VERIFICA DI EDIFICI ESISTENTI IN CEMENTO ARMATO

Catania, 25 giugno – 2 luglio 2019

13 – Analisi dei risultati e giudizio sulla struttura
(per schema assegnato)

Docente del corso

AURELIO GHERSI

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

Cosa abbiamo
e quanto è affidabile?

Cosa abbiamo?

- Risposta della struttura (caratteristiche di sollecitazione, formazione di cerniere, deformazioni plastiche) ad una qualsiasi intensità del sisma

Quanto affidabile?

- I valori dipendono dalla distribuzione di forze assegnata
- La corrispondenza con accelerazione sismica dipende dal criterio utilizzato

- E tutto dipende dallo schema (geometria, resistenze) ipotizzato

Come procedere?

1. Esaminare i risultati per capire come si comporta la struttura man mano che cresce l'accelerazione sismica:
   - Formazione progressiva di cerniere plastiche
   - Rischio di rottura a taglio di pilastri, travi, nodi
   - Progredire delle deformazioni plastiche
     (in particolare, riferimento alla rotazione alla corda e quindi allo spostamento di interpiano)

Un utile termine di paragone è costituito dall'analisi lineare con valutazione dei ρ (rapporto domanda su capacità)

Come procedere?

2. Valutare come cambia la risposta per lo schema assegnato:
   - Cambiando la distribuzione di forze applicate o il modo di effettuare la pushover
   - Cambiando il criterio di correlazione tra spostamenti ed accelerazione sismica
   - Cambiando la formulazione per valutare la rotazione alla corda ultima

Come procedere?

3. 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 delle tamponature o per come viene modellata la scala

1. Esame dei risultati

per capire come si comporta la struttura man mano che cresce l'accelerazione sismica

Nota: le considerazioni di seguito riportate
si riferiscono ad un altro edificio

Formazione progressiva

delle cerniere plastiche e di rotture a taglio

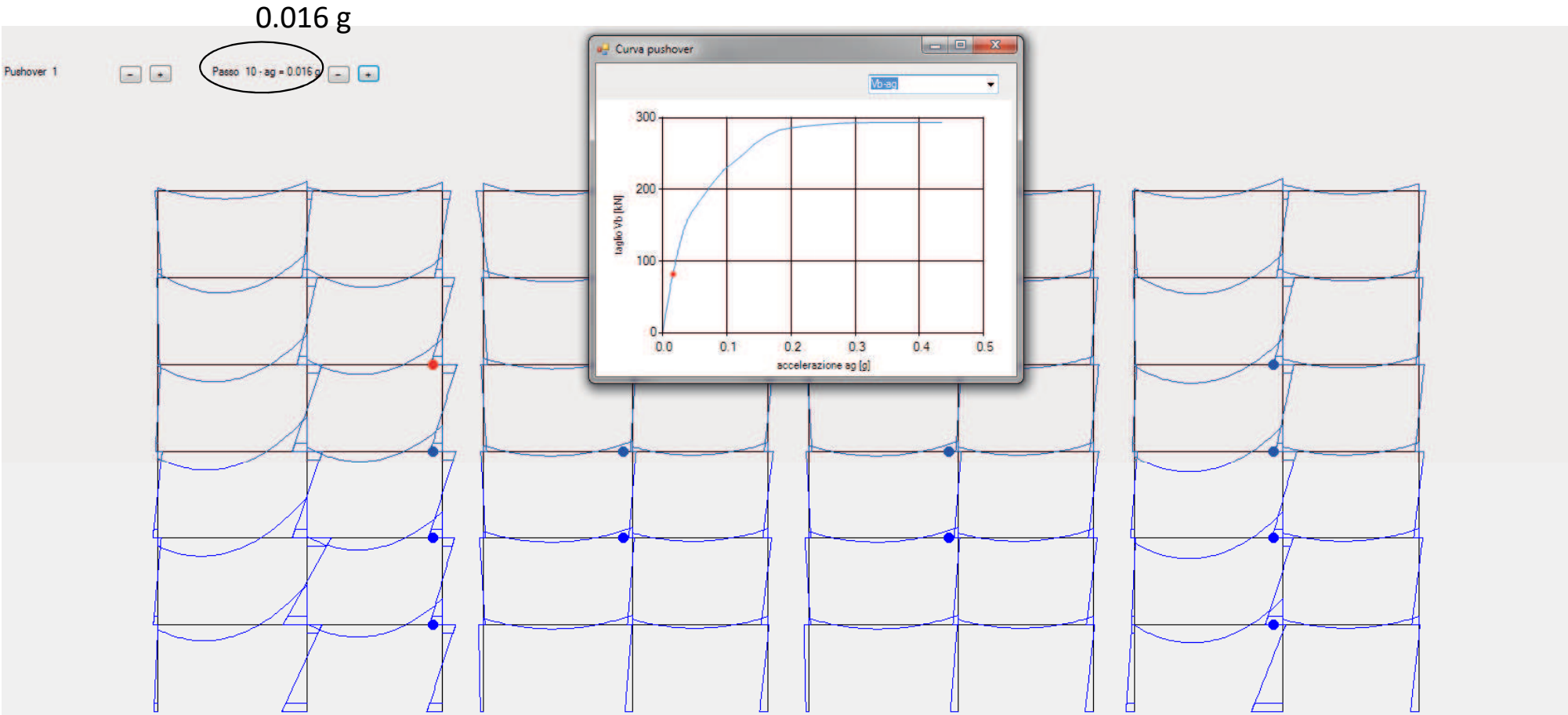
In particolare, controllare se:

- Le cerniere si formano prima nelle travi o nei pilastri
- Ci sono aste in cui le cerniere si formano precocemente (può avvenire ad esempio per aste corte)
- Se e quando si hanno rotture fragili

- Chiedersi sempre se i valori ottenuti corrispondono al comportamento fisico che ci si aspetta dalla struttura
- Confrontarlo col comportamento indicato dall'analisi lineare con valutazione dei ρ (rapporto domanda su capacità)

Formazione progressiva

delle cerniere plastiche

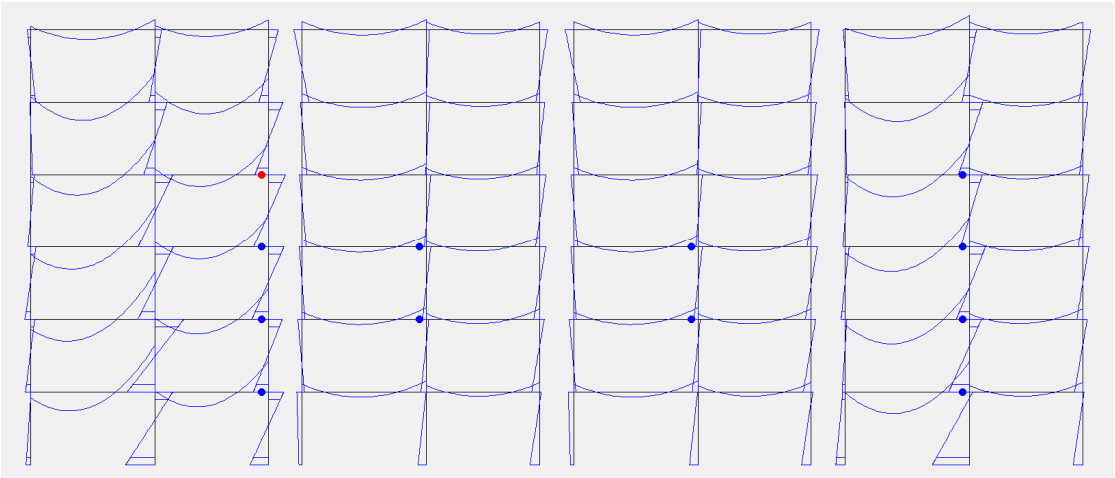


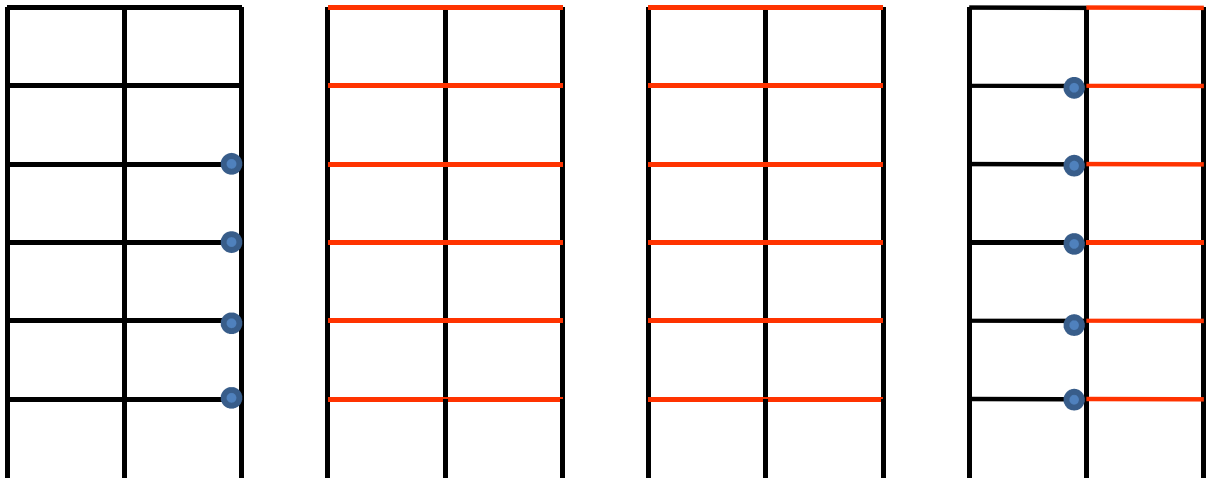
Iniziano a formarsi molto presto cerniere nelle travi (estremo destro, perché si somma effetto dei carichi ed effetto del sisma)

Confronto tra analisi non lineare

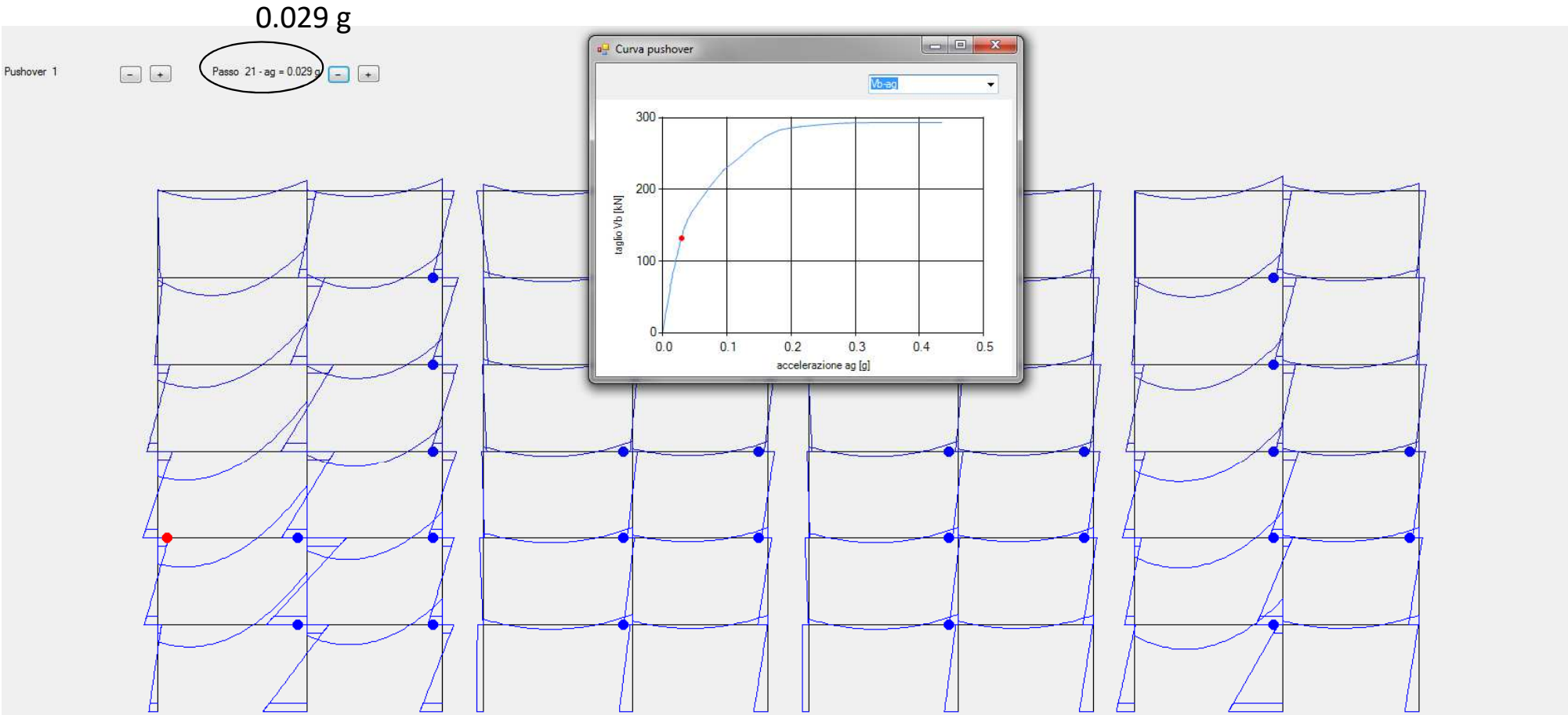
e valori 1/ρ di analisi lineare

$a_g = 0.016\ g$





Formazione progressiva
delle cerniere plastiche

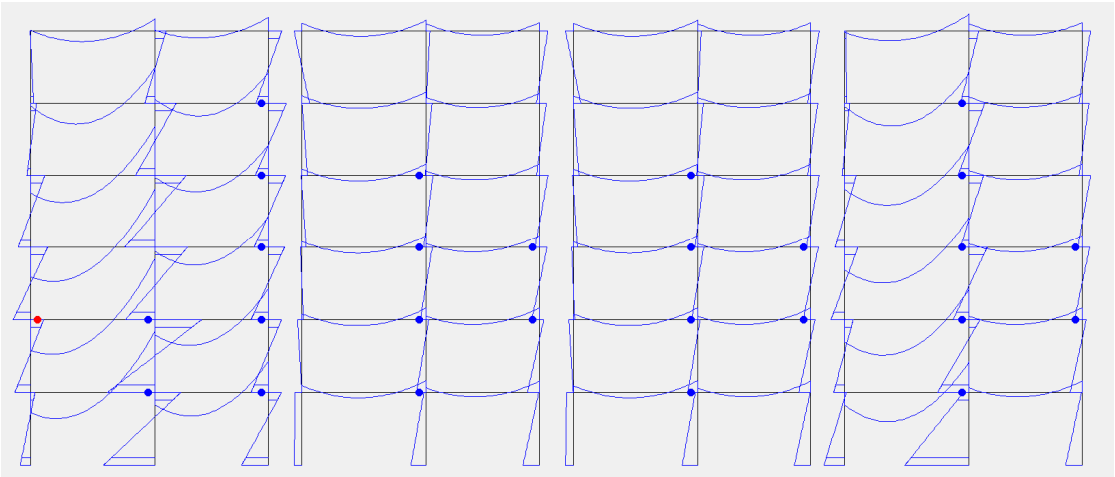


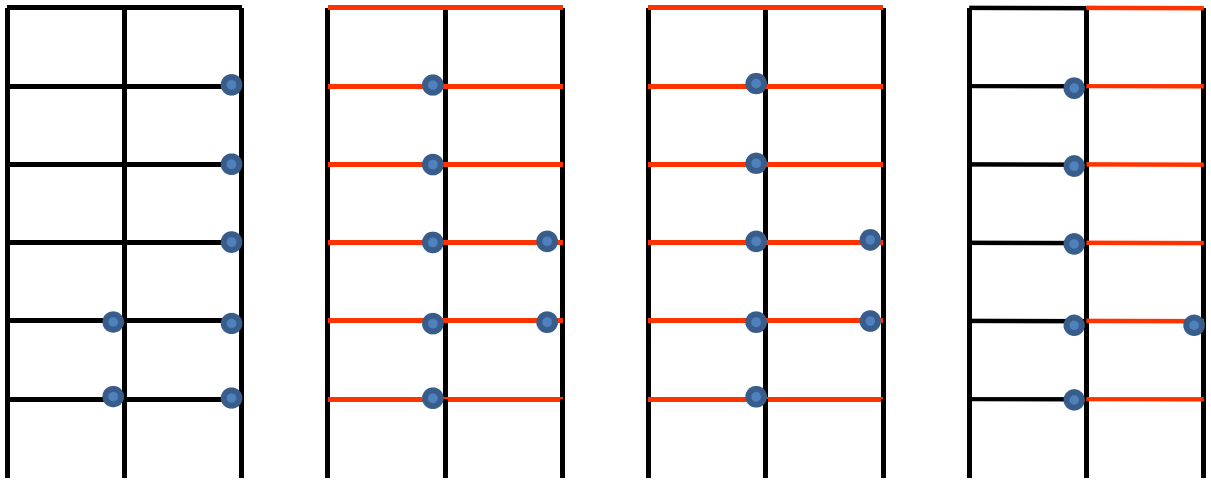
Ancora per accelerazioni molto basse, dopo numerose cerniere nell'estremo destro delle travi iniziano a formarsi cerniere anche nell'estremo sinistro

Confronto tra analisi non lineare

e valori 1/ρ di analisi lineare

$a_g = 0.029\ g$



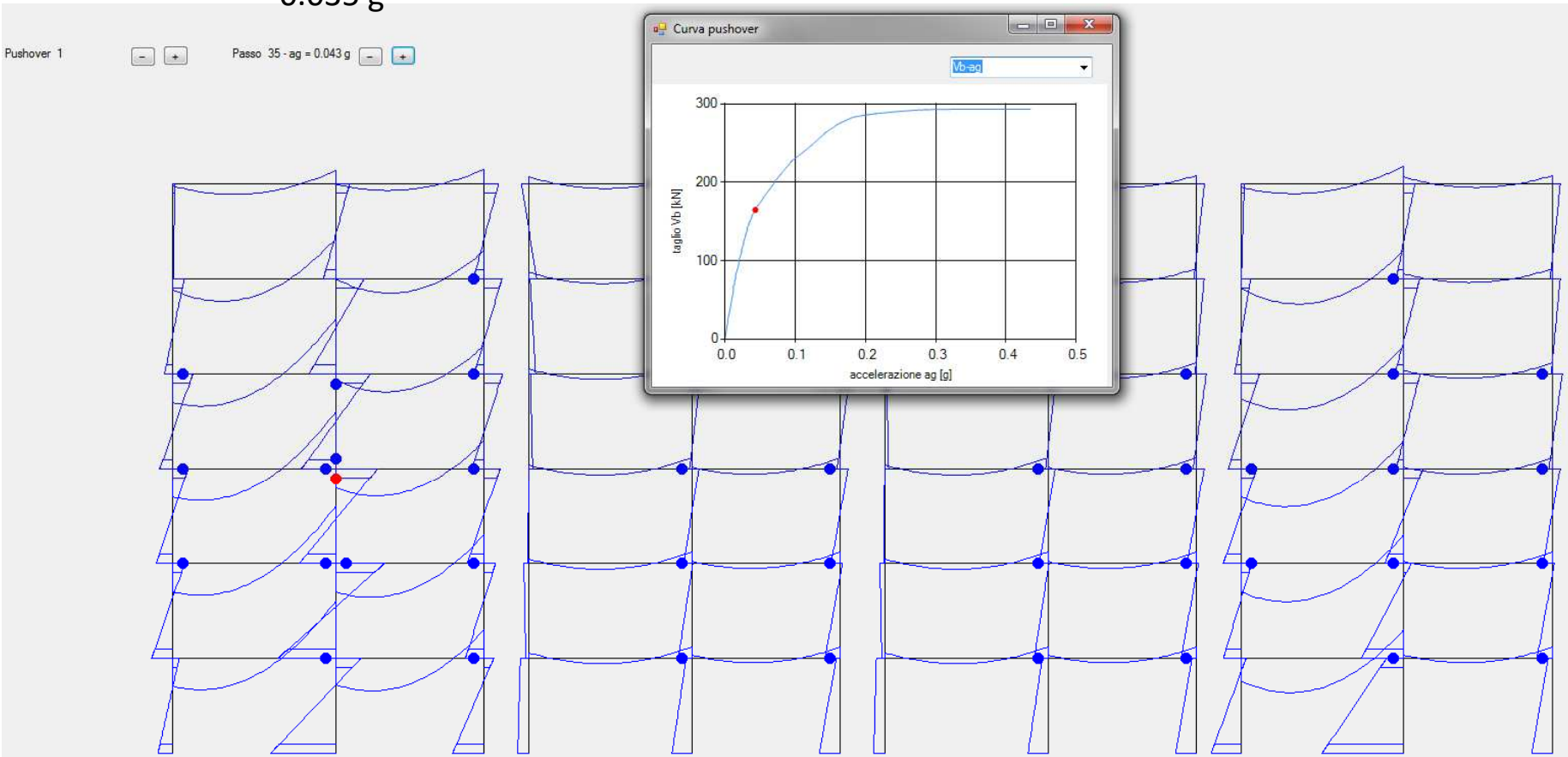


differenze minime

Formazione progressiva

delle cerniere plastiche

0.035 g

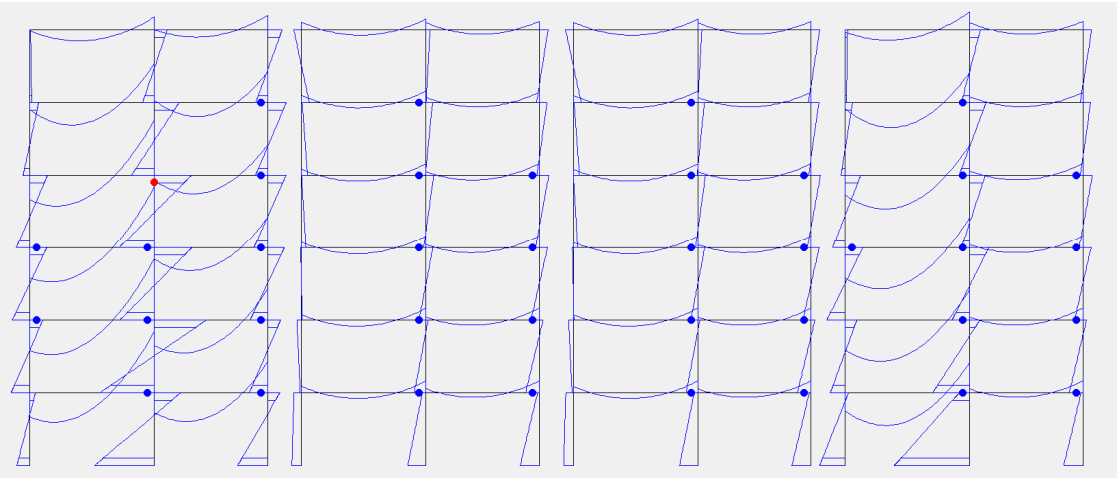


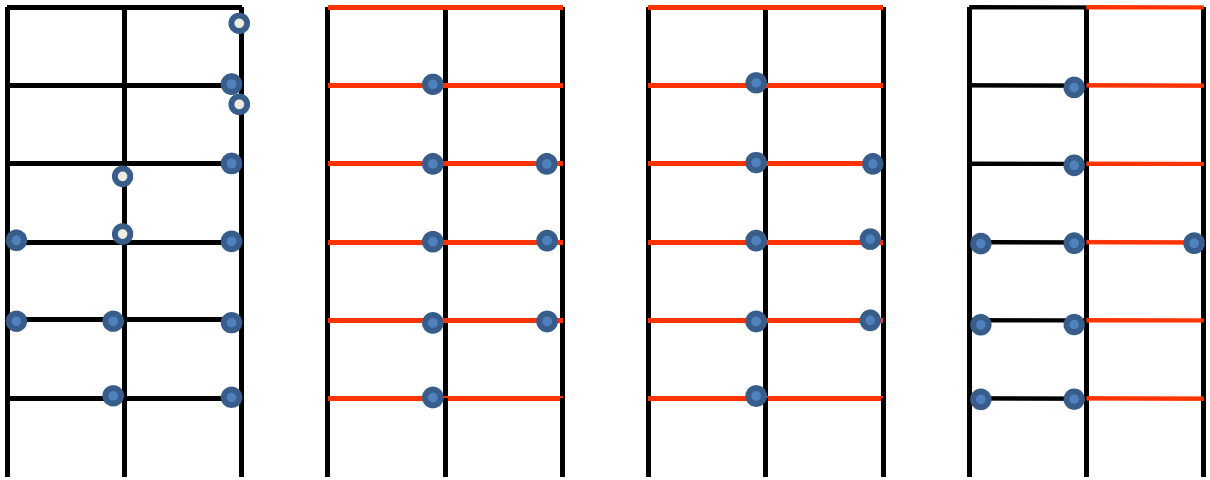
La prima cerniera in un pilastro si forma quando molte travi sono già plasticizzate. L'accelerazione sismica è ancora molto bassa

Confronto tra analisi non lineare

e valori 1/ρ di analisi lineare

$a_g = 0.035\ g$

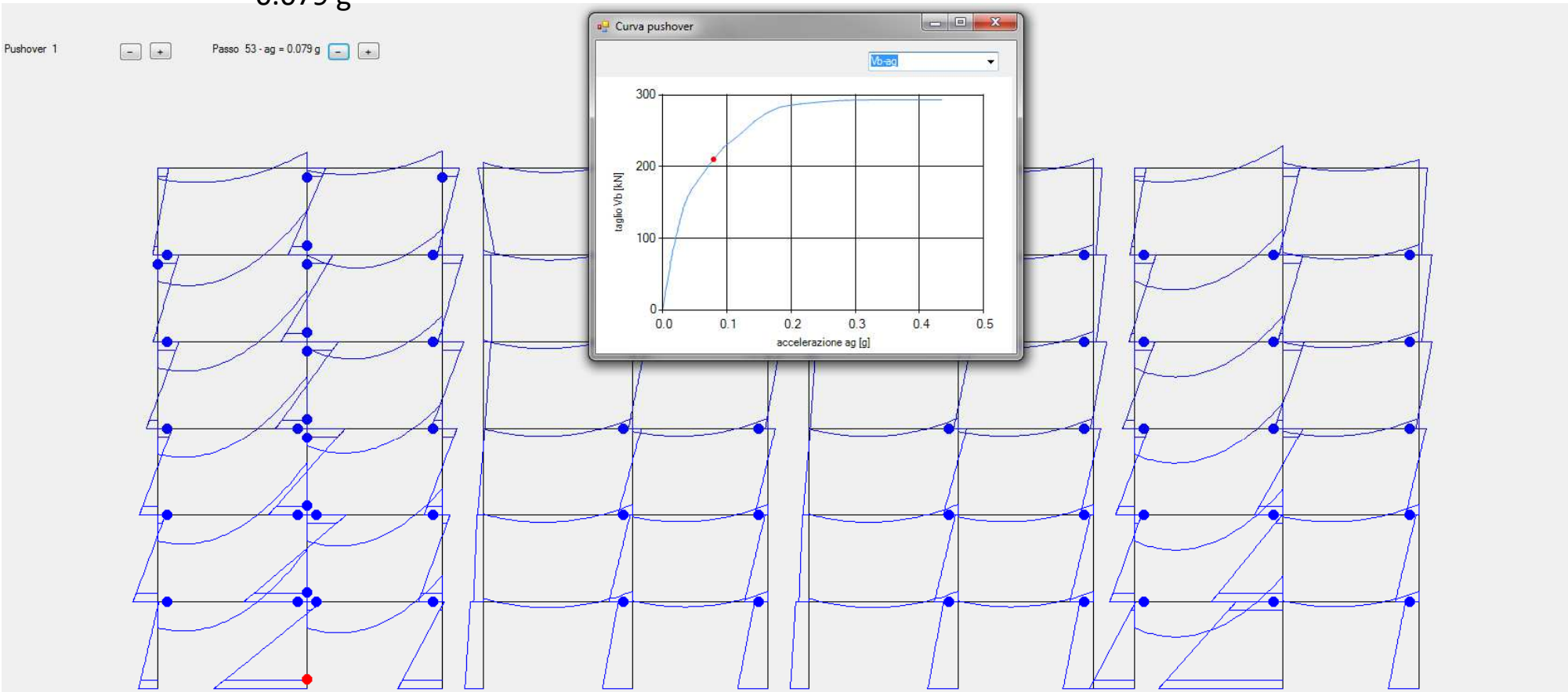




differenze minime

Formazione progressiva
delle cerniere plastiche

0.079 g

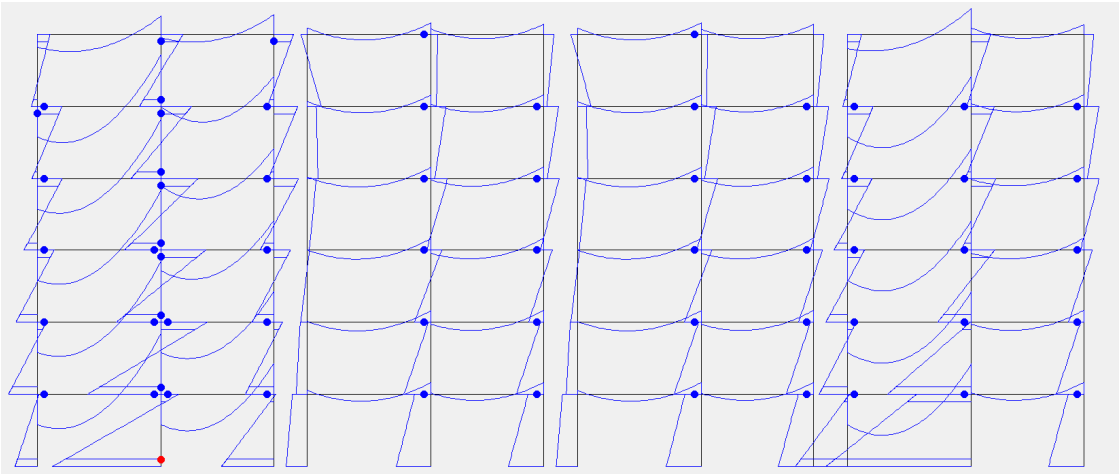


Per un valore di a_g che comincia ad essere significativo (0.079 g) il pilastro 9 è danneggiato a tutti i piani, ma gli altri pilastri sono ancora integri

Confronto tra analisi non lineare

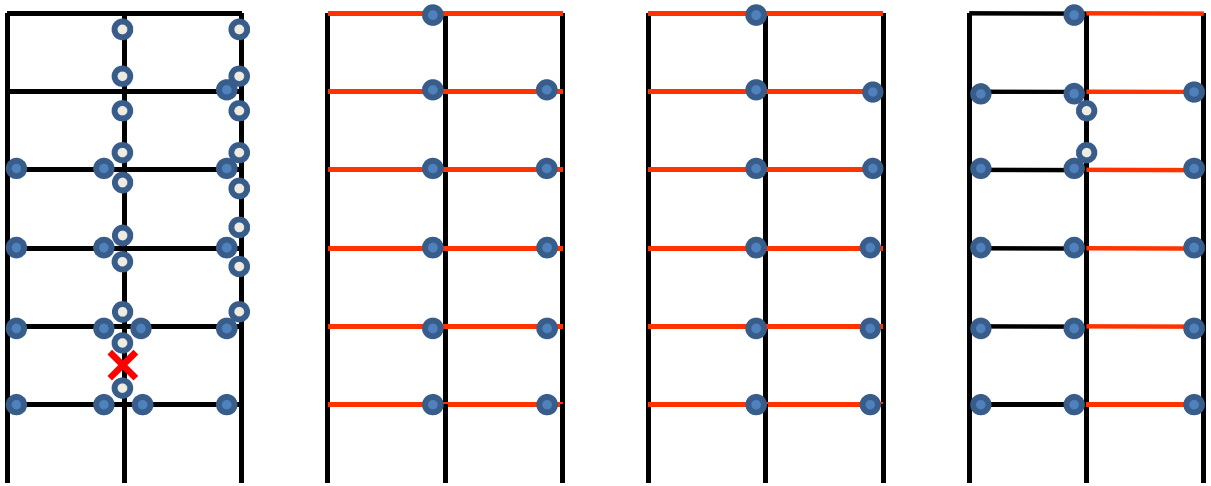
e valori 1/ρ di analisi lineare

a_g = 0.079 g



nessuna rottura a taglio

a_g = 0.050 g



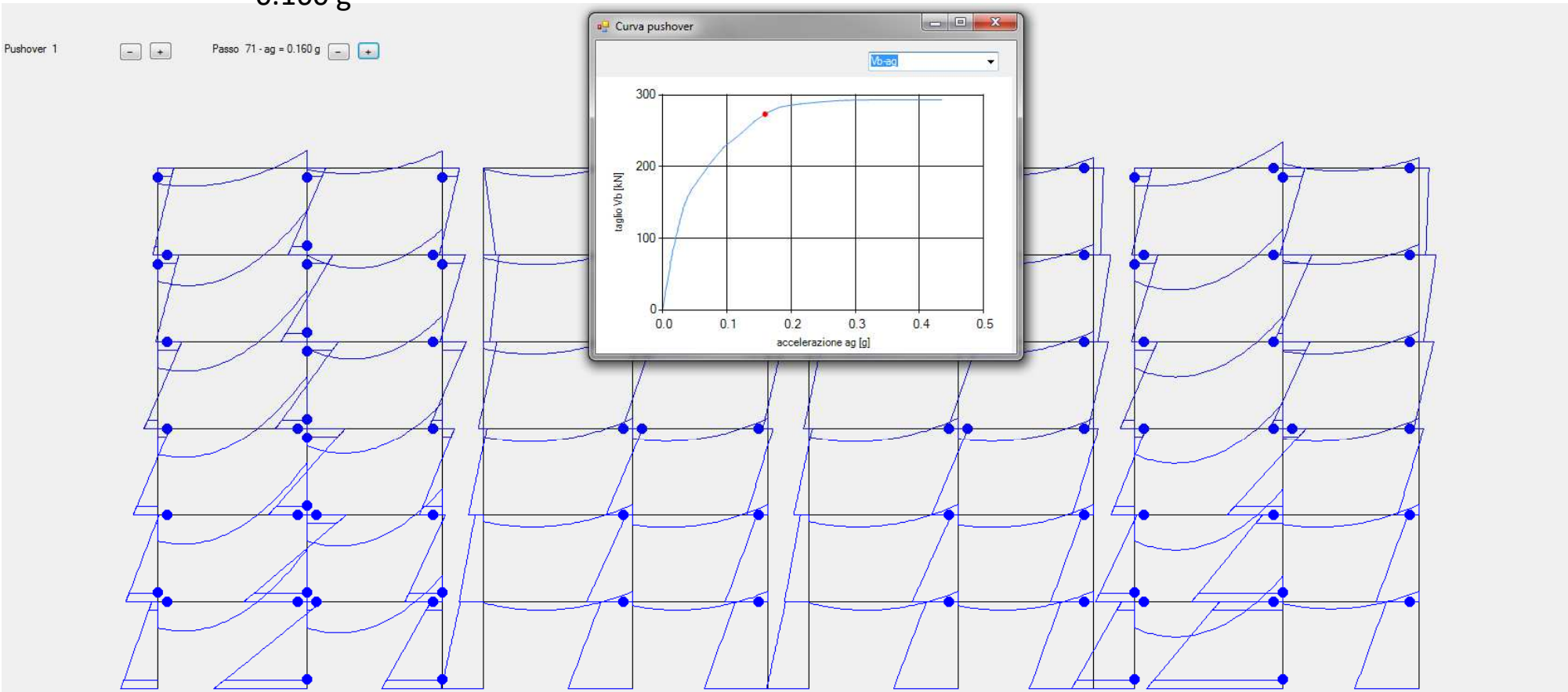
più plasticizzazioni nei pilastri

una rottura a taglio

Formazione progressiva

delle cerniere plastiche

0.160 g



Per un valore di a_g pari a 0.16 g la struttura ha raggiunto 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

Commento

- La struttura ha resistenza molto bassa e quindi inizia a danneggiarsi per valori molto bassi di a_g

Non buono

- Si ha un danneggiamento diffuso delle travi, perché la loro resistenza è particolarmente bassa
- Non si hanno danneggiamenti concentrati in zone particolari
- I pilastri iniziano a danneggiarsi solo dopo che molte travi sono danneggiate

Buono

Comportamento delle aste

duttile o fragile

Commento

- La plasticizzazione delle travi indica un comportamento duttile

Buono

- La plasticizzazione nei pilastri è poco diffusa, ma ne andrebbe controllata la duttilità

Da approfondire

- Non si sono avute rotture a taglio nei pilastri

Buono

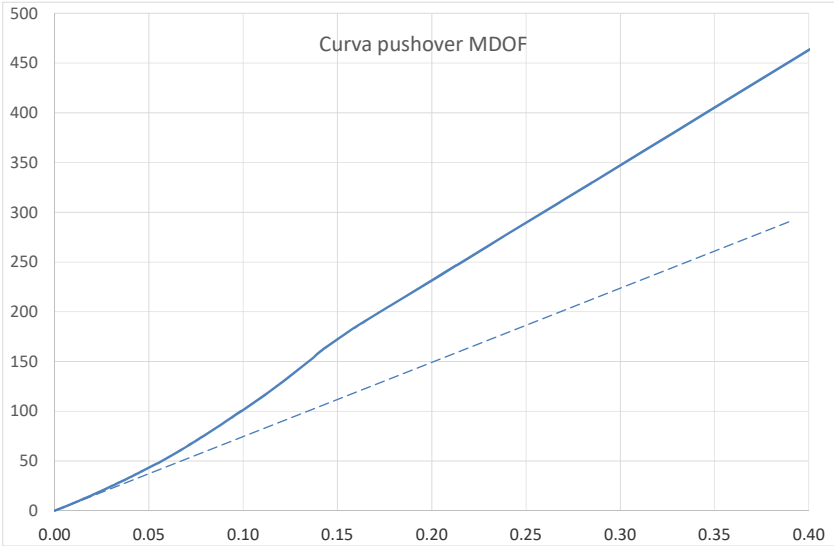
Nota: controllo nodi non effettuato, ma si deve fare

Comportamento della struttura

Stato Limite di Danno SLD

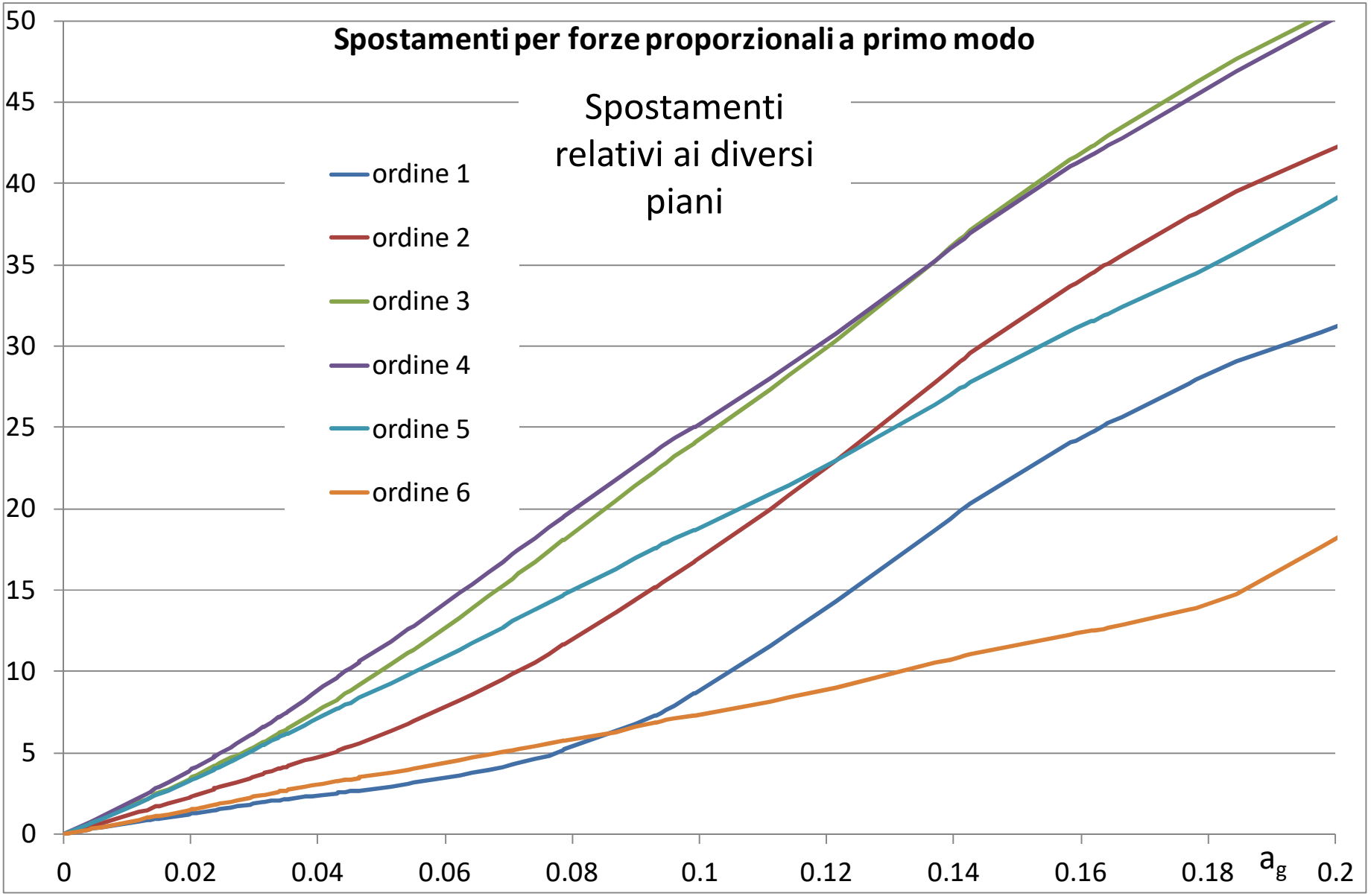
- La struttura si plasticizza molto prima dell'accelerazione corrispondente a SLD
- Occorre confrontare gli spostamenti relativi di interpiano con i valori limite

Abbiamo già visto lo spostamento D_t al variare di a_g, ma ora interessa quello di piano, non totale



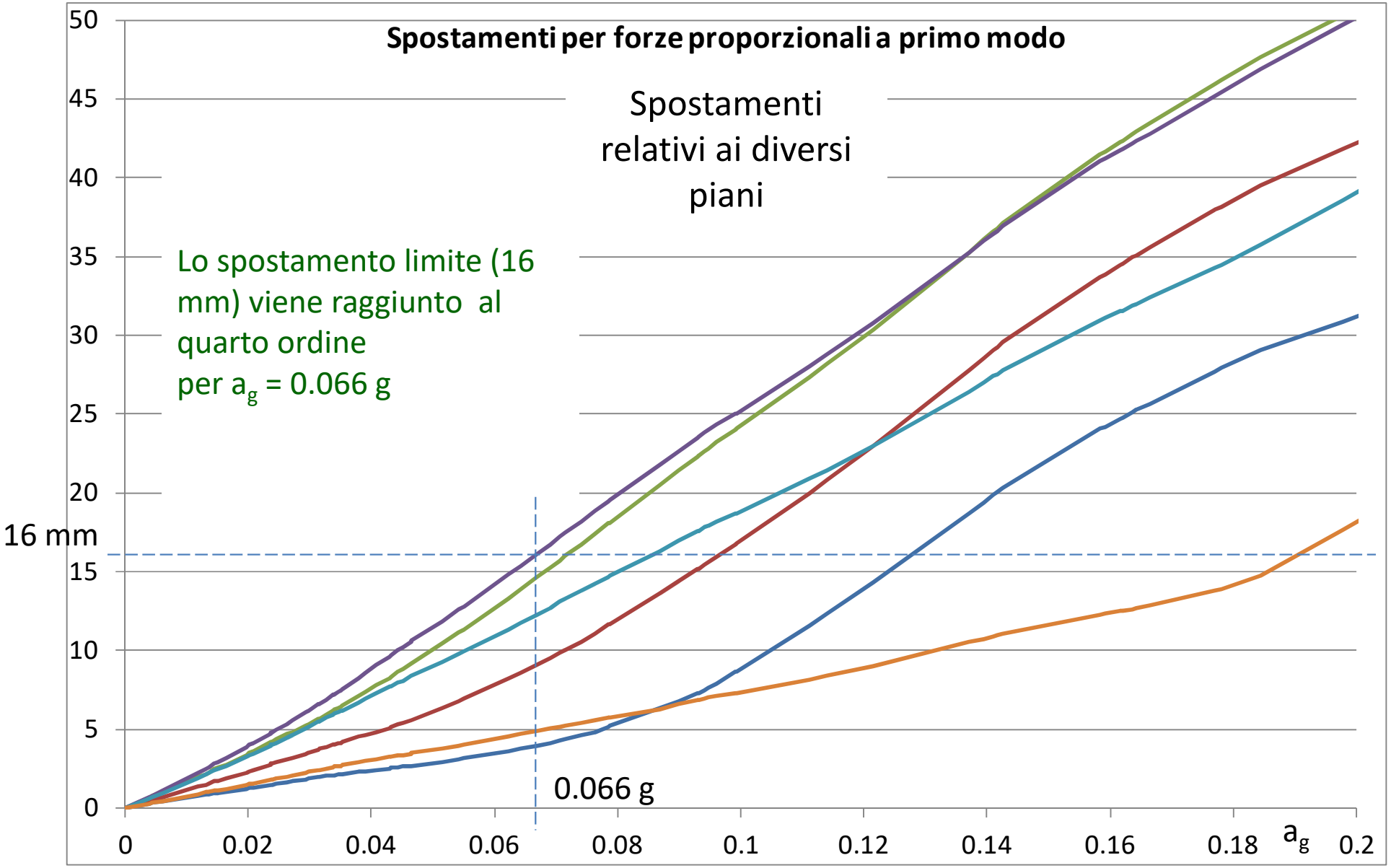
Comportamento della struttura

Stato Limite di Danno SLD



Comportamento della struttura

Stato Limite di Danno SLD



Comportamento della struttura

Stato Limite di salvaguardia della Vita SLV

- Le travi sono duttili (salvo rari casi)
- I pilastri possono avere un comportamento fragile (dipende da sezione, armature, ma soprattutto da sforzo normale e resistenza del calcestruzzo)

⬇

Occorre controllare la rotazione plastica:

- Rotazione plastica della singola sezione
  (Controllo locale, più oneroso)
- Rotazione alla corda dei pilastri
  (Controllo globale, molto più agevole)

Comportamento della struttura

Stato Limite di salvaguardia della Vita SLV

- Se la rotazione elastica dei nodi è molto piccola ed il punto di flesso è circa a metà altezza è molto comodo usare nel giudizio lo spostamento di interpiano D_i, assumendo $D_i = \theta\ h_{net}$

  Perfetto per un primo giudizio rapido

- Se questo non è vero occorre calcolare θ tenendo conto dell'effettivo valore di φ_{el} e L_v
  - Più complicato
  - Più semplice ragionare in termini di φ_{pl} (fornito direttamente dal programma)
  - Occorre conoscere $\varphi_{pl,u}$ o correlarlo a θ_u

  Necessario a volte per un giudizio più preciso

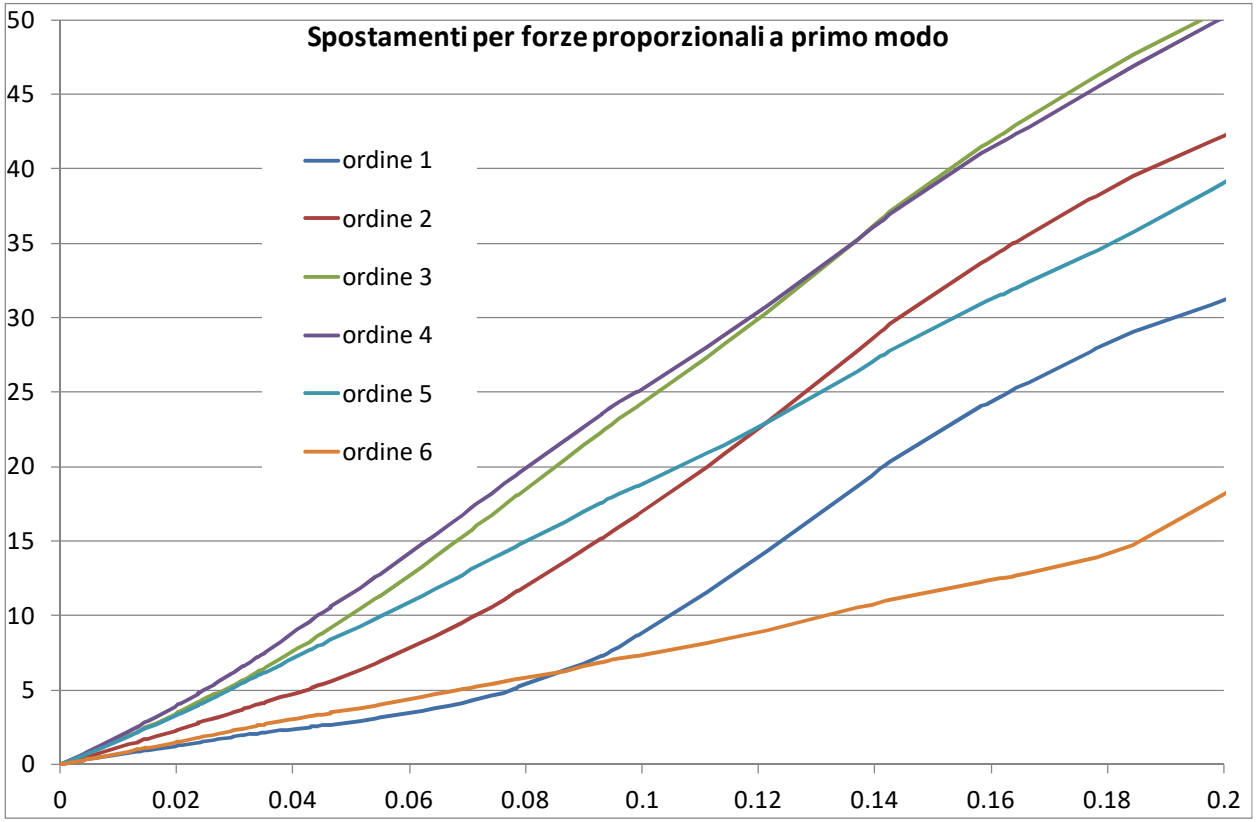
Progredire delle deformazioni plastiche

fino alla rottura

- Si può esprimere un giudizio sintetico guardando gli spostamenti relativi di interpiano

Spostamenti relativi ai diversi piani

"Domanda" di spostamento



Progredire delle deformazioni plastiche

fino alla rottura

- Per conoscere quando avviene la rottura occorre valutare la rotazione ultima alla corda per lo stato limite che stiamo considerando (SLV)
  "Capacità" di spostamento

- Ho usato la formulazione sperimentale perché più agevole da applicare
  - La rotazione ultima dipende dalla sezione e dal materiale, ma anche dallo sforzo normale
  - Lo sforzo normale è dovuto principalmente ai carichi verticali, ma anche alle forze; quindi varia man mano

Nota: indico gli spostamenti ultimi D_u, anziché θ_u, perché più immediatamente comprensibili

Capacità
al variare di N

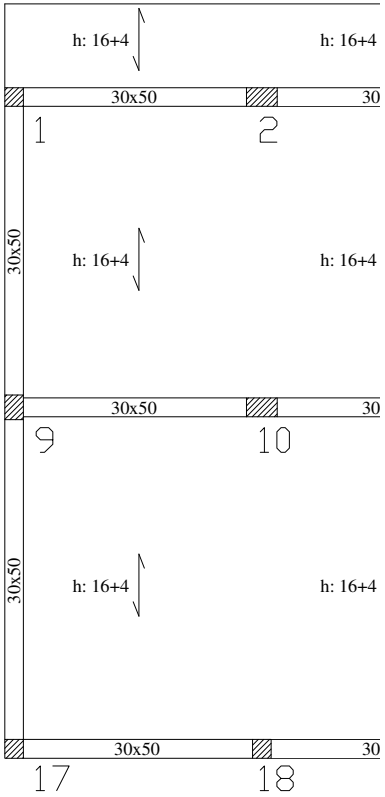
Esempio:

- Pilastro 9, 4° ordine (30x30)
  N_q = 360.8 kN $\rightarrow$ D_u = 33.43 mm

  per a_g = 0.1 g
  N = 383.3 kN $\rightarrow$ D_u = 32.49 mm

  lo sforzo normale non è variato di molto
  sia perché è interno (in direzione y)
  sia perché le travi si plasticizzano

  lo sforzo normale non cresce
  ulteriormente perché le travi
  sono plasticizzate



Capacità
al variare di N

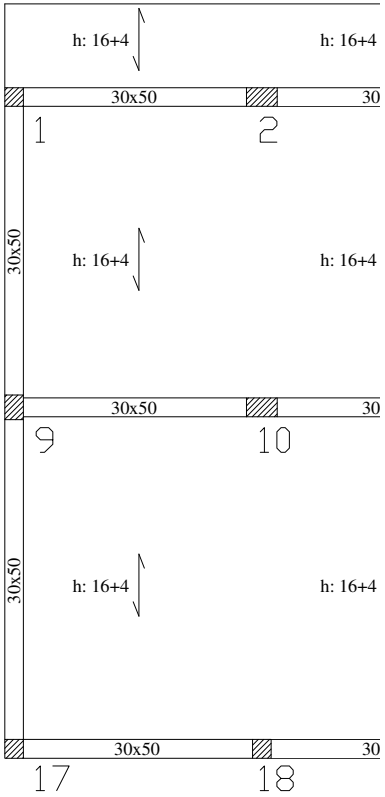
Esempio:

- Pilastro 1, 4° ordine (30x30)
  N_q = 261.3 kN $\rightarrow$ D_u = 37.93 mm

  per a_g = 0.1 g
  N = 293.3 kN $\rightarrow$ D_u = 36.46 mm

  la variazione di sforzo normale è modesta nonostante sia d'angolo perché le travi si plasticizzano

  lo sforzo normale non cresce ulteriormente perché le travi sono plasticizzate



Capacità
al variare di N

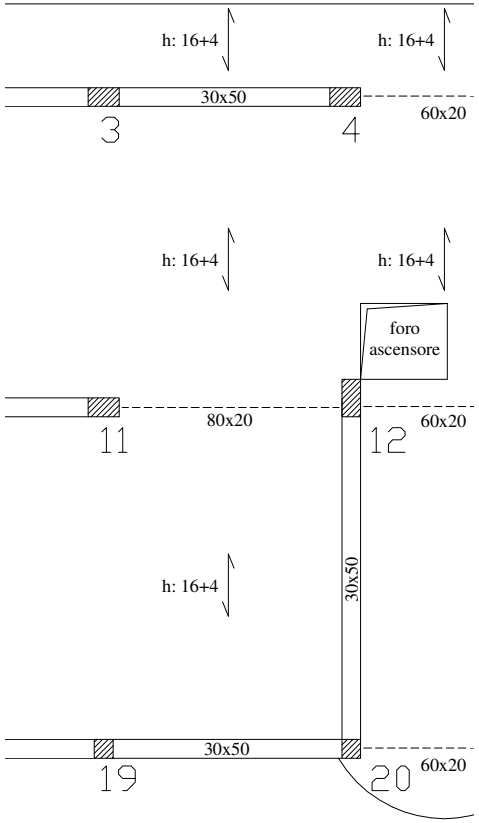
Esempio:

- Pilastro 12, 4° ordine (30x30)
  N_q = 432.0 kN $\rightarrow$ D_u = 30.55 mm

  per a_g = 0.1 g
  N = 465.4 kN $\rightarrow$ D_u = 29.29 mm

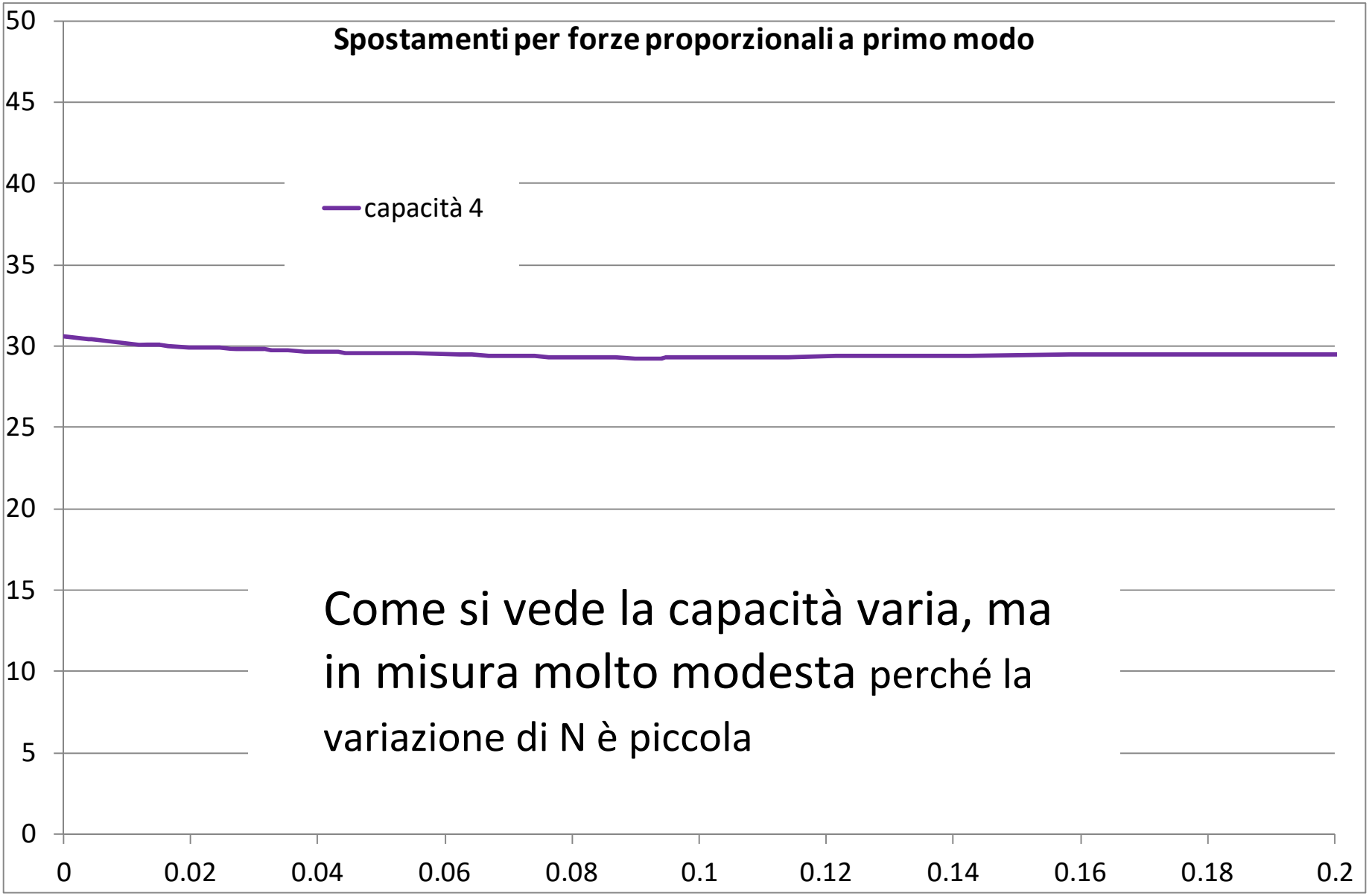
  nel 4° ordine è il pilastro col massimo sforzo normale

  la capacità di spostamento del 4° ordine è condizionata proprio da questo pilastro



Capacità

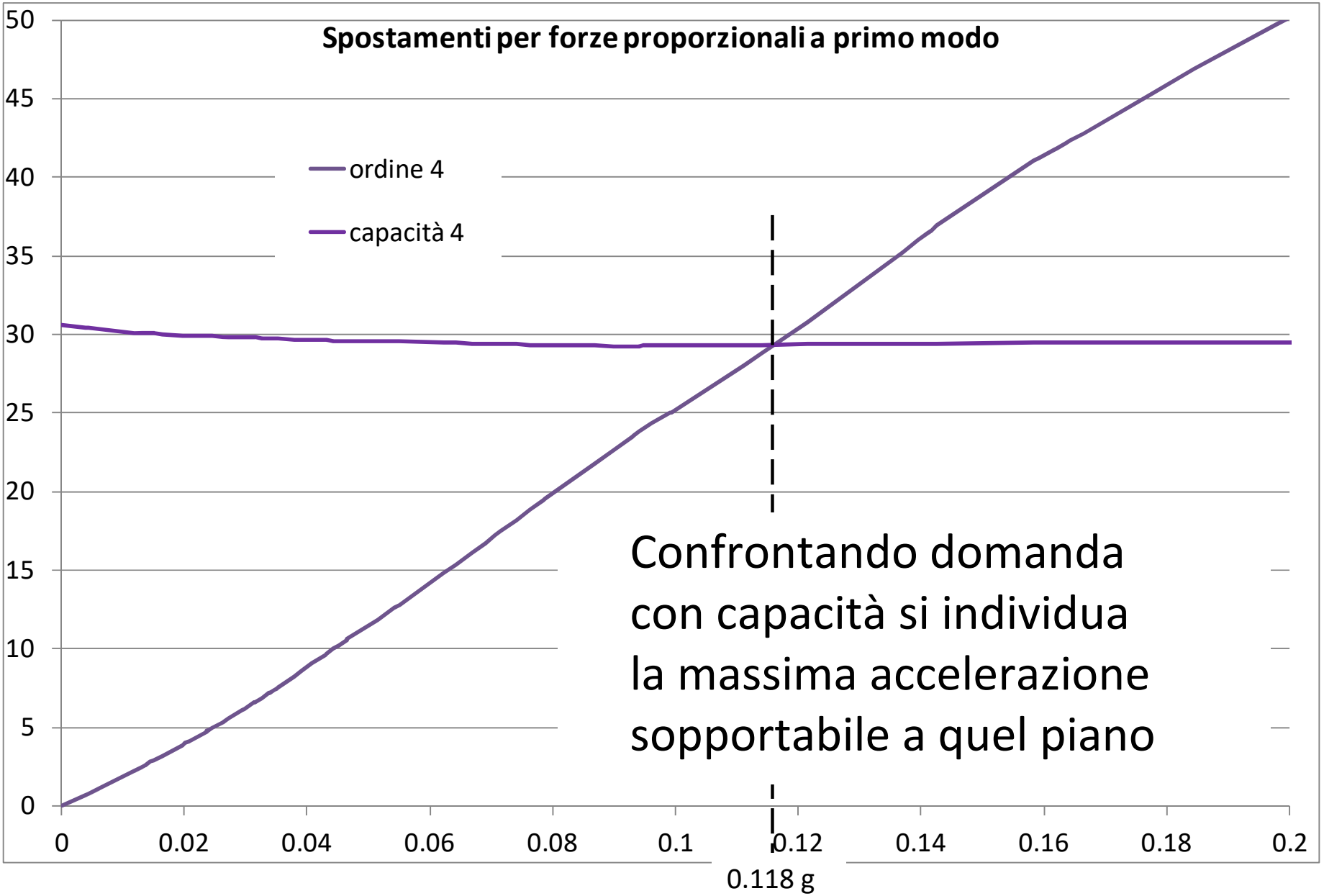
al variare di N – 4° ordine



Come si vede la capacità varia, ma in misura molto modesta perché la variazione di N è piccola

Domanda e Capacità

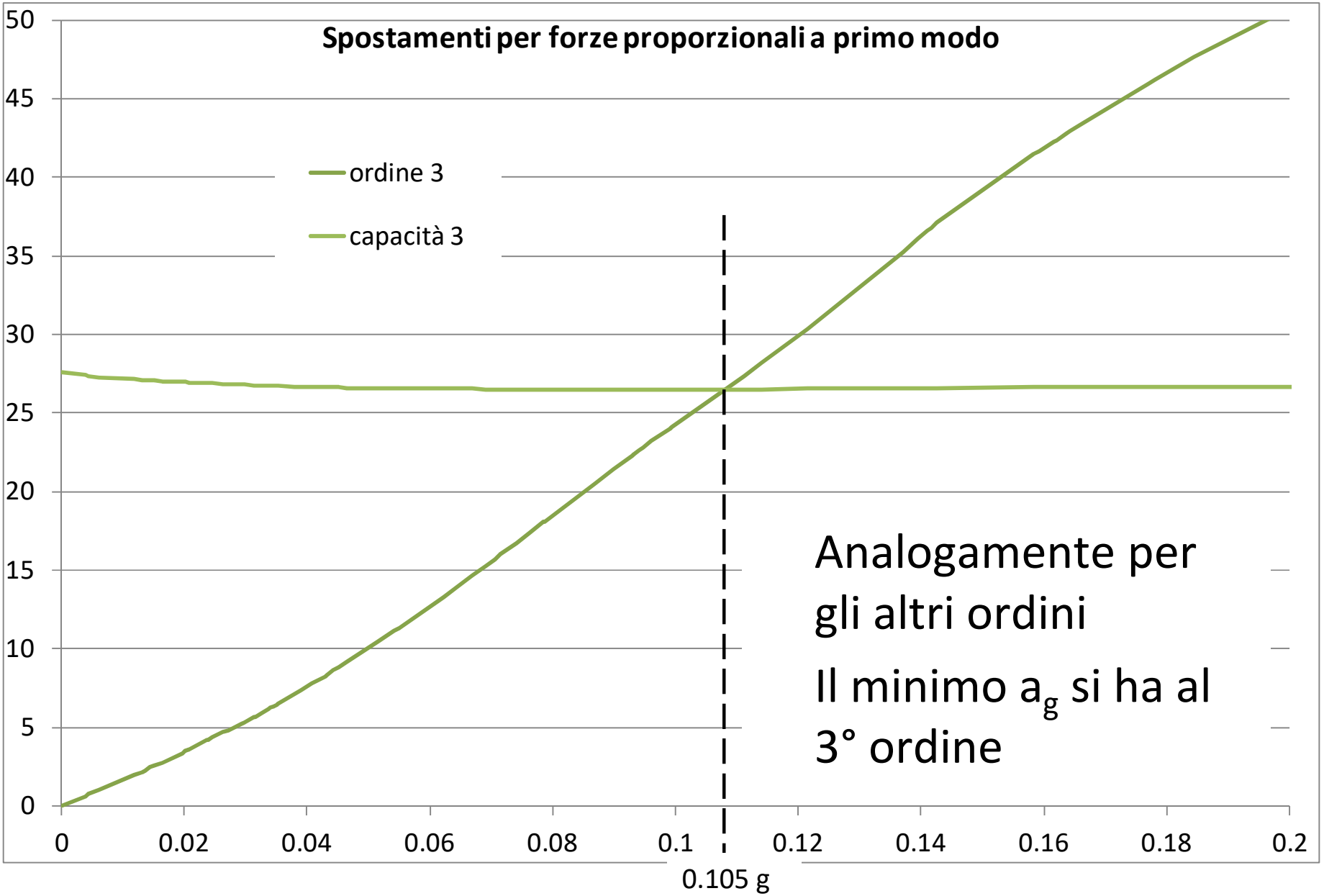
al variare di N – 4° ordine



Confrontando domanda con capacità si individua la massima accelerazione sopportabile a quel piano

Domanda e Capacità

al variare di N – 3° ordine



Riepilogo dei risultati ottenuti

Per il modello esaminato si ha:

- SLD raggiunto per a_g = 0.066 g
- SLV raggiunto per a_g = 0.105 g

Il comportamento della struttura mostra un diffuso danneggiamento delle travi, prima che dei pilastri, e assenza di rotture a taglio nei pilastri

Ma questo risultato vale per questo modello e per i parametri qui utilizzati

Per esprimere un reale giudizio sulla struttura occorre esaminare altri modelli ed usare altri parametri