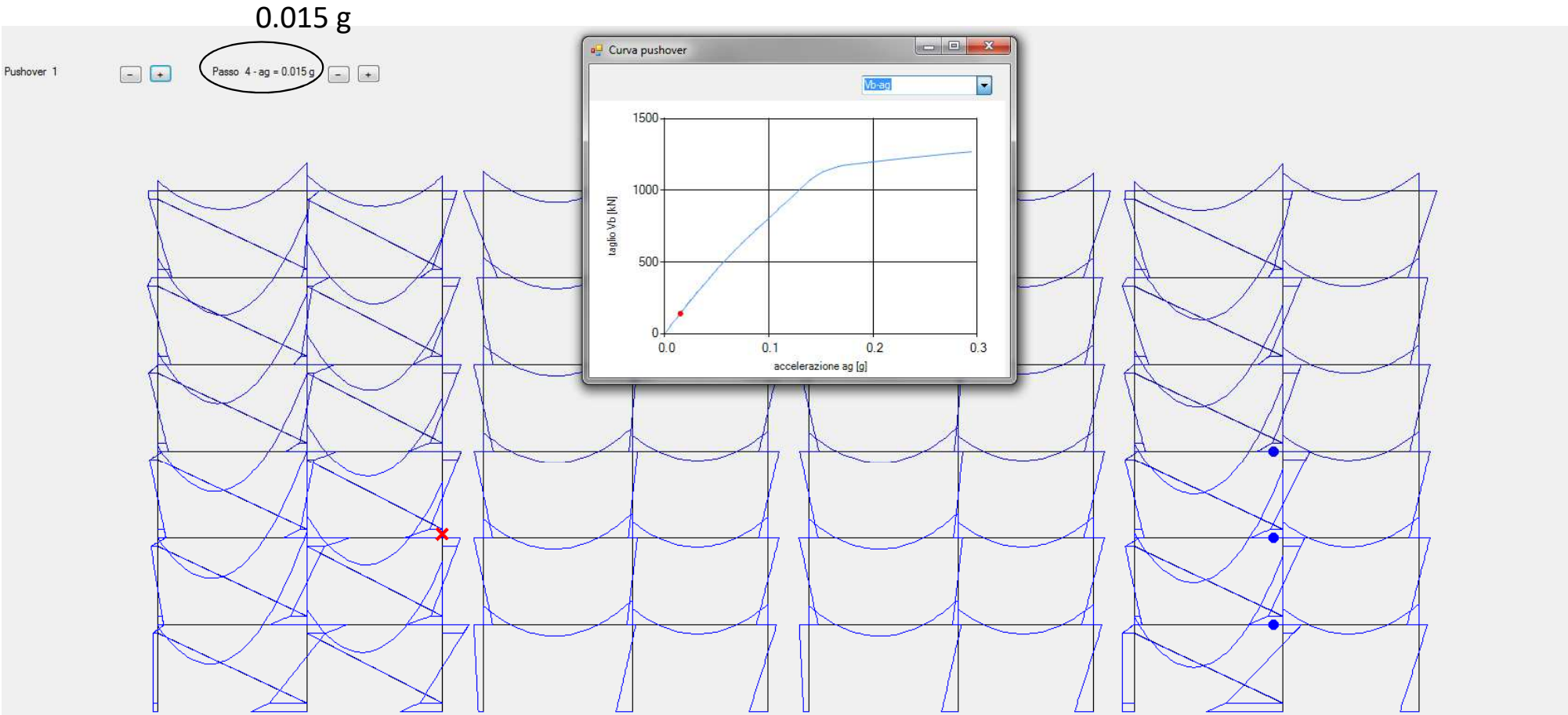
tamponature

- Lo spostamento è nettamente minore (a parità di a_g)



Modifica dello schema

tamponature



L'azione concentrata della tamponatura porta ad una rottura del pilastro per taglio per accelerazioni bassissime, con la struttura (quasi) ancora in campo elastico

Tamponature

commento

- La presenza di tamponature (se, come nel caso in esame, poche e rigide rispetto alla struttura) può portare alla rottura precoce a taglio dei pilastri adiacenti, anche per accelerazioni modeste

- Ovviamente lo schema usato è molto estremo:
  - L'azione della tamponatura può trasmettersi anche alla trave e non solo al pilastro
  - La malta tra tamponatura e pilastro può consentire deformazioni prima che l'azione venga trasmessa al pilastro in maniera rilevante

Ma il problema c'è e può essere molto rilevante

Considerazioni finali

anche se relative solo al caso esaminato

- Variazione della distribuzione delle resistenze
  - Schema base: plasticizzazioni diffuse, limite SLV per rotazione alla corda con a_g = 0.105 g
  - Schema estremo, resistenze aumentate per travi: sollecitazioni maggiori per i pilastri, rottura a taglio per a_g = 0.047 g

- Fare sondaggio
  - Se allo schema base si da peso = 1, quale peso (tra 0 e 1) dare allo schema estremo?

Considerazioni finali

anche se relative solo al caso esaminato

- Influenza della soletta rampante
  - Schema base: plasticizzazioni diffuse, limite SLV per rotazione alla corda con a_g = 0.105 g
  - Schema con soletta rampante: se la soletta è rigida, rottura a taglio di un pilastro adiacente per a_g = 0.037 g

- Fare sondaggio
  - Se allo schema base si da peso = 1, quale peso (tra 0 e 1) dare allo schema con soletta rigida?

Considerazioni finali

anche se relative solo al caso esaminato

- Influenza delle tamponature
  - Schema base: plasticizzazioni diffuse, limite SLV per rotazione alla corda con a_g = 0.105 g
  - Schema con tamponature: rottura a taglio per l'azione della tamponatura sul pilastro con a_g = 0.015 g

- Fare sondaggio
  - Se allo schema base si da peso = 1, quale peso (tra 0 e 1) dare allo schema con tamponature?

Tentativo di conclusione finale

per lo schema esaminato

Per lo Stato Limite di Danno SLD

- Analisi lineare, con rigidezza nominale $a_g = 0.097$ g
- Analisi lineare, con fessurazione $a_g = 0.084$ g
- Analisi non lineare, rigidezza nominale $a_g = 0.066$ g

- Ritengo più verosimile lo schema con fessurazione
- Analisi non lineare, con fessurazione $a_g = 0.063$ g

Tentativo di conclusione finale

per lo schema esaminato

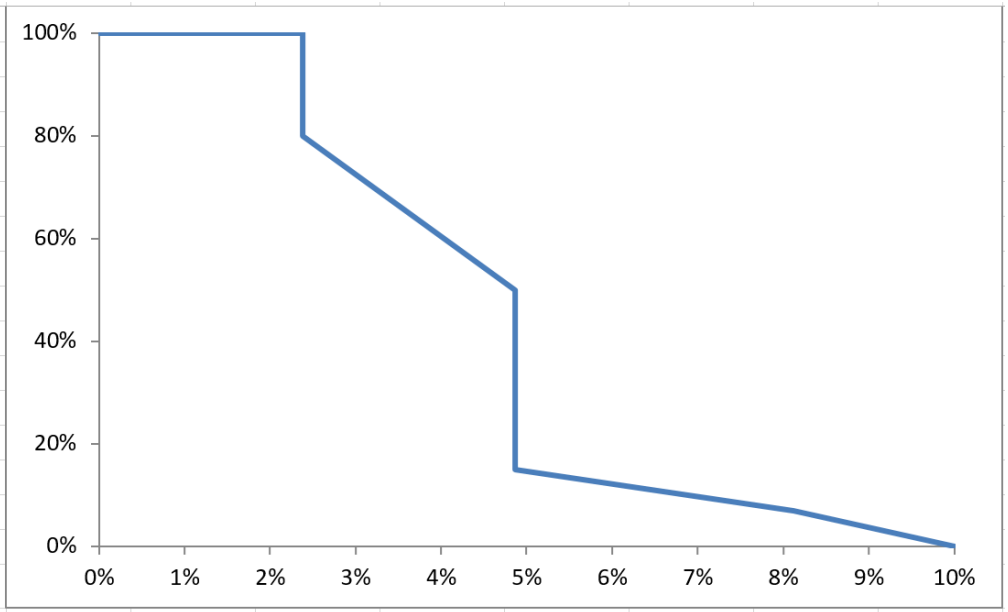
Per lo Stato Limite di salvaguardia della Vita SLV

- Analisi base con rigidezza nominale $a_g = 0.105$ g
- Analisi base con fessurazione $a_g = 0.102$ g
- Analisi base con rotazione alla corda mediante modello a fibre (ipotizzo) $a_g = 0.083$ g
- Influenza distribuzione rigidezze, scala, tamponature (ipotizzo riduzione 20%) $a_g = 0.069$ g

- Fatte le varie analisi ed una media pesata dei diversi risultati ottengo (ipotizzo) $a_g = 0.069$ g

Classe di rischio

per lo schema esaminato

	Tr (D)	λ (D)	ag (D)	ag (C)	Tr (C)	λ (C)
SLID						10.000%
SLO	30	3.333%	0.061			8.122%
SLD	50	2.000%	0.082	0.063	20.6	4.863%
SLV	475	0.211%	0.250	0.069	20.6	4.863%
SLC	975	0.103%	0.339			2.383%
SLR						2.383%

S.L.	λ	CR	dA		PAM	IS-V
SLID	10.000%	0%	0.066%		4.419%	27.6%
SLO	8.122%	7%	0.358%			
SLD	4.863%	15%	0.000%		classe	classe
SLV	4.863%	50%	1.612%		E	E
SLC	2.383%	80%	0.000%		6	6
SLR	2.383%	100%	2.383%			
	0.000%	100%		**l'edificio è di classe E**