

Corsi di aggiornamento

**Progettiamo insieme**  
Teoria e pratica della progettazione strutturale

**4. Progetto di edifici con pareti**

04 - Comportamento dinamico delle pareti non accoppiate

Spoletto

17-18 e 24-25 giugno 2016

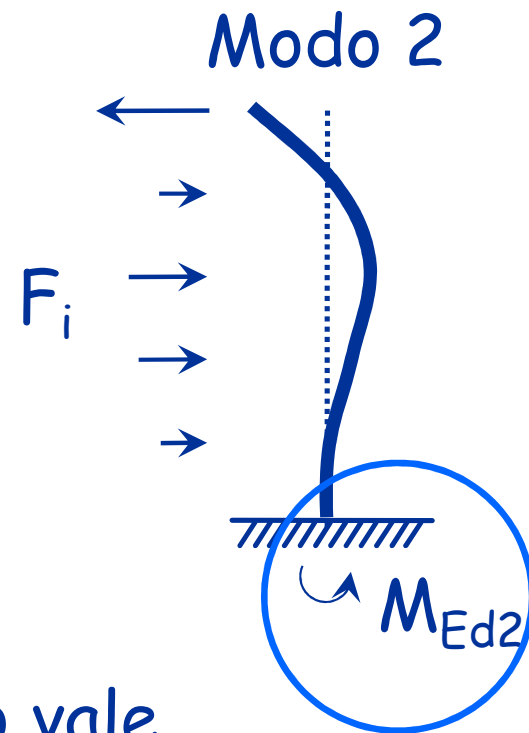
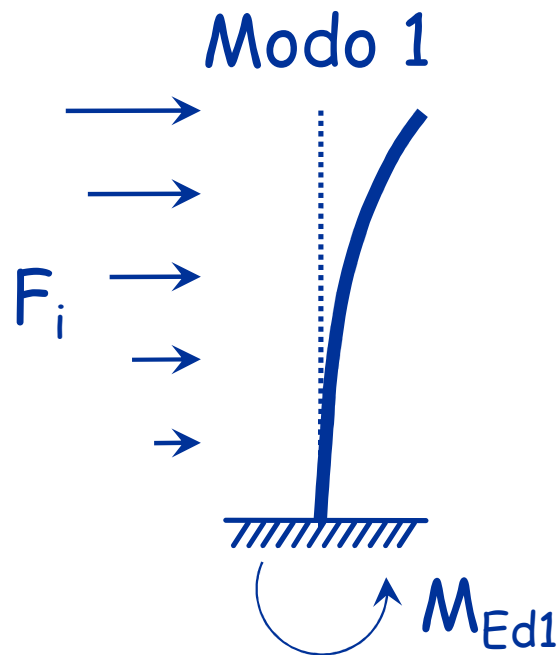
Aurelio Ghersi

# Comportamento lineare e non lineare

- L'analisi modale valuta correttamente il comportamento elastico lineare
- Durante il sisma si supera la resistenza della struttura e si va in campo non lineare
  - La maggior resistenza (sovrarresistenza) a flessione induce maggiori sollecitazioni a taglio
  - Il contributo dei modi successivi al primo può diventare più rilevante

# Amplificazione delle sollecitazioni per effetto dei modi superiori

- Consideriamo i primi due modi di vibrazione



È molto piccolo

Il taglio al generico piano vale

$$V_{Ed} = \sqrt{V_{Ed1}^2 + V_{Ed2}^2}$$

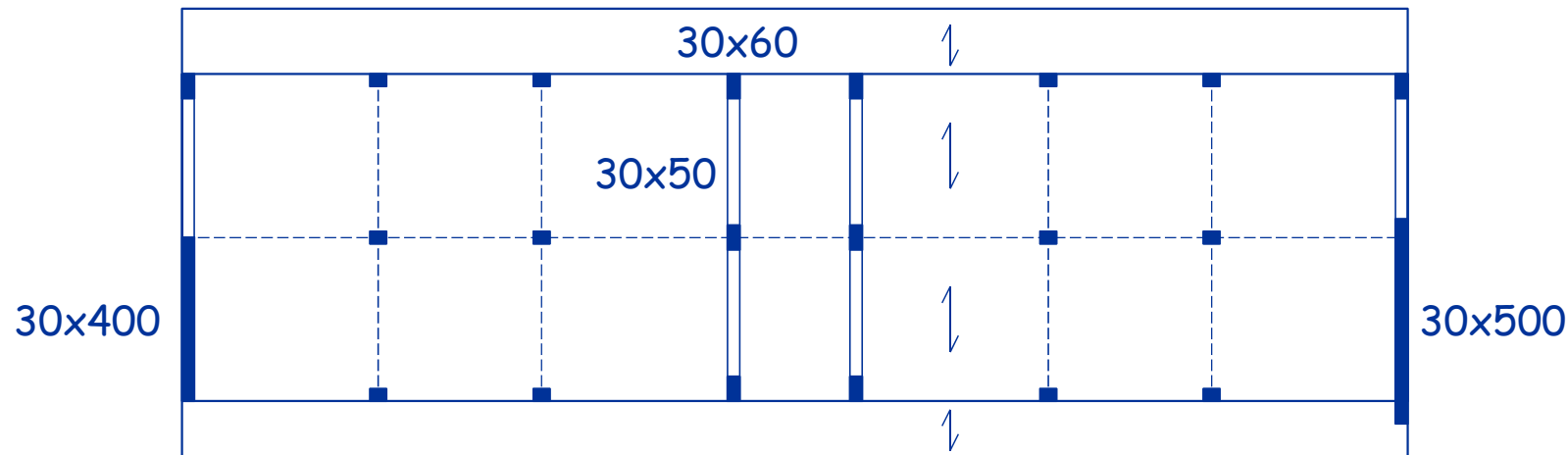
# Amplificazione delle sollecitazioni per effetto dei modi superiori

- Il momento flettente alla base della parete è provocato sostanzialmente dal primo modo
- Il contributo del modo 2 non è influenzato dal momento alla base e dunque dalla plasticizzazione della parete
- Si può immaginare che la struttura risponda secondo il modo 2 elasticamente (cioè senza poter applicare la riduzione di  $q$ ) e dunque il taglio va calcolato come segue

$$V_{Ed} = \sqrt{V_{Ed1}^2 + (qV_{Ed2})^2}$$

# Esempio analizzato

- Edificio a sei impalcati, con due pareti
  - Pareti diverse, ma centro masse = centro rigidezze



6 piani

$H_{\text{piani}} = 3.20 \text{ m}$

$L_{\text{travi}} = 4.00 \text{ m}$

$W_6 = 3000 \text{ kN}$

$W_{\text{altri}} = 3300 \text{ kN}$

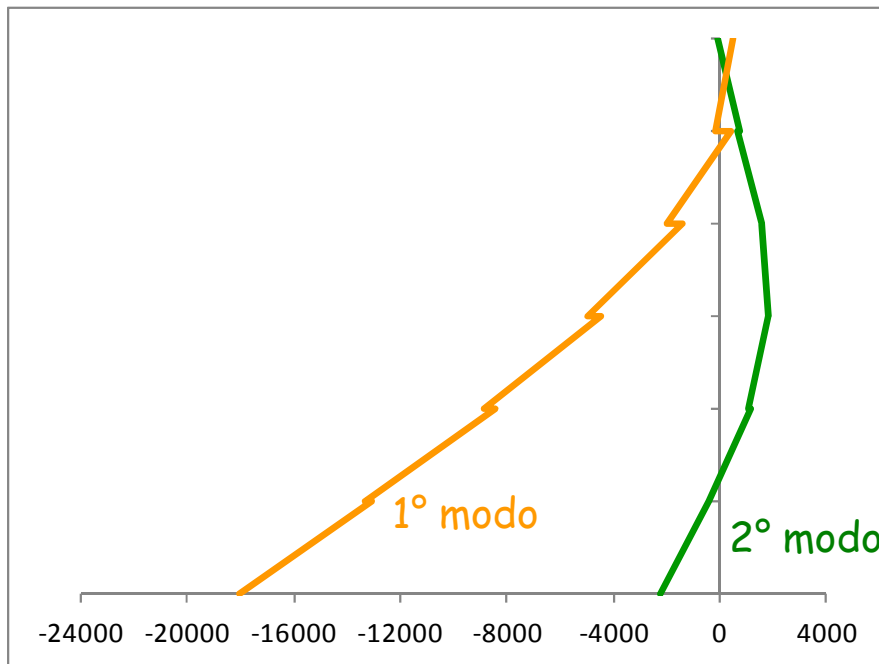
$C_M = C_R$

Vedi cartella "Pareti"

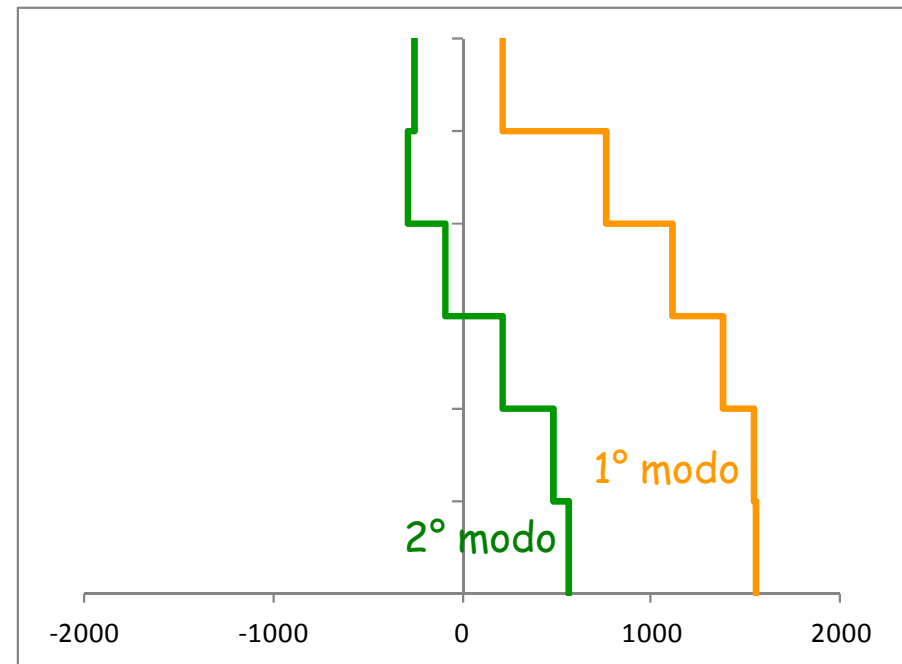
# Comportamento elastico lineare

## analisi modale

- Risultati dell'analisi modale (parete 30x500)



Momento flettente



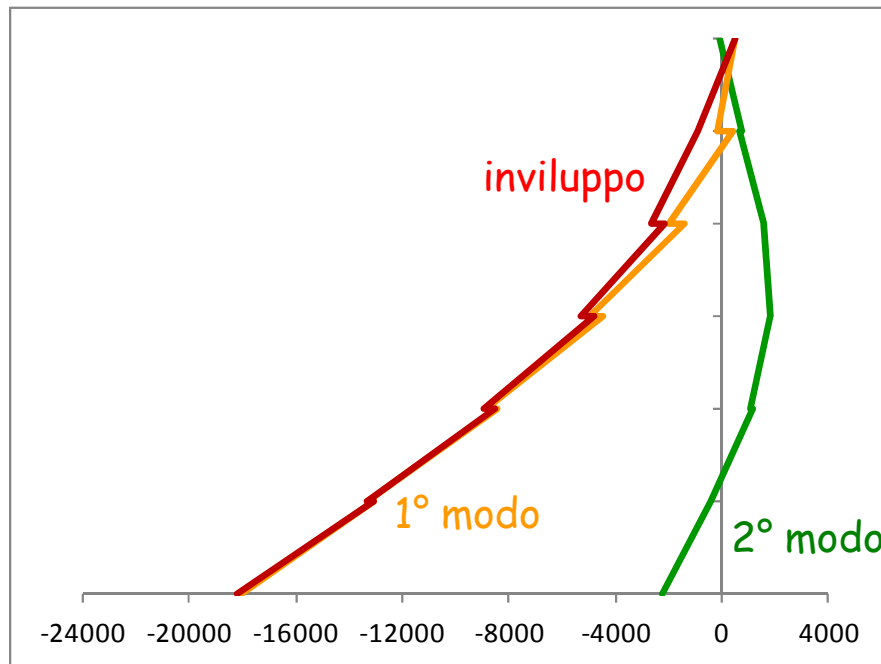
Taglio

# Comportamento elastico lineare

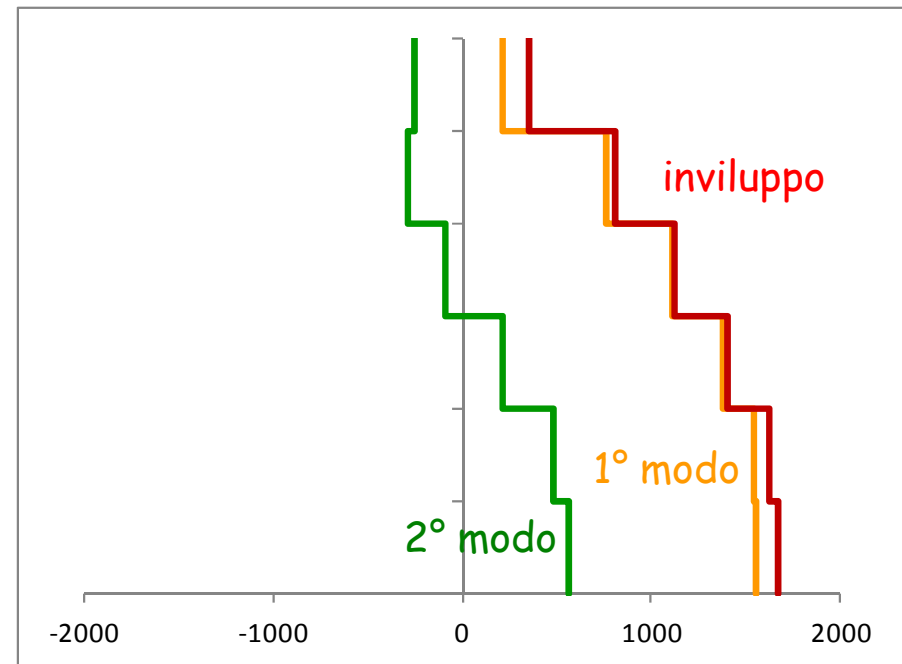
## analisi modale

- Risultati dell'analisi modale (parete 30x500)

Il 2° modo da un contributo minimo



Momento flettente

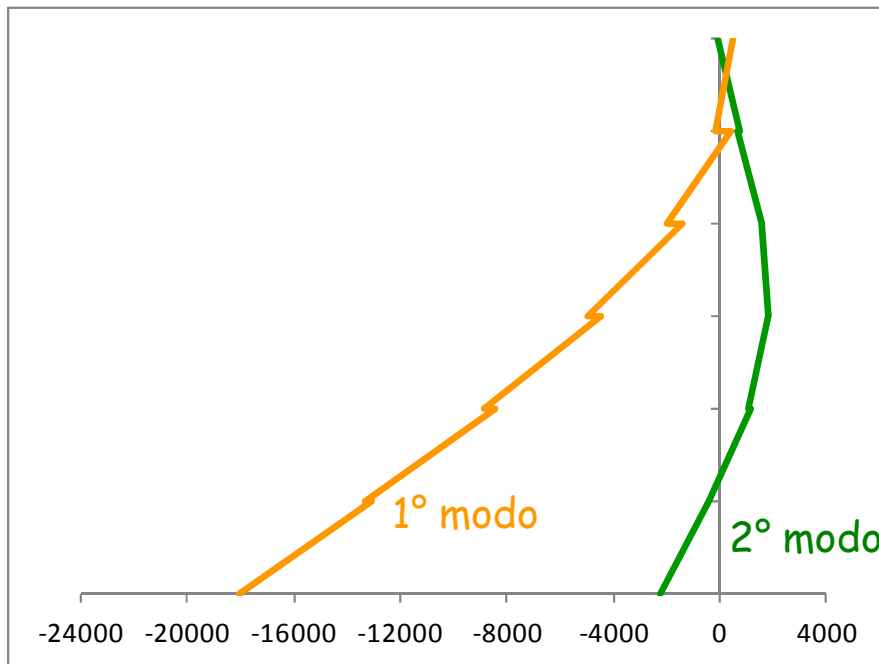


Taglio

# Comportamento elasto-plastico

## analisi modale

- Il 2° modo provoca alla base momenti flettenti modesti
- Quando la sezione alla base si plasticizza l'effetto del secondo modo può dare ulteriori contributi



Momento flettente

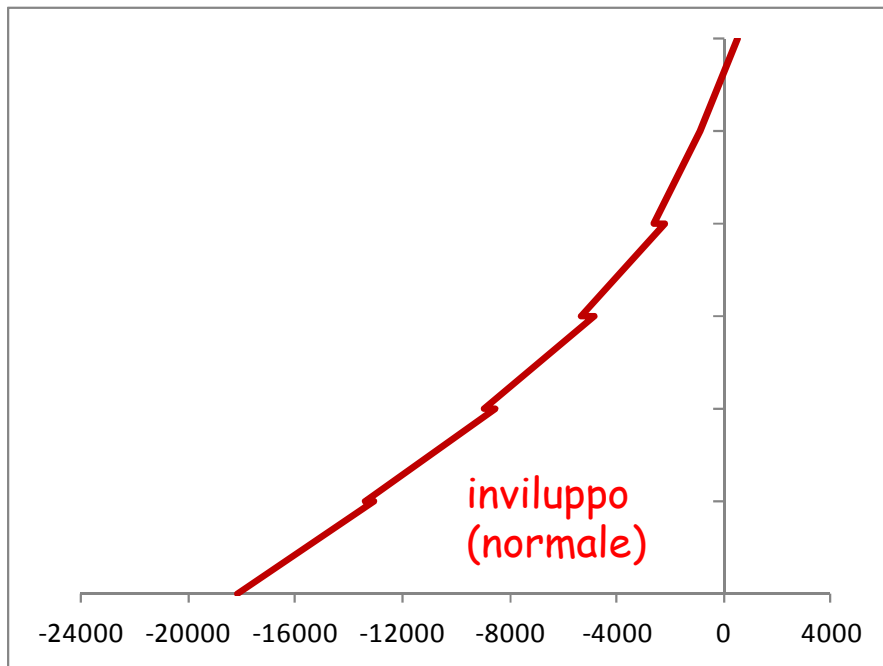
- Per tener conto di questo:
  - moltiplicare per  $q$  il contributo del 2° modo
  - calcolare di nuovo l'involuppo modale



# Comportamento elasto-plastico

## analisi modale

- Il 2° modo provoca alla base momenti flettenti modesti
- Quando la sezione alla base si plasticizza l'effetto del secondo modo può dare ulteriori contributi



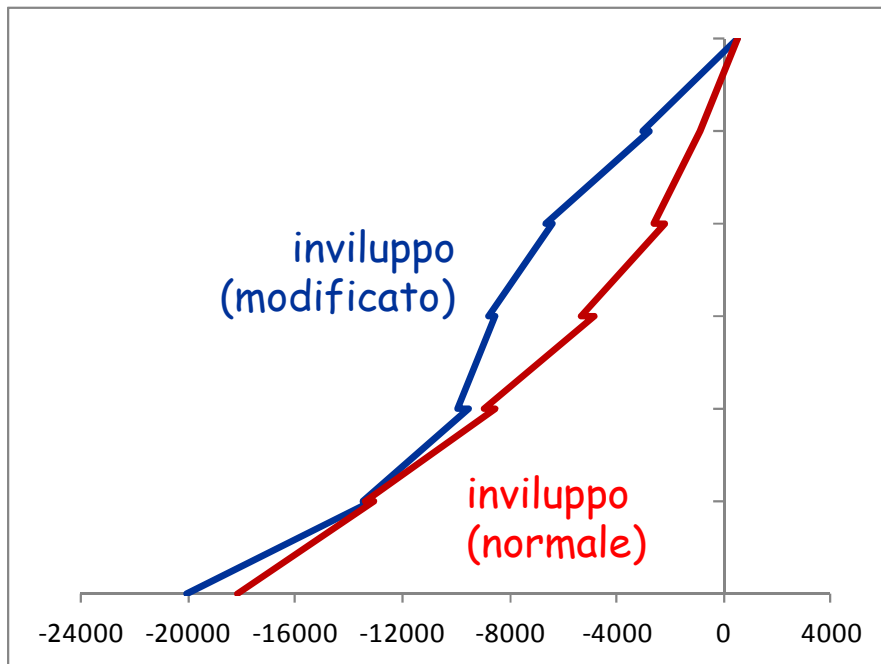
Momento flettente

- Per tener conto di questo:
  - moltiplicare per  $q$  il contributo del 2° modo
  - calcolare di nuovo l'inviluppo modale

# Comportamento elasto-plastico

## analisi modale

- Il 2° modo provoca alla base momenti flettenti modesti
- Quando la sezione alla base si plasticizza l'effetto del secondo modo può dare ulteriori contributi



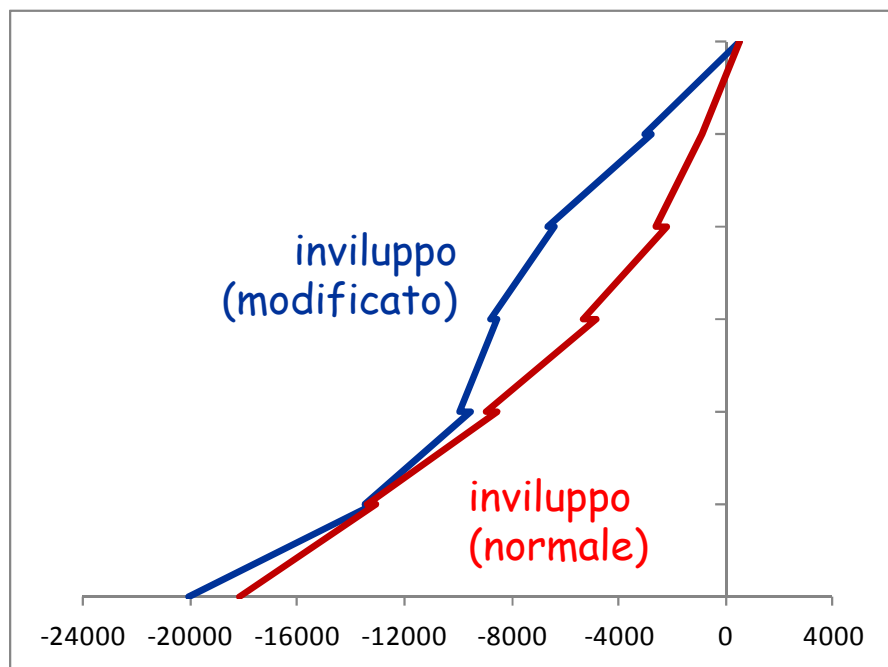
Momento flettente

- Per tener conto di questo:
  - moltiplicare per  $q$  il contributo del 2° modo
  - calcolare di nuovo l'involuppo modale

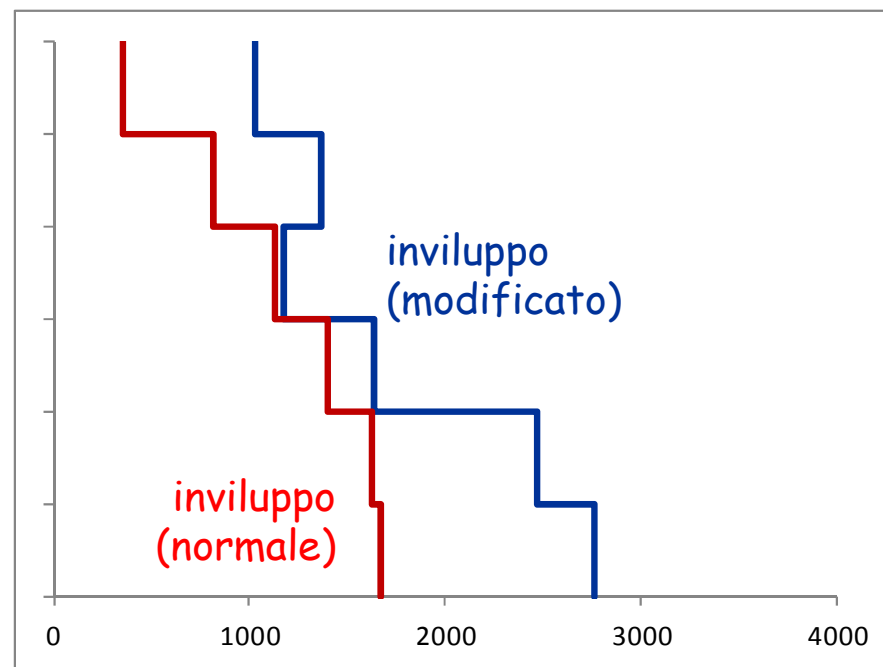
# Comportamento elasto-plastico

## analisi modale

- Il 2° modo provoca alla base momenti flettenti modesti
- Quando la sezione alla base si plasticizza l'effetto del secondo modo può dare ulteriori contributi



Momento flettente

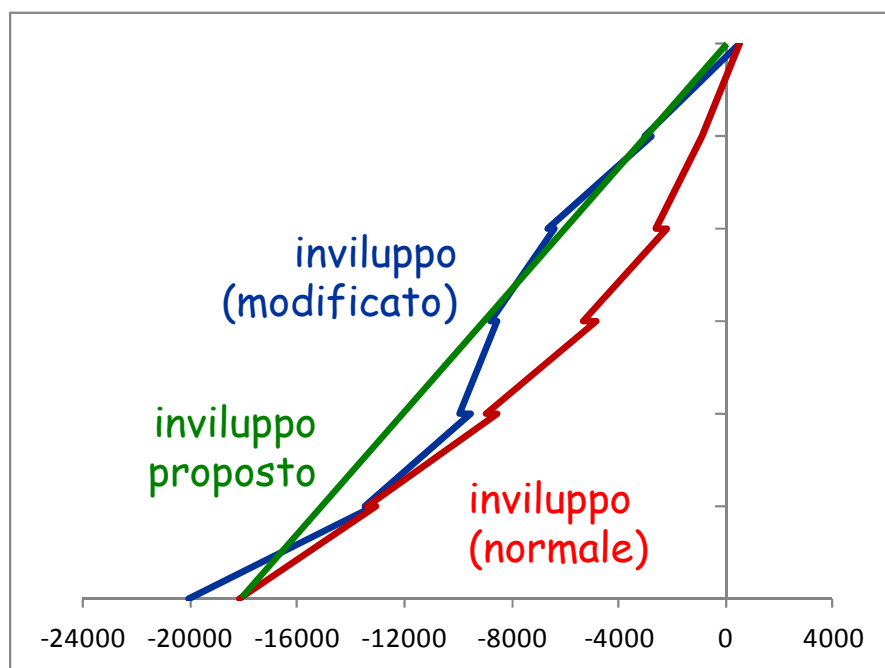


Taglio

# Comportamento elasto-plastico

## analisi modale

- Commento: flessione
  - Si ha un incremento del momento flettente ai piani superiori



Momento flettente

Suggerimento di normativa

- Adottare un diagramma del momento flettente lineare

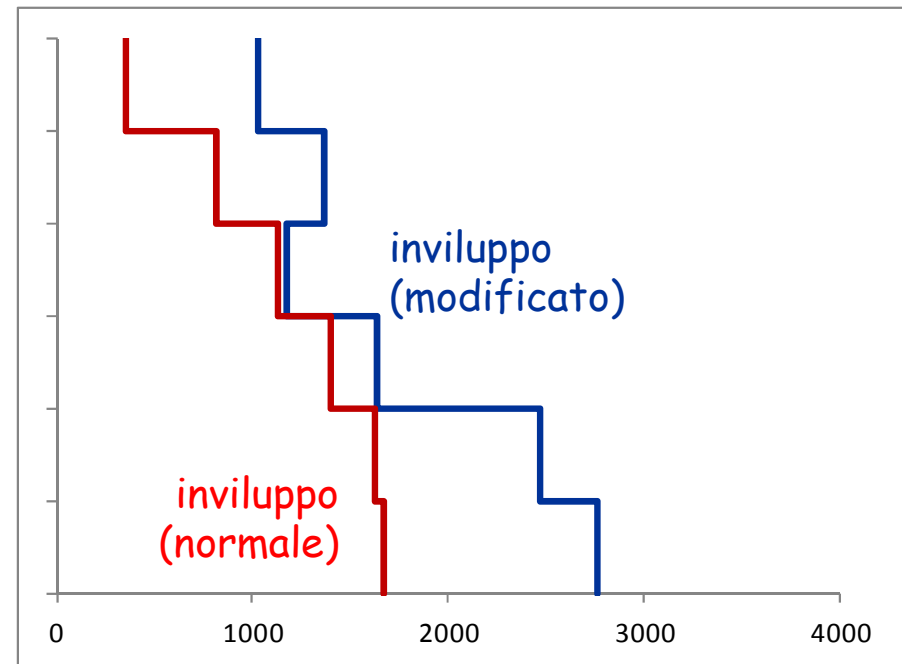
# Comportamento elasto-plastico

## analisi modale

- Commento: taglio
  - Si ha un forte incremento del taglio alla base
  - Ai piani superiori il taglio si mantiene forte

### Suggerimento di normativa

- Calcolare l'incremento alla base
- Mantenere in testa un taglio pari a metà del valore alla base



Taglio

# Comportamento elasto-plastico

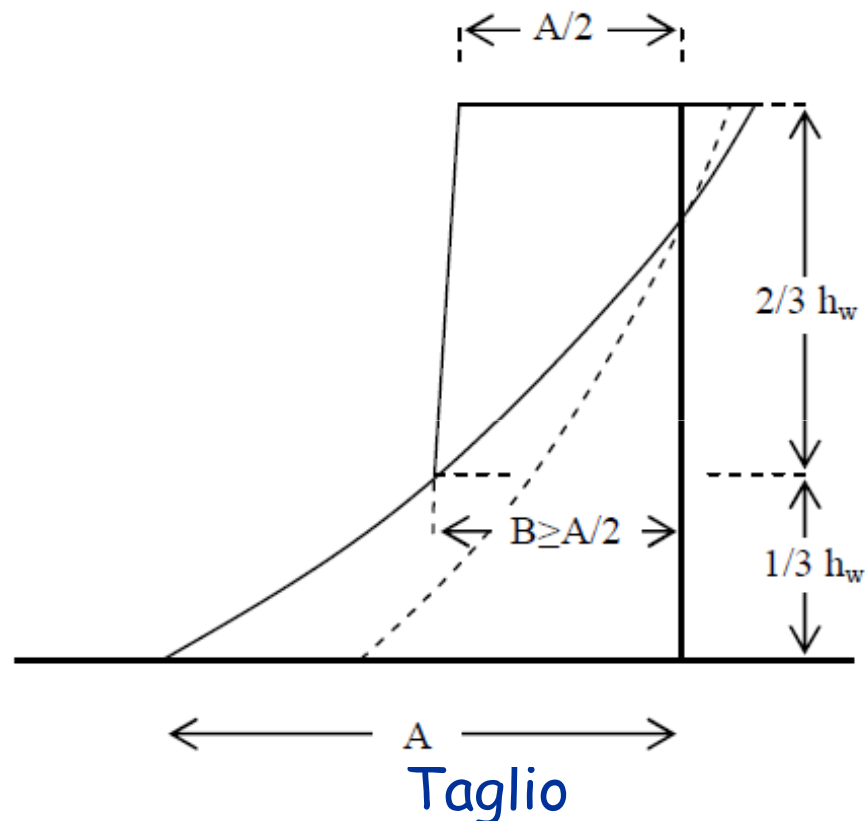
## analisi modale

- Commento: taglio
  - Si ha un forte incremento del taglio alla base
  - Ai piani superiori il taglio si mantiene forte

### Suggerimento di normativa

- Calcolare l'incremento alla base
- Mantenere in testa un taglio pari a metà del valore alla base
- Amplificare secondo la figura per  $z > h_w/3$

Nota: l'immagine di normativa non è molto verosimile, perché il taglio è costante a tratti



# Amplificazione delle sollecitazioni per effetto dei modi superiori

- Il taglio andrebbe calcolato come segue

$$V_{Ed} = \sqrt{V_{Ed1}^2 + (qV_{Ed2})^2}$$

- Il contributo alla risposta sismica del modo 2 può essere espresso in funzione di quello del modo 1

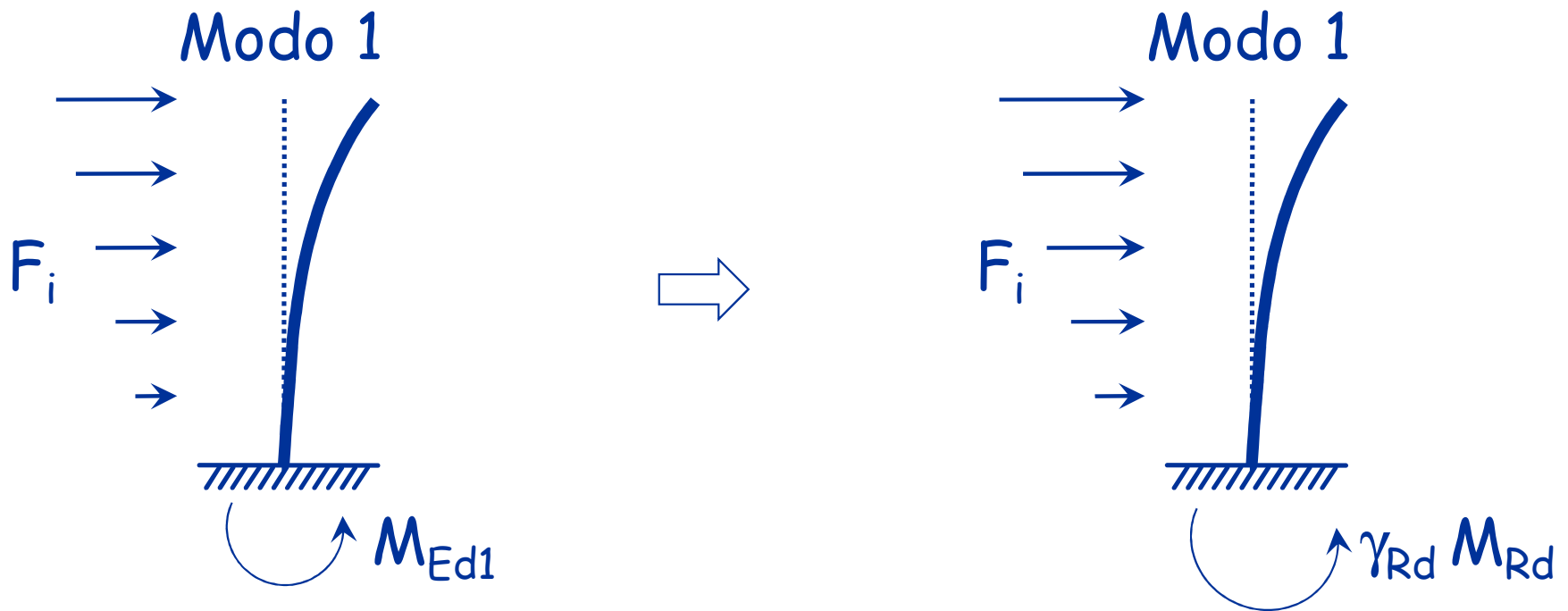
$$V_{Ed2} = \sqrt{0.1} \frac{S_d(T_c)}{S_d(T_1)} V_{Ed1}$$

ottenendo quindi

$$V_{Ed} = \sqrt{V_{Ed1}^2 + \left( q\sqrt{0.1} \frac{S_d(T_c)}{S_d(T_1)} V_{Ed1} \right)^2}$$

# Amplificazione delle sollecitazioni per effetto della sovraresistenza

- La parete può avere al piede una resistenza a flessione maggiore di quella di calcolo
- Di conseguenza anche il taglio può aumentare



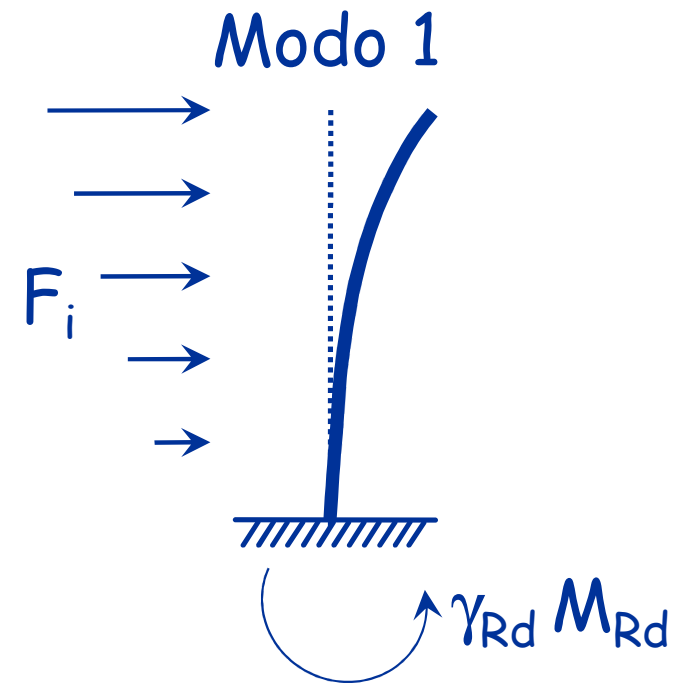


# Amplificazione delle sollecitazioni per effetto della sovraresistenza

- La parete può avere al piede una resistenza a flessione maggiore di quella di calcolo
- Di conseguenza anche il taglio può aumentare
- Si può incrementare in proporzione il contributo del primo modo

$$V_{Ed} = \sqrt{V_{Ed1}^2 + \left( q \sqrt{0.1} \frac{S_d(T_c)}{S_d(T_1)} V_{Ed1} \right)^2}$$

Moltiplicare  $V_{Ed1}$  per  $\frac{\gamma_{Rd} M_{Rd}}{M_{Ed}}$



# Amplificazione delle sollecitazioni per effetto di modi superiori e sovrarresistenza

- Tenendo conto di modi superiori e sovrarresistenza

$$V_{Ed} = \sqrt{\left( \gamma_{Rd} \frac{M_{Rd}}{M_{Ed}} V_{Ed1} \right)^2 + \left( q \sqrt{0.1} \frac{S_d(T_c)}{S_d(T_1)} V_{Ed1} \right)^2}$$

- La norma prescrive quindi di amplificare il valore di calcolo  $V_{Ed}$  mediante il coefficiente

$$1.5 \leq q \sqrt{\left( \frac{\gamma_{Rd}}{q} \frac{M_{Rd}}{M_{Ed}} \right)^2 + \left( \sqrt{0.1} \frac{S_d(T_c)}{S_d(T_1)} \right)^2} \leq q$$

# Amplificazione delle sollecitazioni per effetto di modi superiori e sovrarresistenza

- Più precisamente, la normativa prescrive come fattore di incremento

## Strutture di classe di duttilità A

pareti snelle  $1.5 \leq q \sqrt{\left(\frac{\gamma_{Rd}}{q} \frac{M_{Rd}}{M_{Ed}}\right)^2 + \left(\sqrt{0.1} \frac{S_d(T_c)}{S_d(T_1)}\right)^2} \leq q$  con  $\gamma_{Rd} = 1.2$

pareti tozze  $\gamma_{Rd} \frac{M_{Rd}}{M_{Ed}} \leq q$

## Strutture di classe di duttilità B

pareti snelle 1.5

pareti estese  
debolmente armate  $\frac{q+1}{2}$

# Esempio e considerazioni

- Per l'edificio esaminato in precedenza si ha

Struttura di classe di duttilità A

$$q = 4$$

$$T_1 = 0.514 \text{ s} \quad T_c = 0.53 \text{ s} \quad S_d(T_1) = S_d(T_c)$$

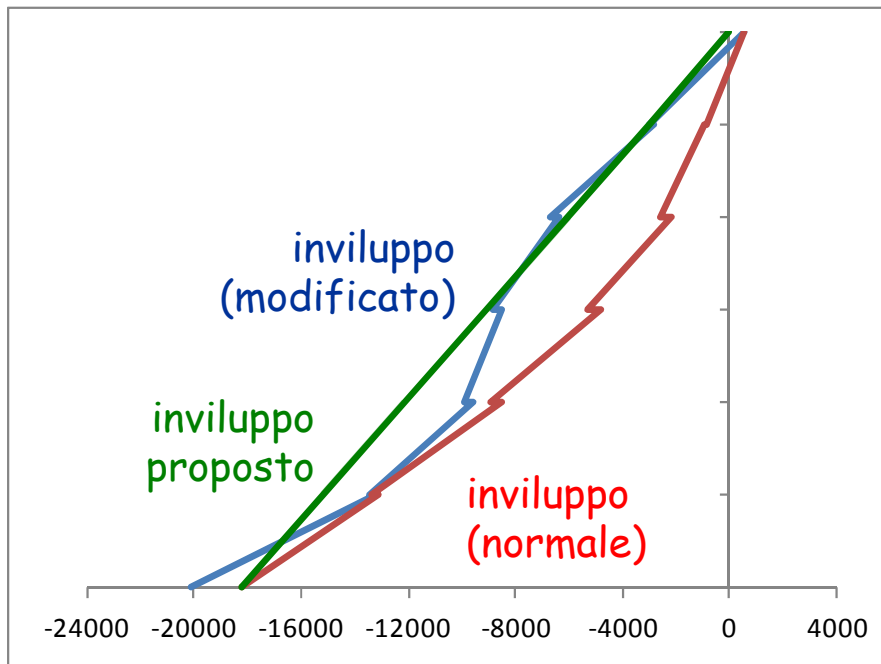
si ipotizza  $M_{Rd} = M_{Ed}$

$$q \sqrt{\left( \frac{\gamma_{Rd}}{q} \frac{M_{Rd}}{M_{Ed}} \right)^2 + \left( \sqrt{0.1} \frac{S_d(T_c)}{S_d(T_1)} \right)^2} = 1.744$$

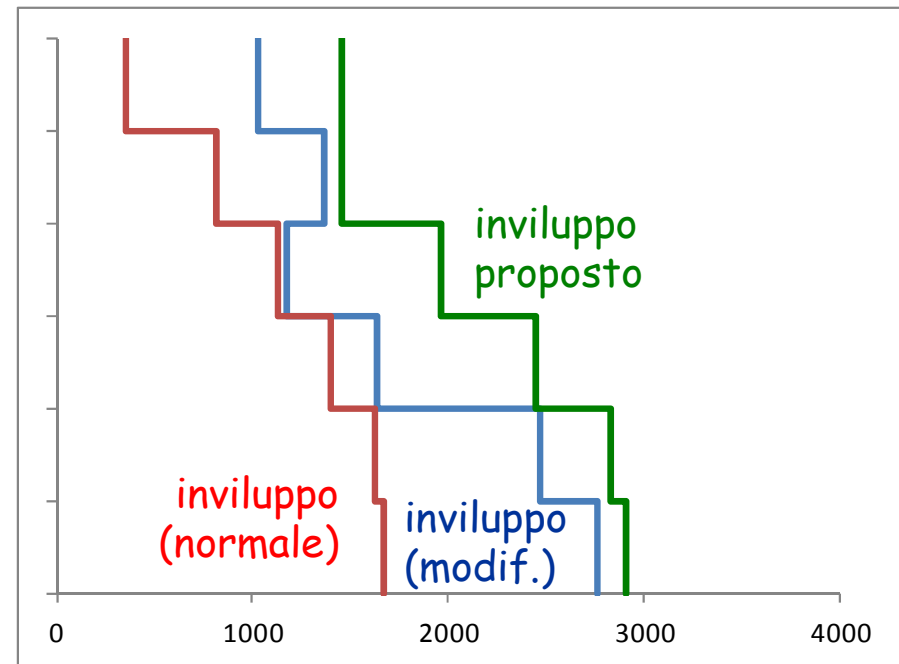
# Esempio e considerazioni

- Per l'edificio esaminato in precedenza si ha

Struttura di classe di duttilità A    incremento taglio 1.744



Momento flettente

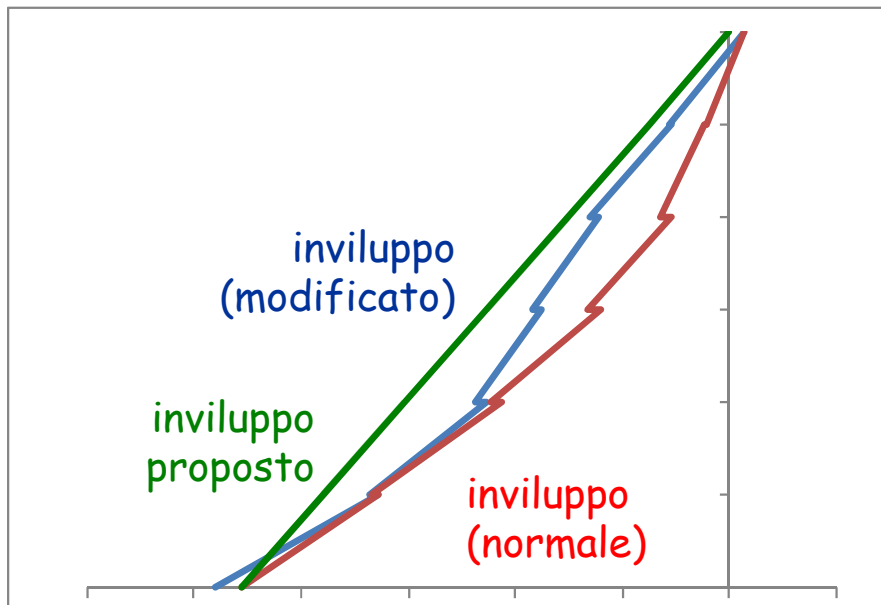


Taglio

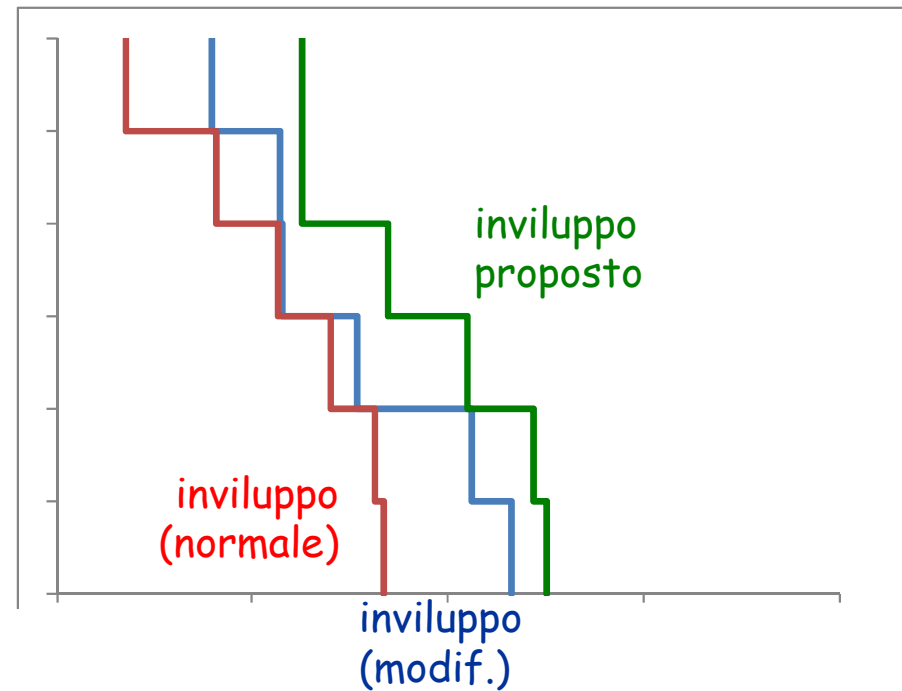
# Esempio e considerazioni

- Per l'edificio esaminato in precedenza si ha

Struttura di classe di duttilità B      incremento taglio 1.5



Momento flettente



Taglio

# Cosa cambia con la Bozza NTC 2015

Uguali prescrizioni per le due classi di duttilità

pareti snelle  $1.5 \leq q \sqrt{\left(\frac{\gamma_{Rd}}{q} \frac{M_{Rd}}{M_{Ed}}\right)^2 + \left(\sqrt{0.1} \frac{S_d(T_c)}{S_d(T_1)}\right)^2} \leq q$

pareti tozze  $\gamma_{Rd} \frac{M_{Rd}}{M_{Ed}} \leq q$

Classe di duttilità A

$$q = 4 \text{ e } \gamma_{Rd} = 1.2$$

Classe di duttilità B

$$q = 3 \text{ e } \gamma_{Rd} = 1.0$$

# Cosa cambia con la Bozza NTC 2015

Uguali prescrizioni per le due classi di duttilità

pareti snelle

$$1.5 \leq q \sqrt{\left( \frac{\gamma_{Rd}}{q} \frac{M_{Rd}}{M_{Ed}} \right)^2 + \left( \sqrt{0.1} \frac{S_d(T_c)}{S_d(T_1)} \right)^2} \leq q$$

Esempio per pareti snelle

$$T_1 = 0.514 \text{ s} \quad T_c = 0.53 \text{ s} \quad S_d(T_1) = S_d(T_c)$$

si ipotizza  $M_{Rd} = M_{Ed}$

Classe di duttilità A

$$q = 4 \text{ e } \gamma_{Rd} = 1.2$$

Incremento taglio 1.74

Classe di duttilità B

$$q = 3 \text{ e } \gamma_{Rd} = 1.0$$

Incremento taglio ~~1.38~~  
1.50