

Università di Catania
Corso di laurea in ingegneria civile strutturale e geotecnica

Costruzioni in zona sismica

Risoluzione degli schemi base. Giudizio sulla struttura

1 dicembre 2011

Aurelio Ghersi

Giudicare gli schemi base e le combinazioni di carico

Carichi verticali:

siamo già abituati ad esaminarli e giudicarli

Forze orizzontali:

discutere separatamente analisi statica e modale

Discutere poi:

- effetto dell'eccentricità accidentale
- combinazione delle azioni nelle due direzioni

Discussione dei risultati: sisma - analisi statica

Un mare di numeri. Come non perdersi?

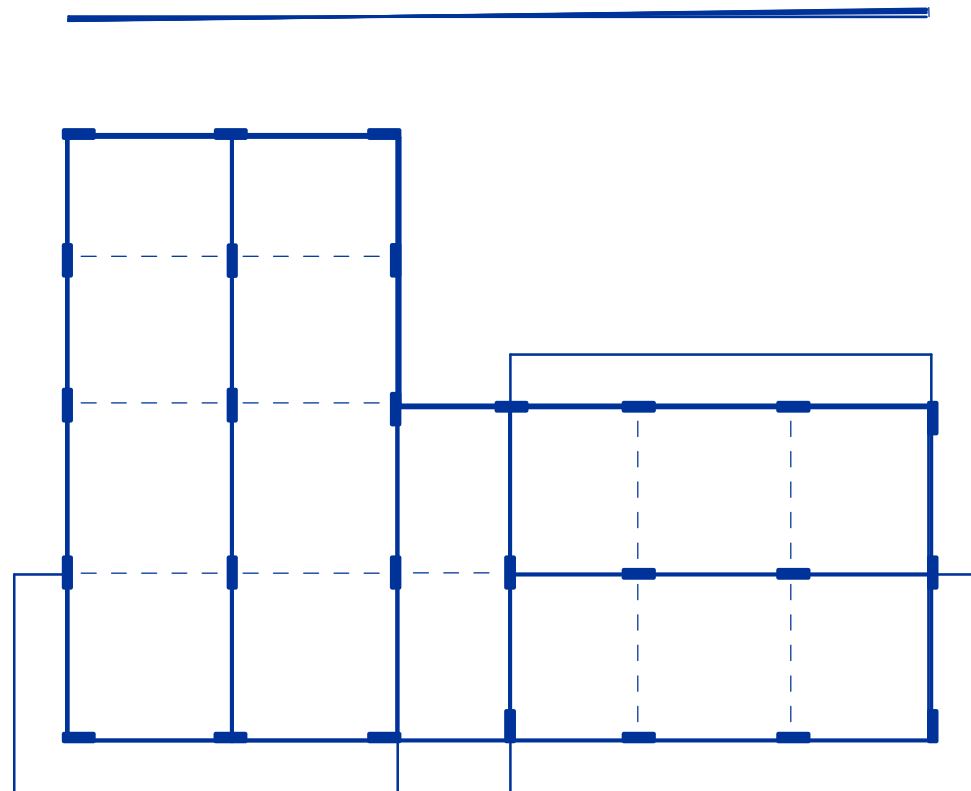
Analisi statica

- Esaminare gli spostamenti prodotti dalle forze nelle due direzioni
 - spostamenti analoghi nelle due direzioni o molto diversi?
 - solo traslazione, rotazione dell'impalcato modesta oppure forte?
- Stimare e controllare il periodo
- Esaminare i momenti massimi nei pilastri e nelle travi
 - rispettano le previsioni o no?

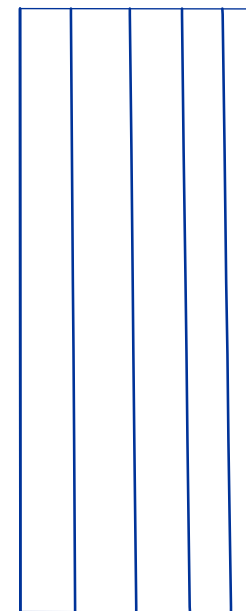
Spostamenti per F_x

0.22 mm

0.36 mm



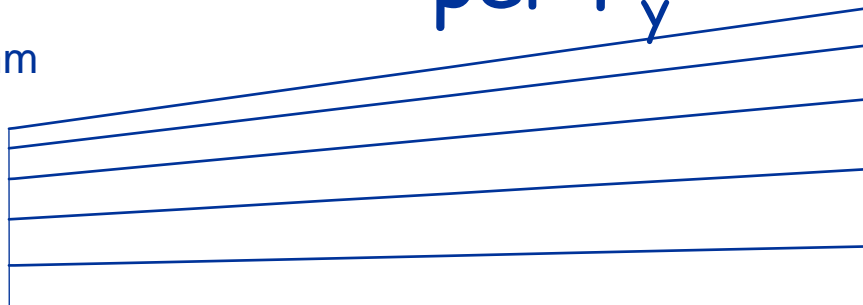
11.38 mm



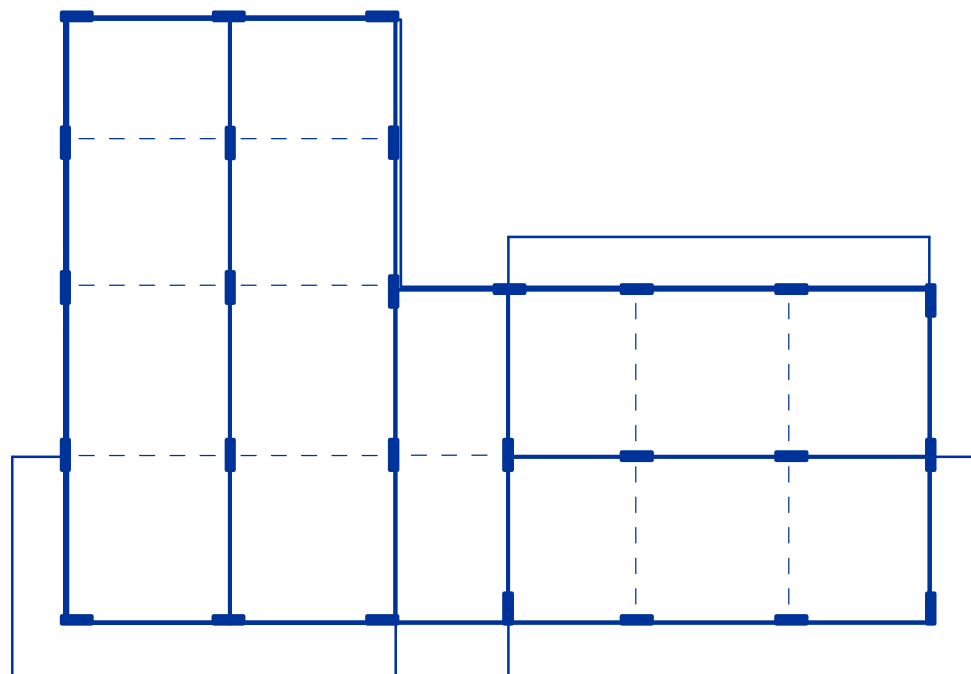
11.77 mm

Spostamenti per F_y

8.99 mm



14.91 mm

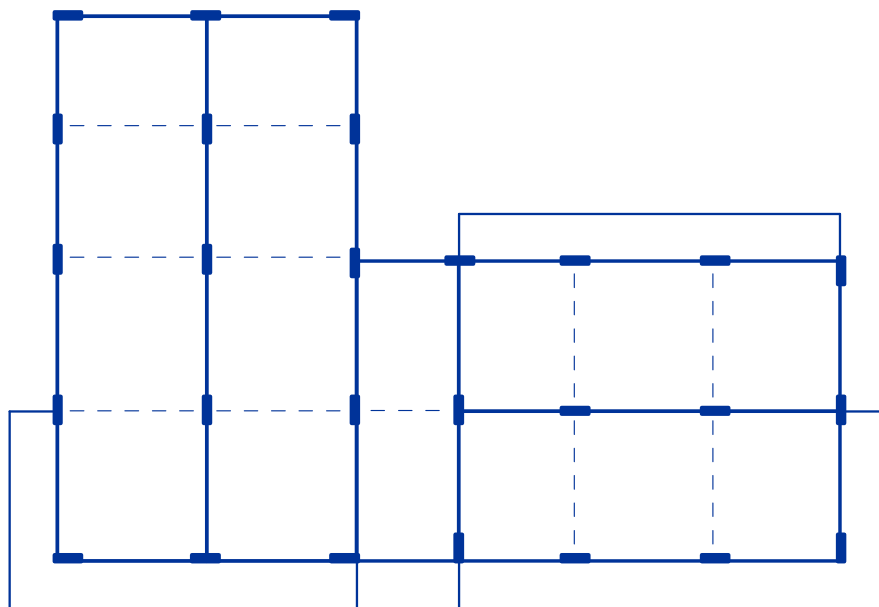


2.67 mm

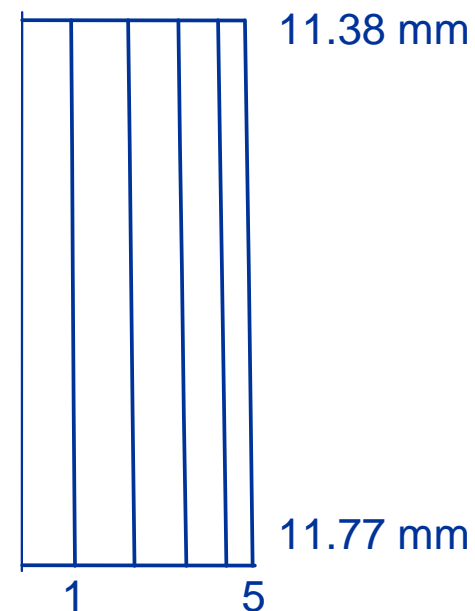


1.54 mm

Spostamenti



Spostamenti
per F_x

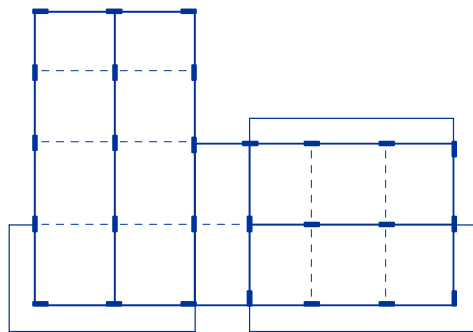


Spostamenti classe di duttilità "A"

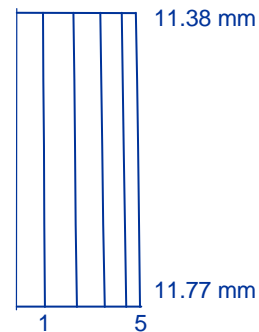
Rotazione non
trascurabile per forze
in direzione y



La parte destra
andrebbe irrigidita



Spostamenti
per F_x



mediamente, spostamenti
analoghi nelle due direzioni
(ma i massimi per F_y sono
maggiori di circa il 25%)

Spostamenti per forze in
direzione x uniformi

Periodo proprio della struttura (Metodo di Rayleigh)

Una buona stima del periodo si ottiene:

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N m_i u_i^2}{\sum_{i=1}^N F_i u_i}}$$

m_i : massa di piano

F_i : Forza di piano

u_i : spostamento del baricentro di piano
(provocato dalle forze F_i)

Periodo proprio della struttura (direzione x)

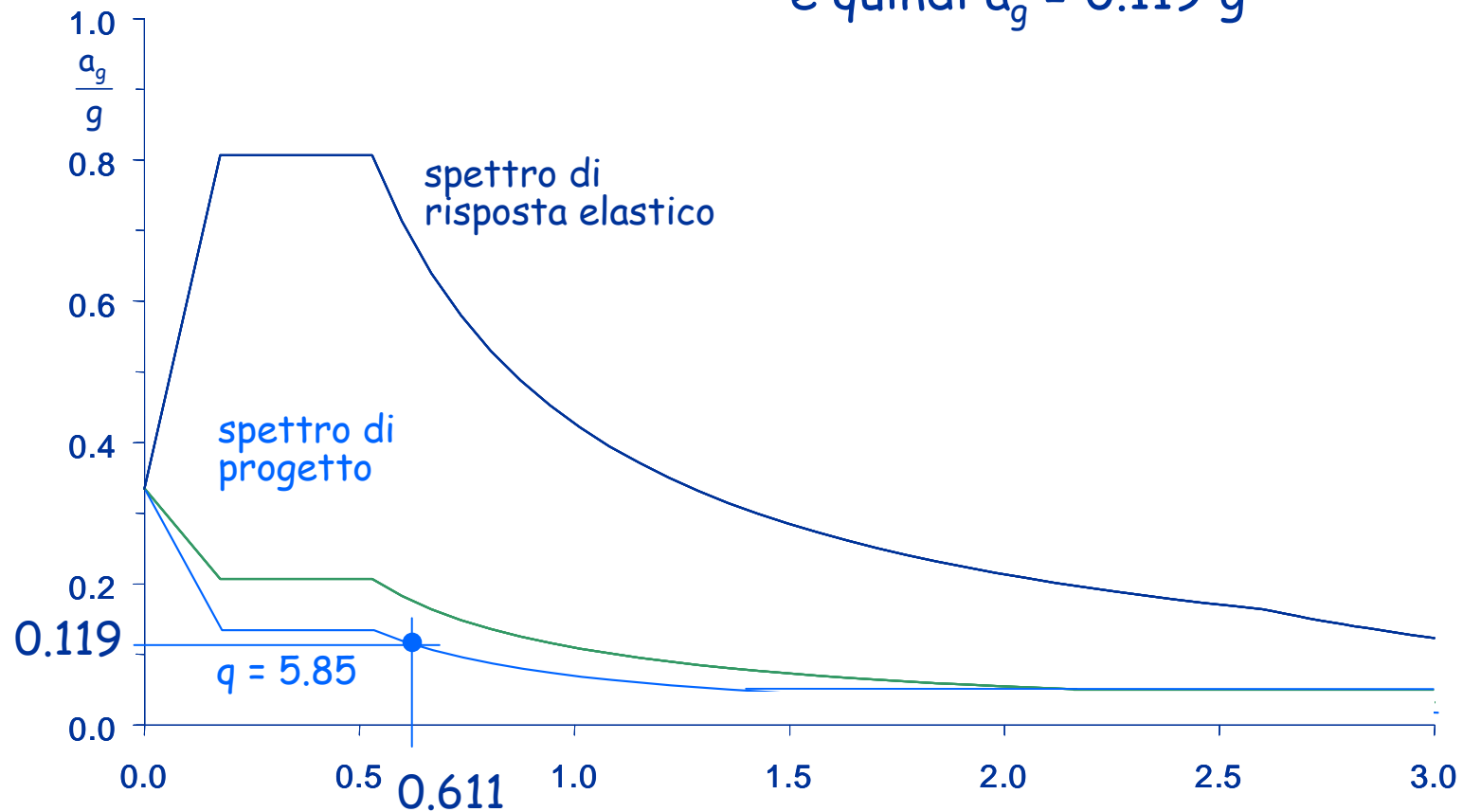
| Piano | m (kN s ² /m) | F _x (kN) | u _x (mm) | F _x u _x (kN m) | m u _x ² (kN m s ²) |
|-----------|-----------------------------|------------------------|------------------------|---|---|
| Torrino+V | 313.1 | 506.4 | 11.628 | 5888.2 | 42.34 |
| IV | 334.9 | 435.9 | 10.307 | 4492.7 | 35.58 |
| III | 334.9 | 330.2 | 8.292 | 2738.2 | 23.03 |
| II | 334.9 | 224.6 | 5.652 | 1269.2 | 10.70 |
| I | 297.2 | 105.5 | 2.646 | 279.2 | 2.08 |
| somma | | | | 14667.4 | 113.72 |

$$T_x = 2\pi \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N m_i u_{xi}^2}{\sum_{i=1}^N F_{xi} u_{xi}}}$$

$$T_x = 0.553 \text{ s}$$

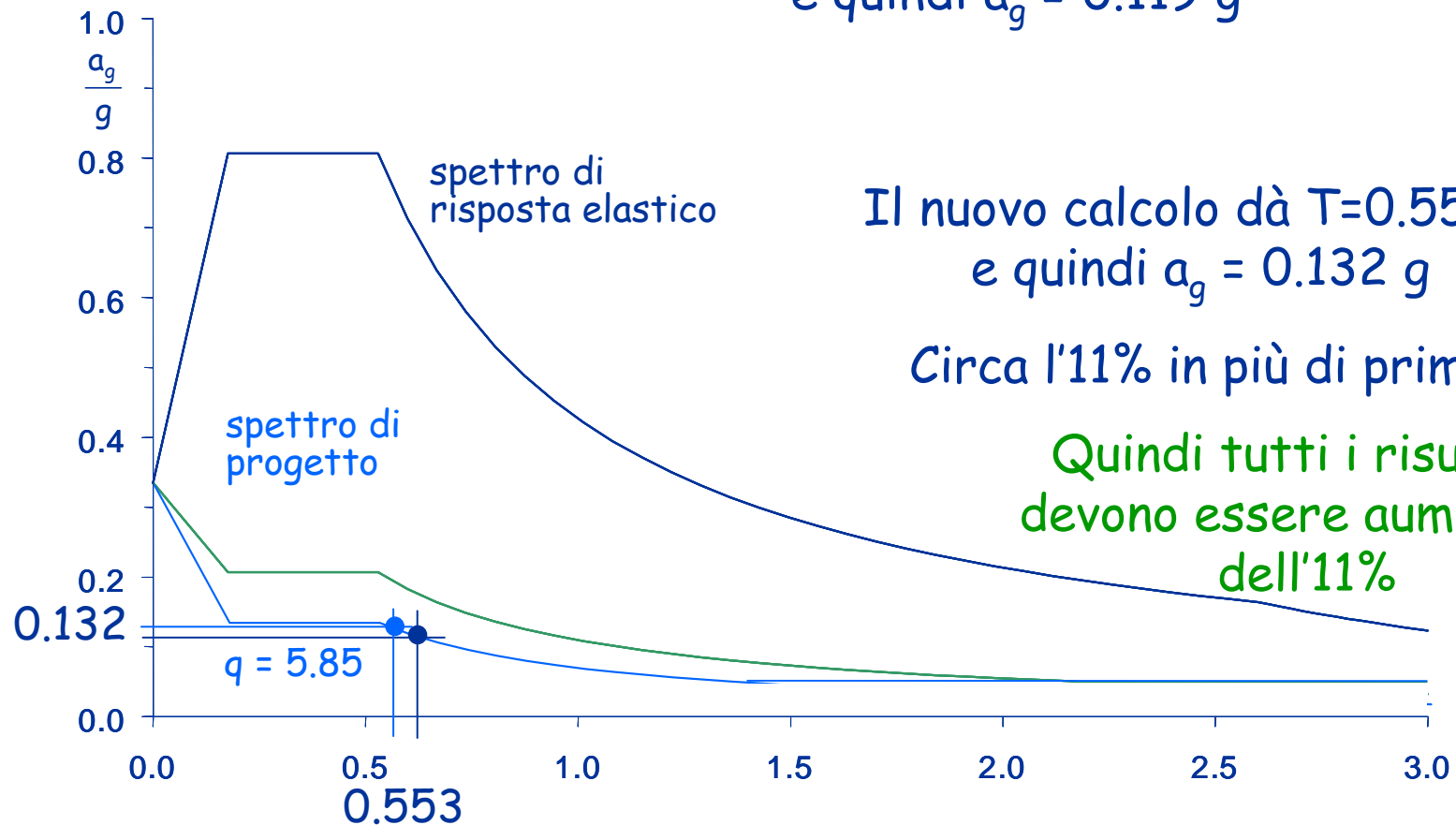
Esempio - ordinata spettrale

Si era ipotizzato $T=0.611$ s
e quindi $a_g = 0.119$ g



Esempio - ordinata spettrale

Si era ipotizzato $T=0.611$ s
e quindi $a_g = 0.119$ g



Il nuovo calcolo dà $T=0.553$ s
e quindi $a_g = 0.132$ g

Circa l'11% in più di prima

Quindi tutti i risultati
devono essere aumentati
dell'11%

Sollecitazioni per forze in direzione x senza incremento per rotazione

| Piano | Taglio globale (kN) | Taglio pilastro (kN) | Momento pilastro (kNm) | Momento trave (kNm) |
|---------|---------------------|----------------------|------------------------|---------------------|
| 5 | 549.6 | 42.3 | 67.6 | 33.8 |
| 4 | 968.2 | 74.5 | 119.2 | 93.4 |
| 3 | 1285.3 | 98.9 | 158.2 | 138.7 |
| 2 | 1500.9 | 115.5 | 184.7 | 171.5 |
| 1 testa | 1593.8 | 122.6 | 176.5 | 180.6 |
| piede | | | 309.0 | |

Sollecitazioni per forze in direzione x senza incremento per rotazione

Taglio previsto e taglio massimo riscontrato, per
pilastri allungati in x

| Piano | Taglio previsto (kN) | Taglio max (kN) |
|-------|----------------------------|-----------------------|
| 5 | 42.3 | 39.12 |
| 4 | 74.5 | 69.41 |
| 3 | 98.9 | 92.07 |
| 2 | 115.5 | 108.93 |
| 1 | 122.6 | 111.18 |

Il taglio massimo è
abbastanza uniforme
I valori sono leggermente
minori rispetto alle
previsioni

Nota:
nei pilastri di estremità
il taglio è minore
(circa il 50% ai piani superiori,
il 75% al piede del I ordine)

Nota: i valori devono essere aumentati del rapporto 0.131/0.119 (circa 11%)

Sollecitazioni per forze in direzione x senza incremento per rotazione

Pilastri allungati in questa direzione

| Piano | Momento previsto (kNm) | Momento max (kNm) |
|---------|------------------------|-------------------|
| 5 | 67.6 | 70.93 |
| 4 | 119.2 | 122.75 |
| 3 | 158.2 | 155.93 |
| 2 | 184.7 | 175.03 |
| 1 testa | 176.5 | 153.45 |
| piede | 309.0 | 246.78 |

Il momento massimo è abbastanza uniforme

I valori corrispondono alle previsioni ai piani superiori, sono abbastanza più piccoli a quelli inferiori

Nota:
nei pilastri di estremità il momento è minore (circa il 50-60% ai piani superiori, l'85% al piede del I ordine)

Sollecitazioni per forze in direzione x senza incremento per rotazione

Travi emergenti dei telai in direzione x

| Piano | Momento previsto (kNm) | Momento max (kNm) |
|-------|------------------------------|-------------------------|
| 5 | 33.8 | 37.57 |
| 4 | 93.4 | 90.00 |
| 3 | 138.7 | 133.66 |
| 2 | 171.5 | 166.76 |
| 1 | 180.6 | 174.68 |

Il momento massimo è
abbastanza uniforme,

sia come distribuzione in pianta
che in base alla posizione nel
telaio (incluse campate di
estremità)

I valori corrispondono
bene alle previsioni

Periodo proprio della struttura (direzione y)

Applicando la formula di Rayleigh

si trova
$$T_y = 2\pi \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N m_i u_{yi}^2}{\sum_{i=1}^N F_{yi} u_{yi}}}$$

$$T_y = 0.552 \text{ s}$$

Quasi identico all'altra direzione

Si ha anche per questa direzione un incremento
dell'accelerazione di circa l'11%

Sollecitazioni per forze in direzione y senza incremento per rotazione

Pilastri allungati in questa direzione

| Piano | Taglio previsto (kN) | Taglio max, sin (kN) | Taglio max, des (kN) |
|-------|----------------------|----------------------|----------------------|
| 5 | 42.3 | 27.31 | 44.93 |
| 4 | 74.5 | 50.93 | 82.85 |
| 3 | 98.9 | 68.24 | 112.27 |
| 2 | 115.5 | 80.52 | 135.83 |
| 1 | 122.6 | 89.89 | 122.95 |

Il taglio varia in base alla posizione in pianta a causa della rotazione

I valori massimi sono leggermente maggiori rispetto alle previsioni, tranne al I ordine (5-15% a seconda dei piani)

Nota: i valori devono essere aumentati del rapporto 0.131/0.119 (circa 11%)

Sollecitazioni per forze in direzione y

Pilastri allungati in questa direzione

| Piano | Momento previsto (kNm) | Momento max, sin (kNm) | Momento max, des (kNm) |
|---------|------------------------|------------------------|------------------------|
| 5 | 67.6 | 50.26 | 82.29 |
| 4 | 119.2 | 90.90 | 147.14 |
| 3 | 158.2 | 116.18 | 190.12 |
| 2 | 184.7 | 131.15 | 220.89 |
| 1 testa | 176.5 | 125.69 | 165.35 |
| piede | 309.0 | 197.91 | 277.27 |

Il momento varia in base alla posizione in pianta a causa della rotazione

I valori massimi sono leggermente maggiori rispetto alle previsioni, tranne al I ordine (15-20% a seconda dei piani)

Sollecitazioni per forze in direzione y

Travi emergenti dei telai in direzione y

| Piano | Momento previsto (kNm) | Momento max, sin (kNm) | Momento max, des (kNm) |
|-------|------------------------|------------------------|------------------------|
| 5 | 33.8 | 26.45 | 44.37 |
| 4 | 93.4 | 65.80 | 111.80 |
| 3 | 138.7 | 95.71 | 166.11 |
| 2 | 171.5 | 119.36 | 205.49 |
| 1 | 180.6 | 130.89 | 212.06 |

Il momento varia in base alla posizione in pianta a causa della rotazione

I valori massimi sono leggermente maggiori rispetto alle previsioni (15-20% a seconda dei piani)

Discussione dei risultati: analisi modale

Un mare di numeri. Come non perdersi?

Analisi modale

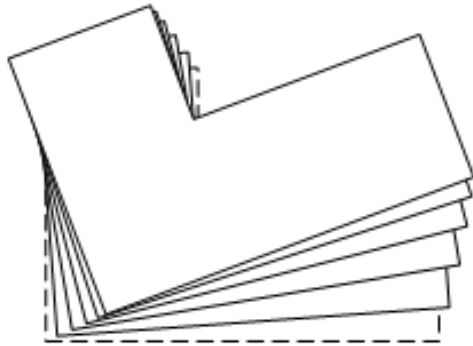
- Esaminare le deformate modali (indipendentemente dalla direzione del sisma)
 - sono disaccoppiate oppure accoppiate?
- Esaminare le masse partecipanti (per ciascuna direzione del sisma) per vedere quali modi danno maggior contributo
 - prevale un solo modo, o più di uno?
- Esaminare i periodi dei modi predominanti
 - corrispondono alle previsioni o no?

Un mare di numeri. Come non perdersi?

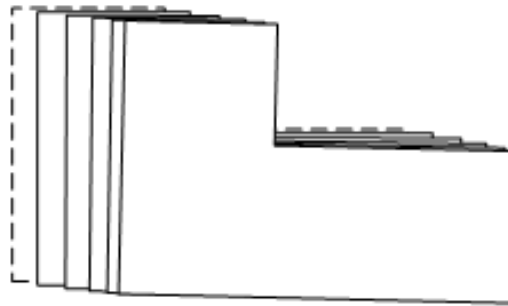
Analisi modale

- Esaminare l'involuppo delle deformate modali, per le due direzioni del sisma
 - spostamenti analoghi nelle due direzioni o molto diversi?
 - solo traslazione, rotazione dell'impalcato modesta oppure forte?
- Esaminare i momenti massimi nei pilastri e nelle travi
 - rispettano le previsioni o no?

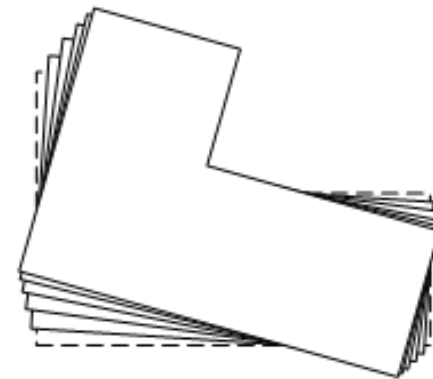
Deformate modali



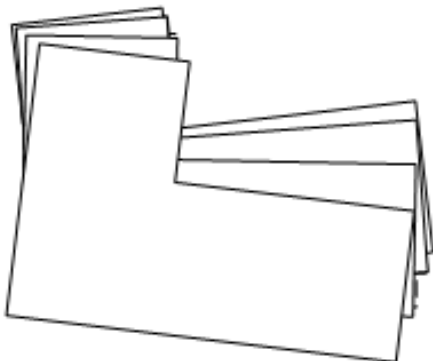
Modo 1



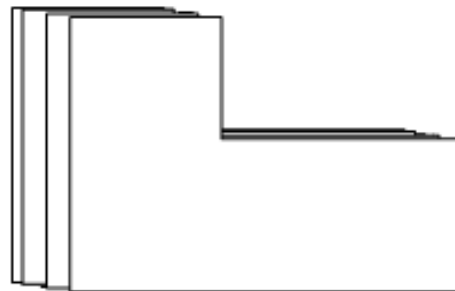
Modo 2



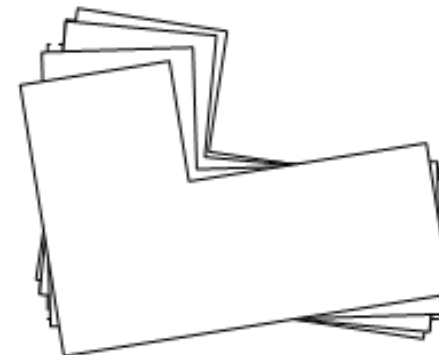
Modo 3



Modo 4



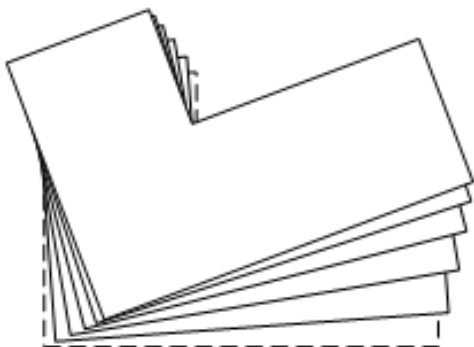
Modo 5



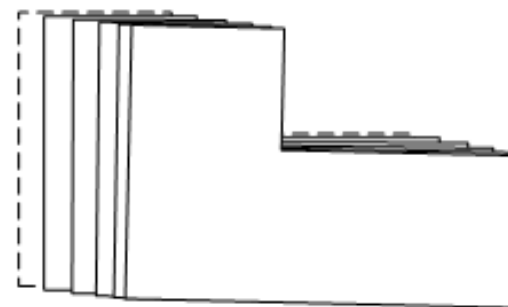
Modo 6

Deformate modali

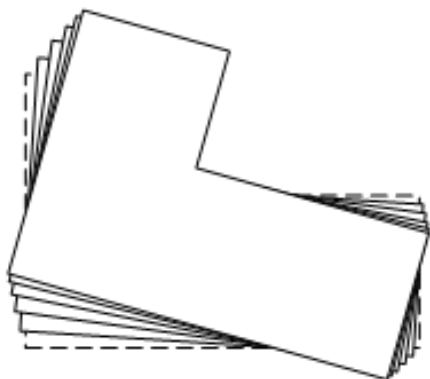
Modo 1 $T = 0.582 \text{ s}$



Modo 2 $T = 0.553 \text{ s}$



Modo 3 $T = 0.463 \text{ s}$

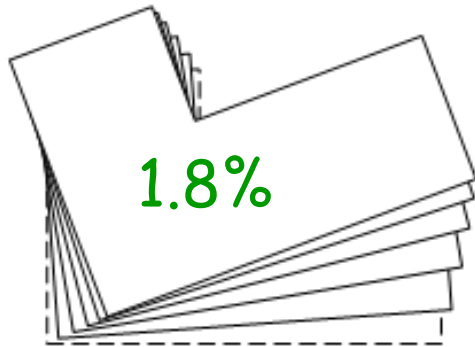


Il modo 2 è sostanzialmente di traslazione secondo x

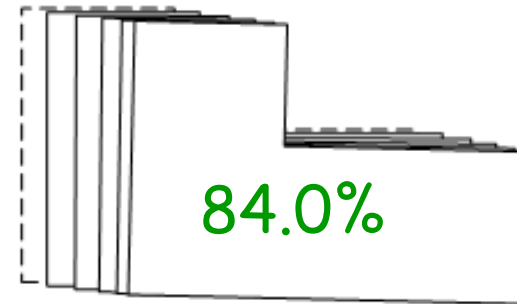
I modi 1 e 3 sono accoppiati (traslazione secondo y e rotazione)

Masse partecipanti, sisma x

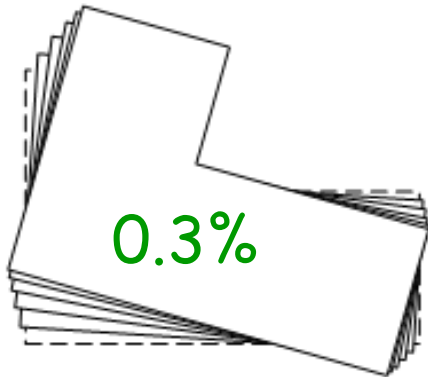
Modo 1 $T = 0.582 \text{ s}$



Modo 2 $T = 0.553 \text{ s}$



Modo 3 $T = 0.463 \text{ s}$

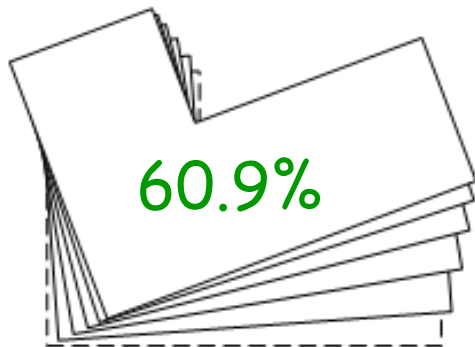


Il modo 2 dà il contributo massimo

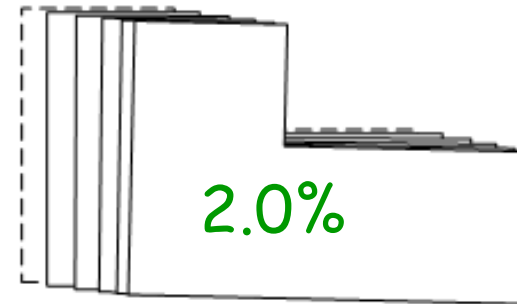
Il modo 5, di traslazione x con spostamenti nei due versi, dà un ulteriore contributo (8.9%)

Masse partecipanti, sisma y

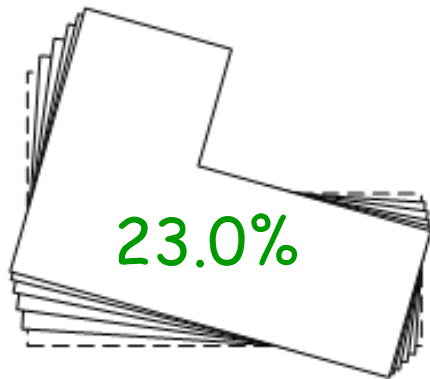
Modo 1 $T = 0.582 \text{ s}$



Modo 2 $T = 0.553 \text{ s}$



Modo 3 $T = 0.463 \text{ s}$



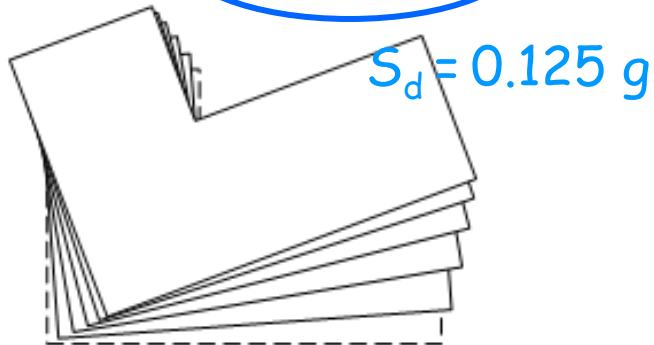
I modi 1 e 3 danno il contributo massimo

Il modo 4, di traslazione y e rotazione con spostamenti nei due versi, dà un ulteriore contributo (6.9%)

Periodi dei modi predominanti

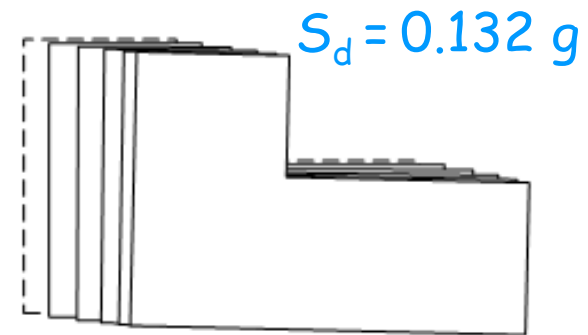
Modo 1

$T = 0.582 \text{ s}$



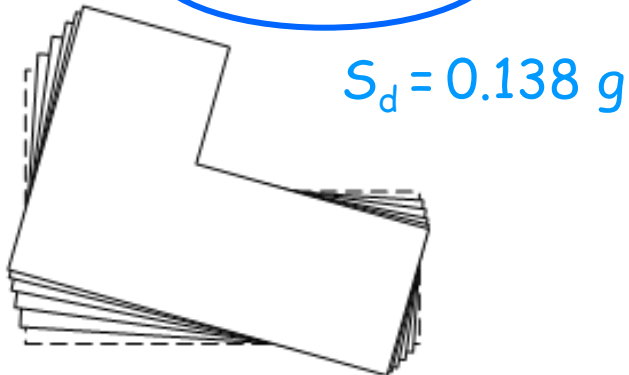
Modo 2

$T = 0.553 \text{ s}$



Modo 3

$T = 0.463 \text{ s}$



Periodi stimati: ~~0.611 s~~

$T_x = 0.553 \text{ s}$ $S_d = 0.132 \text{ g}$

$T_y = 0.552 \text{ s}$ $S_d = 0.132 \text{ g}$

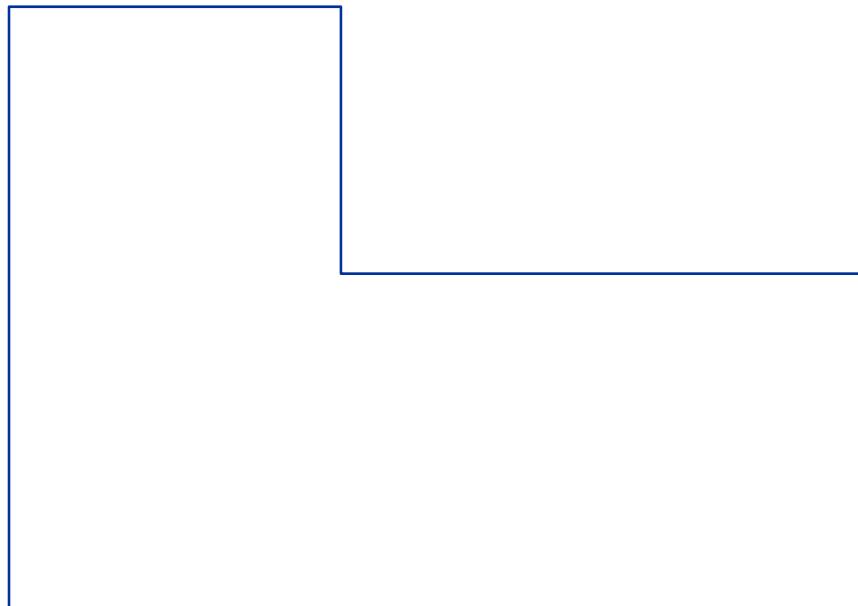
I periodi sono analoghi

Le ordinate spettrali sono
quindi analoghe

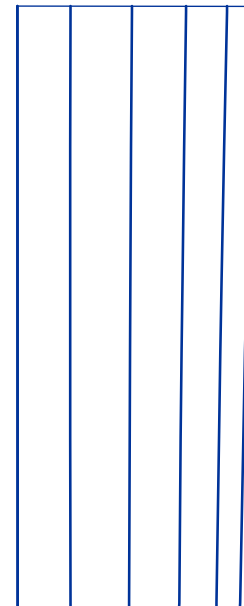
Inviluppo modale sisma x

1.71

4.10

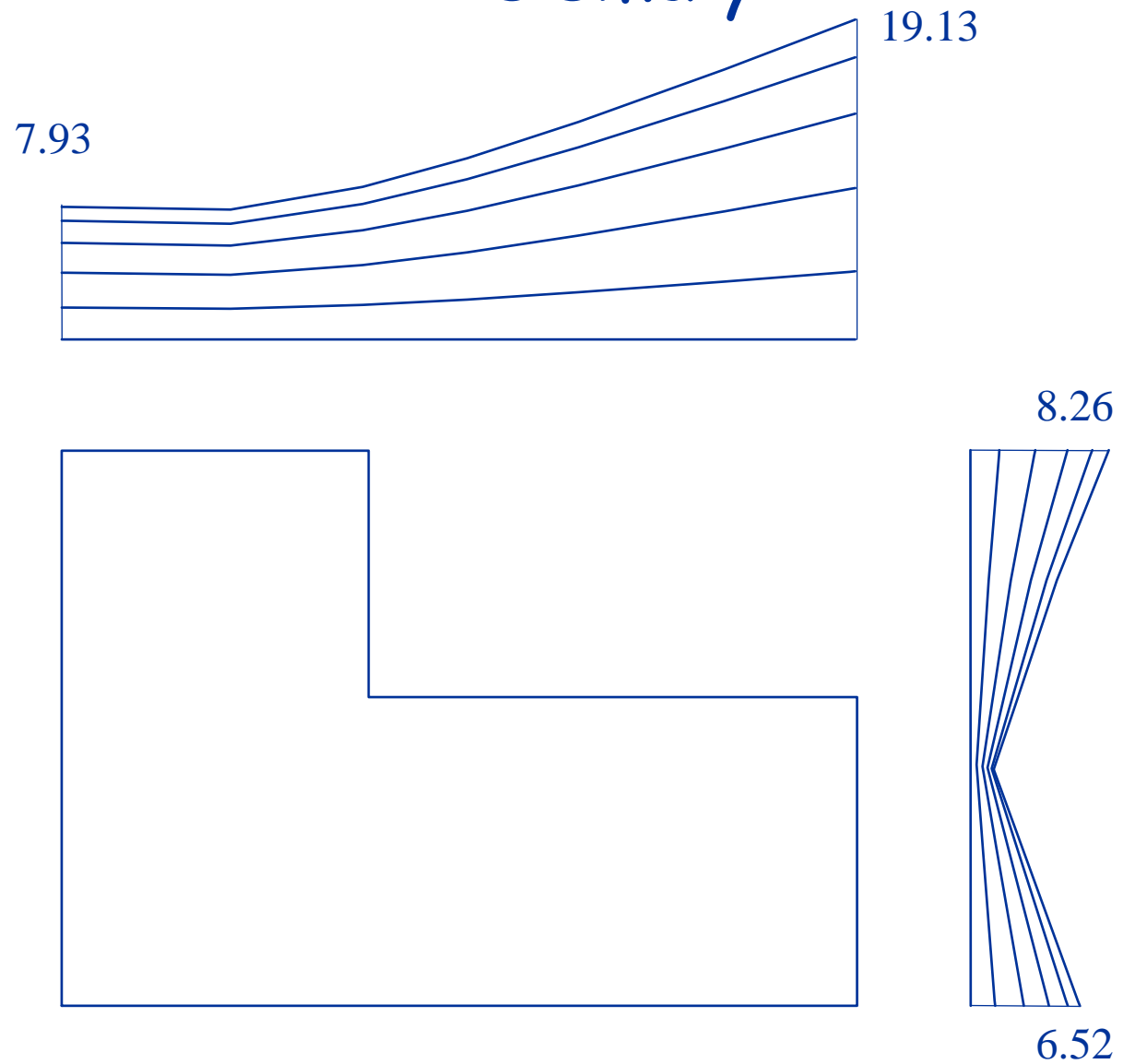


13.06

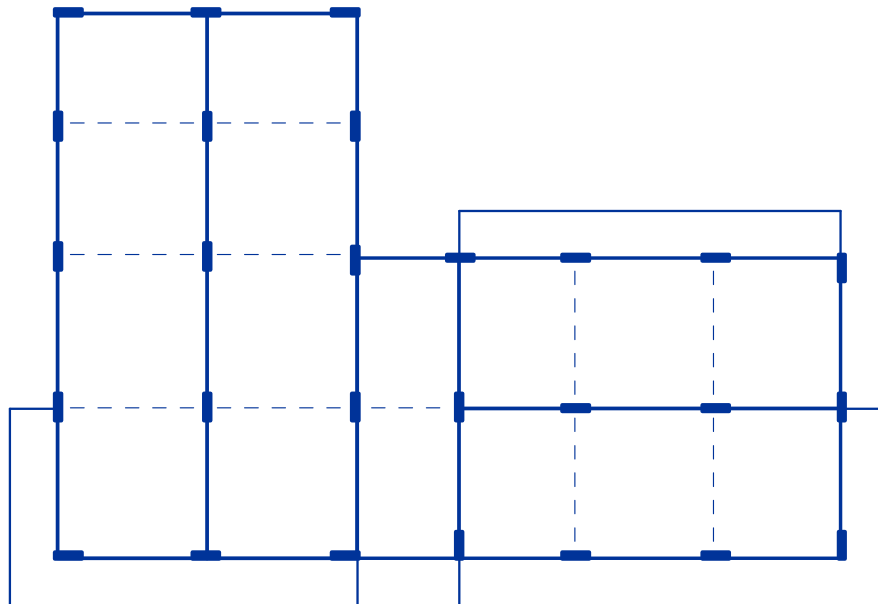


12.28

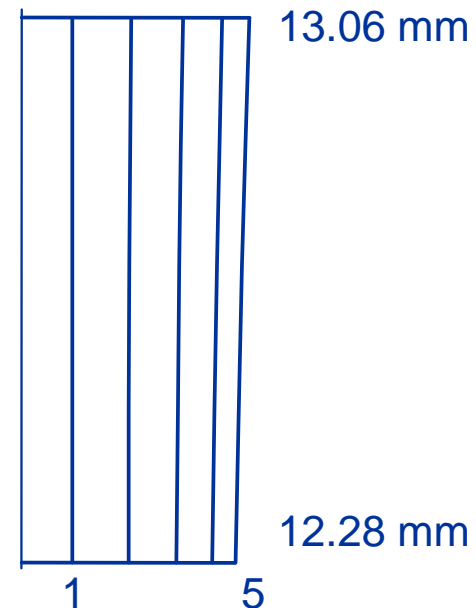
Inviluppo modale sisma y



Spostamenti, inviluppo modale



Spostamenti
per sisma x

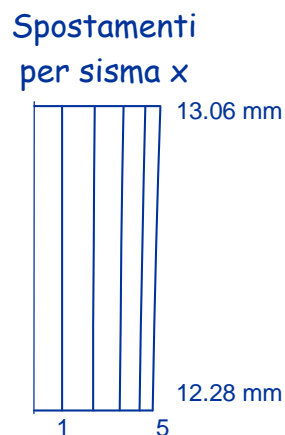
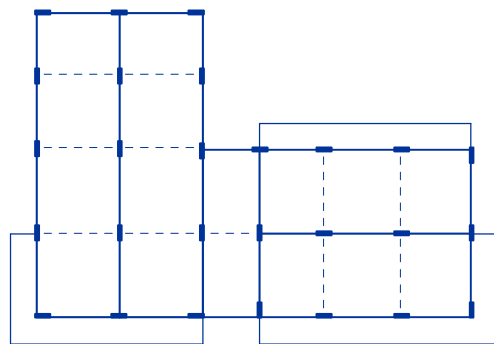


Spostamenti, inviluppo modale

Rotazione non trascurabile per sisma y (spostamenti dovuti ai modi 1 e 3)



La parte destra andrebbe irrigidita

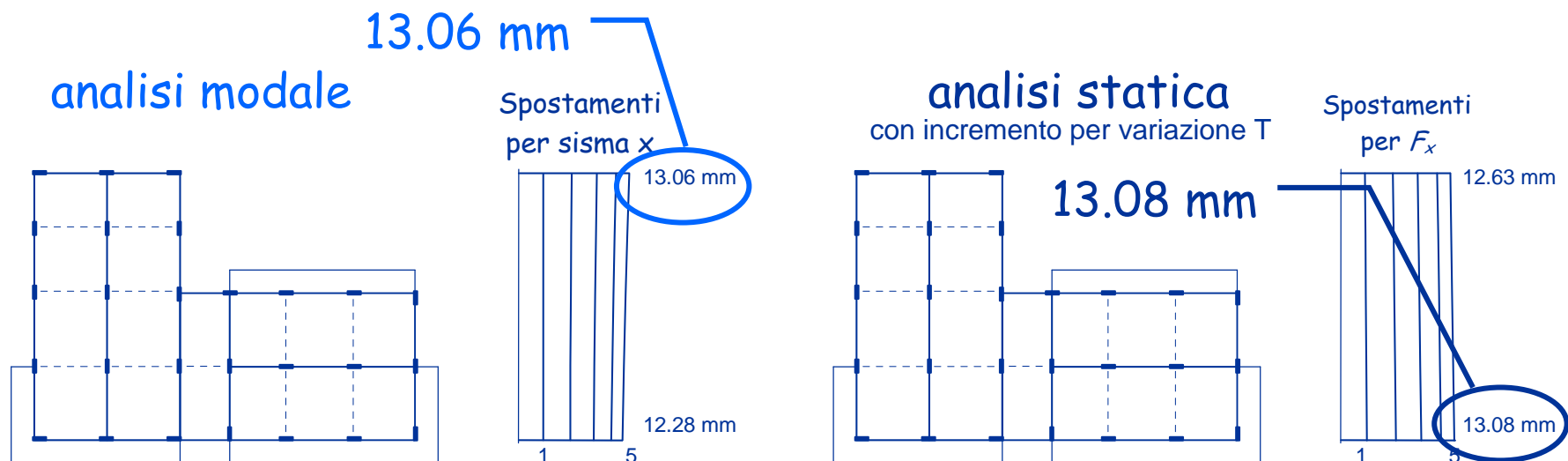


gli spostamenti massimi per sisma y sono maggiori di circa il 50% rispetto a quelli per sisma x

Spostamenti per sisma x uniformi (vicini a quelli del modo 2)

Spostamenti confronto tra analisi modale e statica

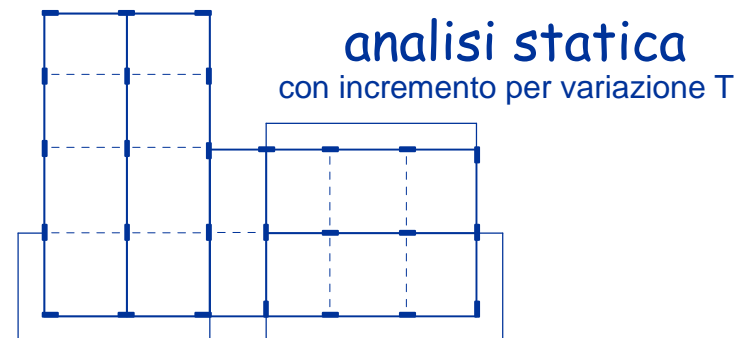
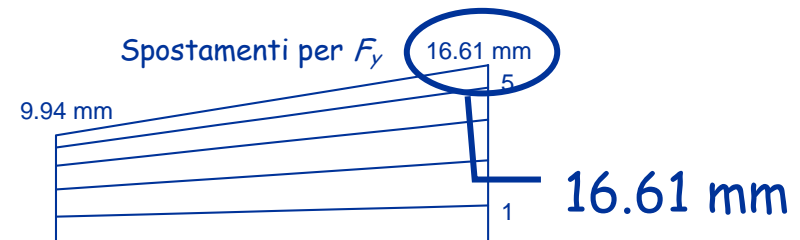
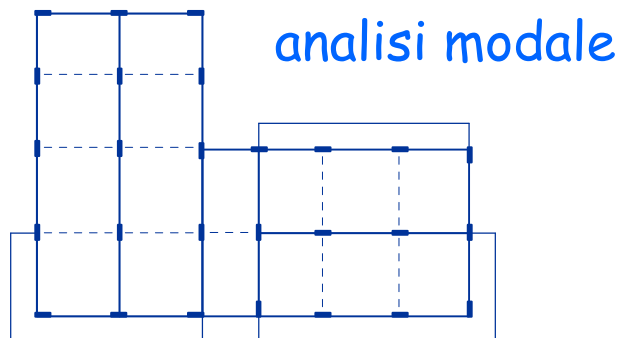
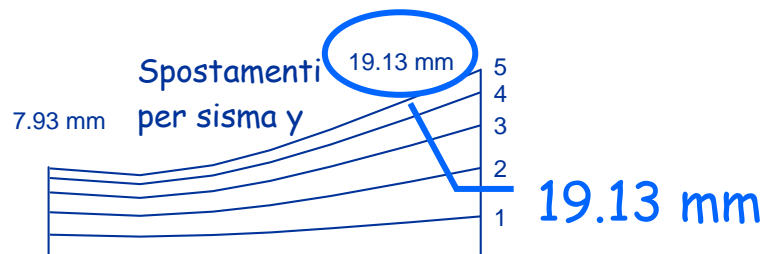
Sisma x: analisi modale - spostamenti uguali



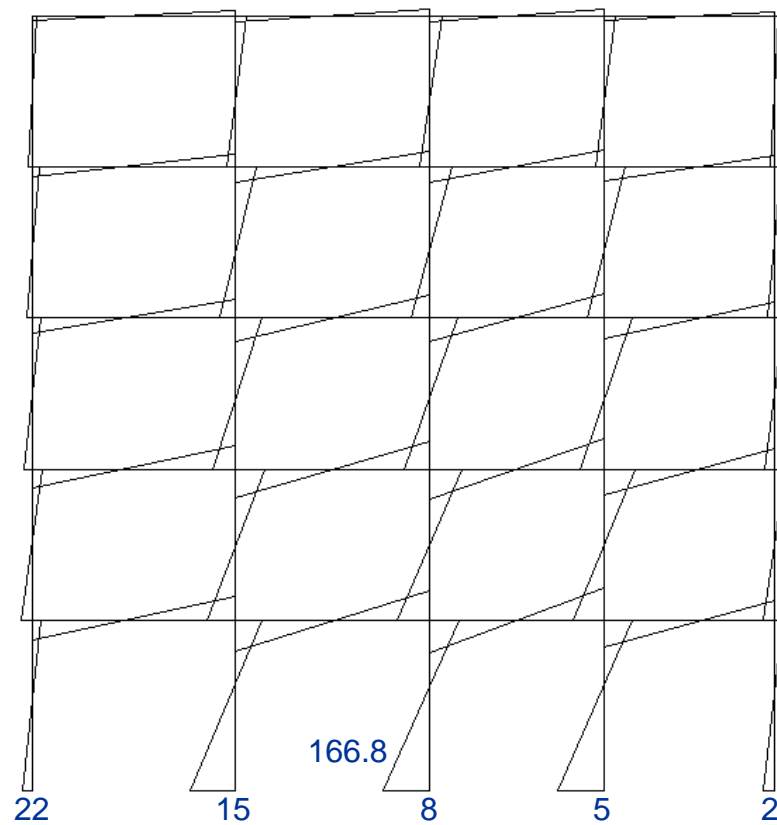
Spostamenti confronto tra analisi modale e statica

Sisma y: l'analisi modale accentua la rotazione

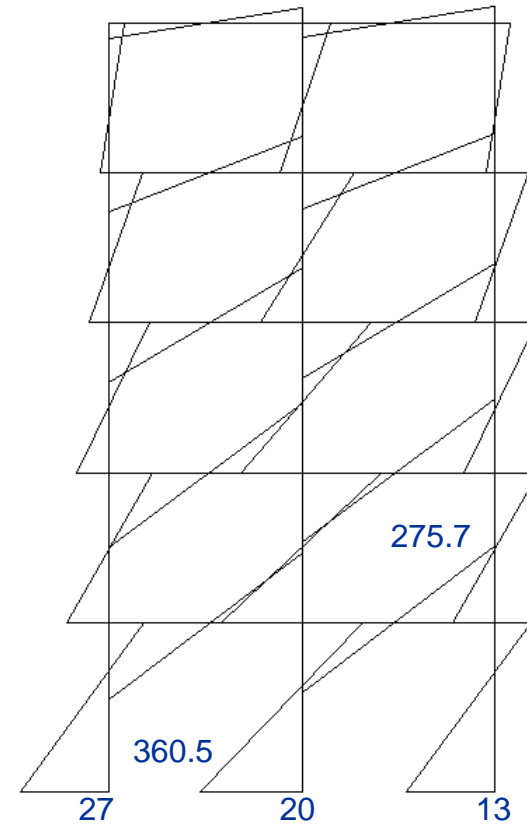
lato destro - spostamenti maggiori (25%)
lato sinistro - spostamenti minori



Sollecitazioni



Telaio 2y



Telaio 7y

Sollecitazioni per sisma in direzione x

Pilastri allungati in questa direzione

| Piano | Taglio An. statica (kN) | Taglio An. modale (kN) |
|-------|-------------------------------|------------------------------|
| 5 | 39.12 | 42.73 |
| 4 | 69.41 | 75.81 |
| 3 | 92.07 | 101.98 |
| 2 | 108.93 | 122.03 |
| 1 | 111.18 | 120.36 |

+11% per
diff. periodo

Il taglio massimo è
abbastanza uniforme

Come per l'analisi statica,
nei pilastri di estremità il taglio
è minore (circa il 50% ai piani
superiori, il 75% al piede del I
ordine)

Analisi statica e modale
forniscono valori
sostanzialmente uguali

Sollecitazioni per sisma in direzione x

Pilastri allungati in questa direzione

| Piano | Momento An. statica (kNm) | Momento An. modale (kNm) |
|---------|---------------------------------|--------------------------------|
| 5 | 70.93 | 77.13 |
| 4 | 122.75 | 134.37 |
| 3 | 155.93 | 173.30 |
| 2 | 175.03 | 196.46 |
| 1 testa | 153.45 | 167.40 |
| piede | 246.78 | 265.99 |

+11%

Il momento massimo è
abbastanza uniforme

Come per l'analisi statica,
nei pilastri di estremità il
momento è minore (circa il
50-60% ai piani superiori,
l'85% al piede del I ordine)

Analisi statica e modale
forniscono valori
sostanzialmente uguali

Sollecitazioni per sisma in direzione x

Travi emergenti dei telai in direzione x

| Piano | Momento An. statica (kNm) | Momento An. modale (kNm) |
|-------|------------------------------|--------------------------------|
| 5 | 37.57 | 40.76 |
| 4 | 90.00 | 97.71 |
| 3 | 133.66 | 146.61 |
| 2 | 166.76 | 186.77 |
| 1 | 174.68 | 203.18 |

+11%

Il momento massimo è
abbastanza uniforme,

sia come distribuzione in pianta
che in base alla posizione nel
telaio (incluse campate di
estremità)

Analisi statica e modale
forniscono valori
sostanzialmente uguali

Sollecitazioni per sisma in direzione y (max, des)

Pilastri allungati in questa direzione

| Piano | Taglio An. statica (kN) | Taglio An. modale (kN) |
|-------|-------------------------------|------------------------------|
| 5 | 44.93 | 57.03 |
| 4 | 82.85 | 105.51 |
| 3 | 112.27 | 145.08 |
| 2 | 135.83 | 177.19 |
| 1 | 122.95 | 159.98 |

Il taglio varia molto in base alla posizione in pianta, a causa della rotazione

I valori dell'analisi modale sono maggiori di quelli dell'analisi statica (dal 10 al 15% a seconda dei piani)

+11%

Sollecitazioni per sisma in direzione y (max, des)

Pilastri allungati in questa direzione

| Piano | Momento An. statica (kNm) | Momento An. modale (kNm) |
|---------|---------------------------------|--------------------------------|
| 5 | 82.29 | 103.88 |
| 4 | 147.14 | 187.92 |
| 3 | 190.12 | 246.55 |
| 2 | 220.89 | 287.58 |
| 1 testa | 165.35 | 215.55 |
| piede | 277.27 | 360.46 |

+11%

Il momento varia in base
alla posizione in pianta a
causa della rotazione

I valori dell'analisi modale
sono maggiori di quelli
dell'analisi statica
(dal 10 al 15% a seconda dei piani)

Sollecitazioni per sisma in direzione y (max, des)

Travi emergenti dei telai in direzione y

| Piano | Momento An. statica (kNm) | Momento An. modale (kNm) |
|-------|------------------------------|--------------------------------|
| 5 | 44.37 | 56.03 |
| 4 | 111.80 | 141.06 |
| 3 | 166.11 | 212.26 |
| 2 | 205.49 | 265.79 |
| 1 | 212.06 | 275.67 |

Il momento varia in base
alla posizione in pianta a
causa della rotazione

I valori dell'analisi modale
sono maggiori di quelli
dell'analisi statica
(dal 10 al 15% a seconda dei piani)

+11%

Sollecitazioni per sisma in direzione y (min, sin)

Pilastri allungati in questa direzione

| Piano | Taglio An. statica (kN) | Taglio An. modale (kN) |
|-------|-------------------------------|------------------------------|
| 5 | 27.31 | 24.81 |
| 4 | 50.93 | 45.19 |
| 3 | 68.24 | 61.30 |
| 2 | 80.52 | 73.31 |
| 1 | 89.89 | 79.02 |

Il taglio varia molto in base alla posizione in pianta, a causa della rotazione

I valori dell'analisi modale sono minori di quelli dell'analisi statica (circa il 15%)

+11%

Sollecitazioni per sisma in direzione y (min, sin)

Pilastri allungati in questa direzione

| Piano | Momento An. statica (kNm) | Momento An. modale (kNm) |
|---------|---------------------------------|--------------------------------|
| 5 | 50.26 | 45.08 |
| 4 | 90.90 | 80.71 |
| 3 | 116.18 | 104.66 |
| 2 | 131.15 | 119.18 |
| 1 testa | 125.69 | 110.19 |
| piede | 197.91 | 174.34 |

+11%

Il momento varia in base
alla posizione in pianta a
causa della rotazione

I valori dell'analisi modale
sono minori di quelli
dell'analisi statica
(circa il 15%)

Sollecitazioni per sisma in direzione y (min, sin)

Travi emergenti dei telai in direzione y

| Piano | Momento An. statica (kNm) | Momento An. modale (kNm) |
|-------|------------------------------|--------------------------------|
| 5 | 26.45 | 23.66 |
| 4 | 65.80 | 58.18 |
| 3 | 95.71 | 85.03 |
| 2 | 119.36 | 107.23 |
| 1 | 130.89 | 116.65 |

Il momento varia in base
alla posizione in pianta a
causa della rotazione

I valori dell'analisi modale
sono minori di quelli
dell'analisi statica
(circa il 15%)

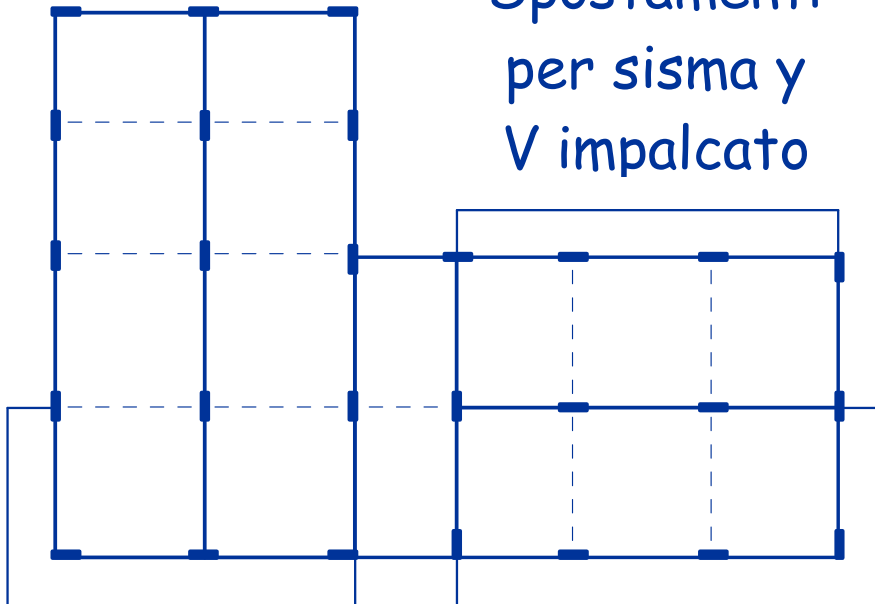
+11%

Suggerimento

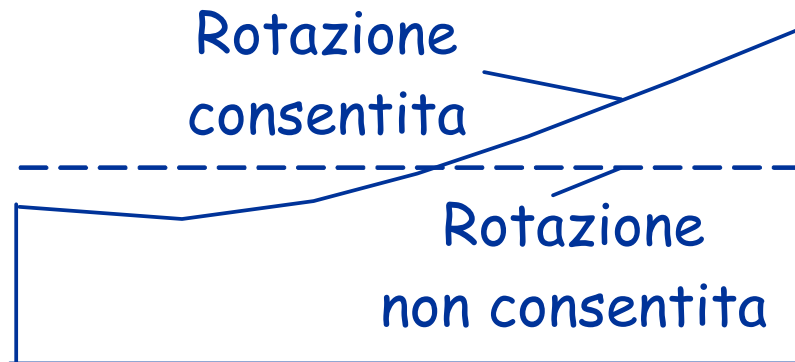
Rotazione
consentita



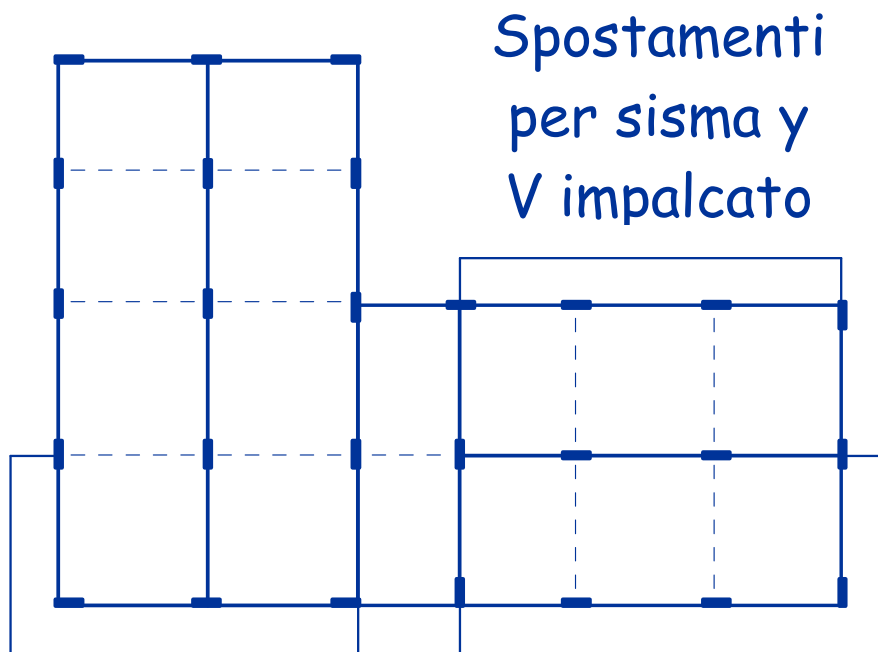
Spostamenti
per sisma y
V impalcato



Suggerimento



La rotazione riduce gli spostamenti del lato rigido (e quindi le sollecitazioni)



Meglio non ridurre le sollecitazioni di progetto rispetto al caso di traslazione pura

Secondo:

- Comunità scientifica internazionale
- Normativa americana

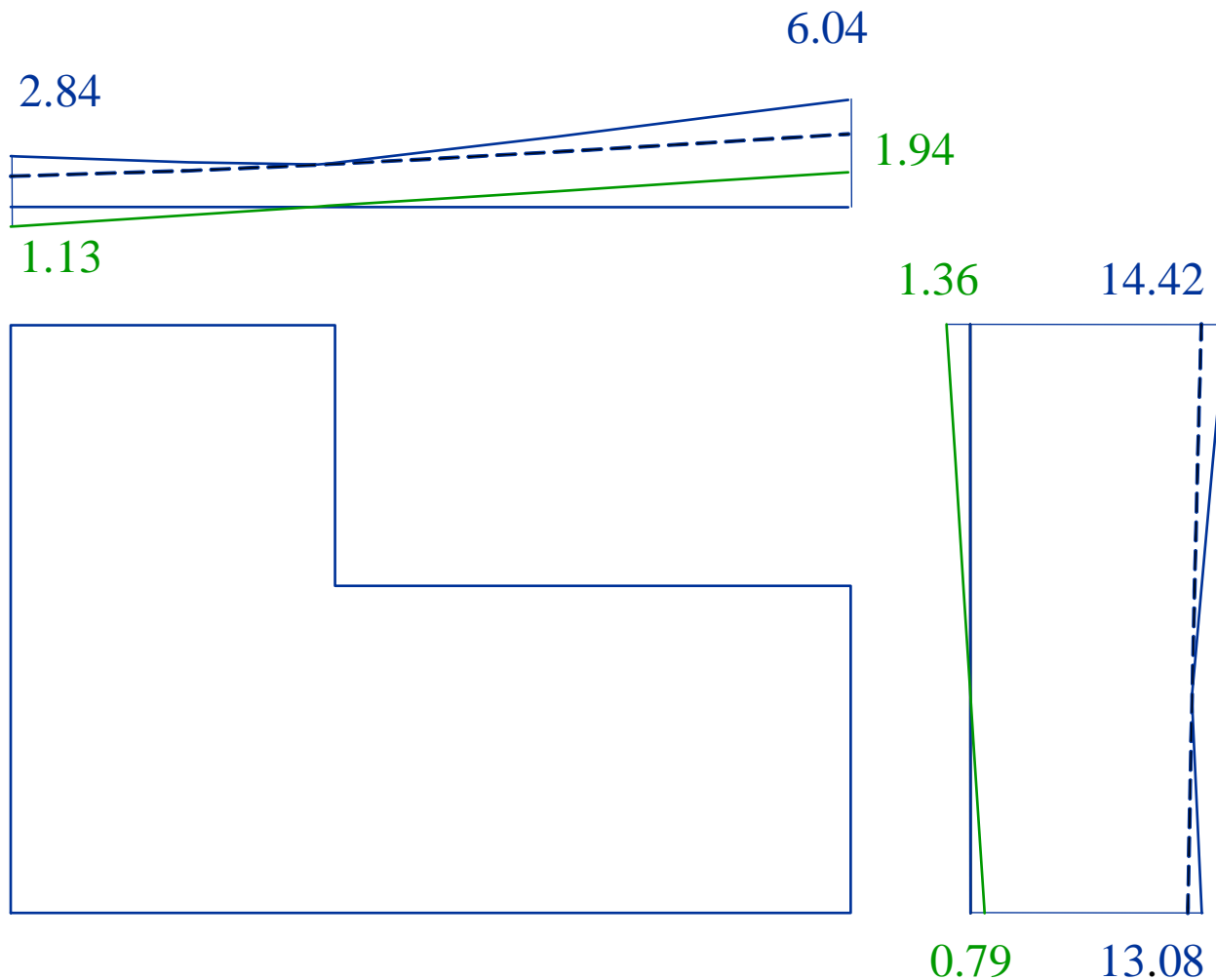
Eccentricità accidentale

Eccentricità accidentale

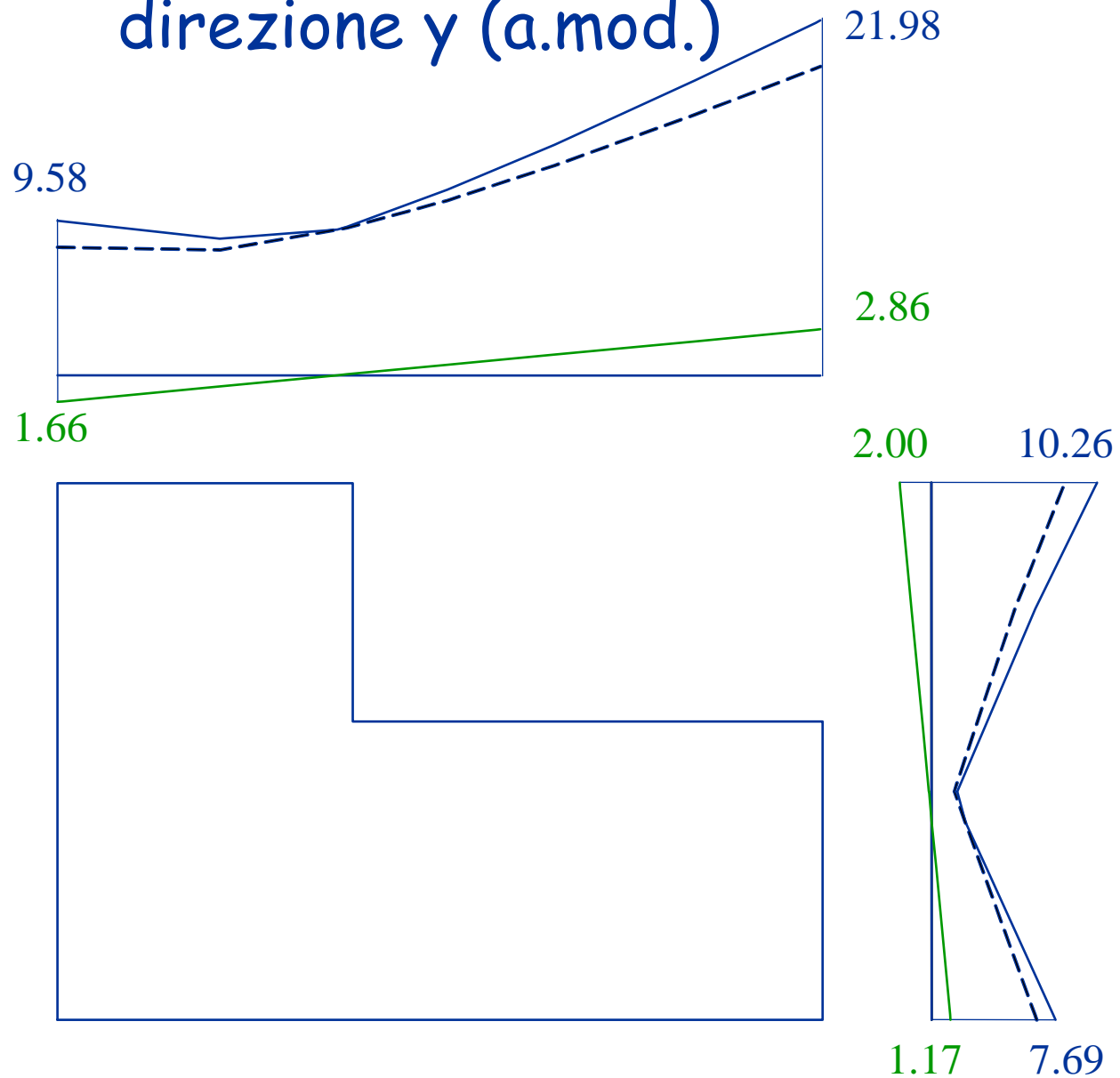
Esame dei risultati

- Esaminare per ciascuna delle due direzioni gli spostamenti prodotti dalle coppie e confrontarli con quelli prodotti dalle forze
 - l'effetto delle coppie è lo stesso a tutti i piani?
 - la sua entità è comparabile con quanto previsto?
- Esaminare i momenti massimi nei pilastri e nelle travi e confrontarli con quelli prodotti dalle forze
 - l'incremento dovrebbe essere analogo a quello degli spostamenti

Spostamenti per forze e coppie direzione x (analisi modale)



Spostamenti per forze e coppie direzione y (a.mod.)



Spostamenti per forze e coppie

considerazioni

- Le coppie provocano un incremento di spostamento percentualmente analogo a tutti i piani
- L'incremento va dal 6% (inf) al 10% (sup) nel caso di azioni in direzione x
- L'incremento va dal 16% (sin) al 17% (des) nel caso di azioni in direzione y
- Gli incrementi percentuali δ possono essere stimati con l'espressione semplificata con opportuni valori di k
$$\delta = k \frac{x}{L_e}$$
- Nel caso in esame: k=0.16 per dir.x, k=0.33 per dir.y
- La formula è suggerita anche dall'OPCM 3431, ma con k=0.6

Caratteristiche della sollecitazione per forze e coppie

- L'incremento percentuale di sollecitazione dovuto alle coppie è lo stesso di quanto riscontrato per gli spostamenti:
 - dal 6% (inf) al 10% (sup) nel caso di azioni in direzione x
 - dal 16% (sin) al 17% (des) nel caso di azioni in direzione y
- L'incremento percentuale di sollecitazione può essere stimato con la stessa espressione indicata per gli spostamenti

Combinazione delle azioni
nelle due direzioni

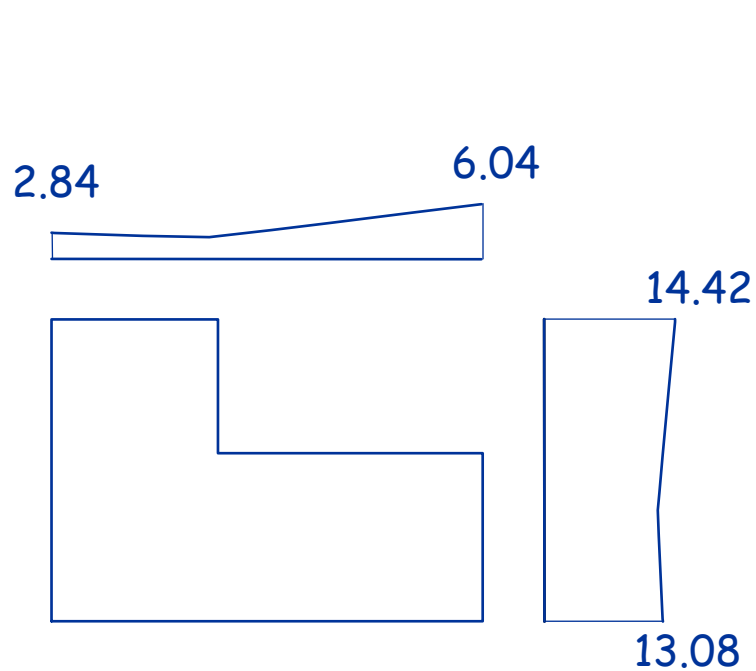
Le componenti orizzontali

"I valori massimi della risposta ottenuti da ciascuna delle due azioni orizzontali applicate separatamente potranno essere combinati sommando, ai massimi ottenuti per l'azione applicata in una direzione, il 30% dei massimi ottenuti per l'azione applicata nell'altra direzione"

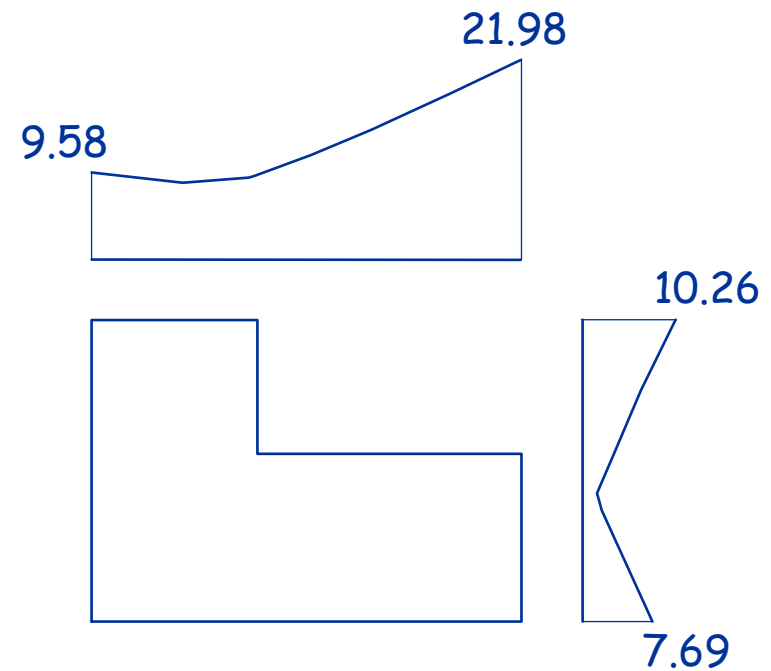
In che modo capire quanta importanza ha questa combinazione?

Ragioniamo ancora esaminando gli spostamenti

Effetto complessivo del sisma separatamente nelle due direzioni

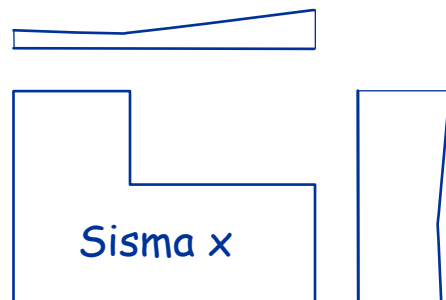


Sisma in
direzione x

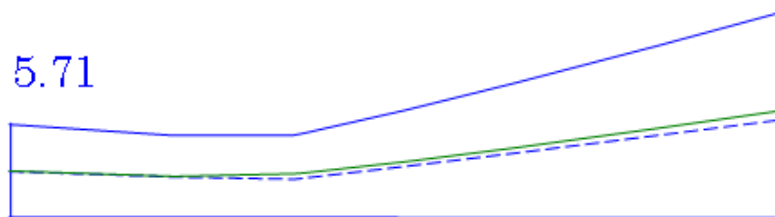


Sisma in
direzione y

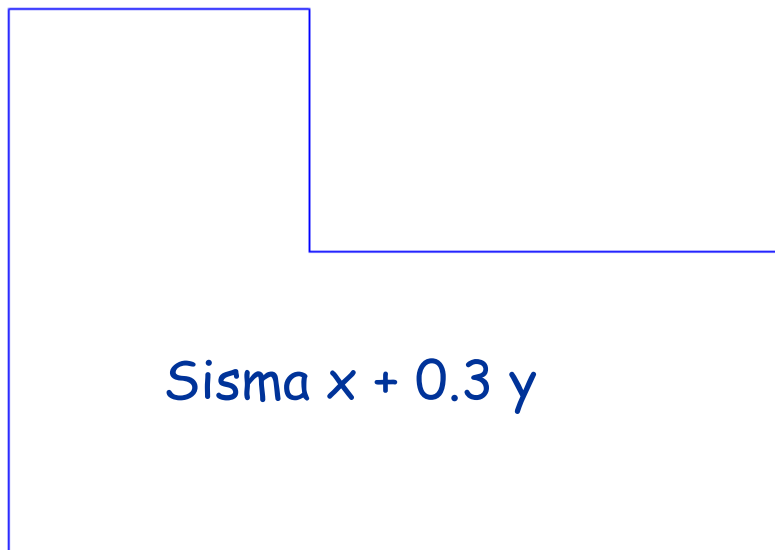
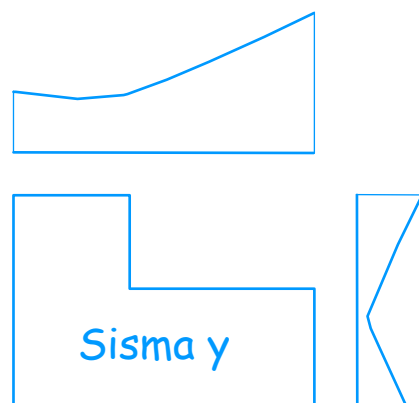
Inviluppo: $\text{sisma } x + 0.3 \text{ sisma } y$ analisi modale



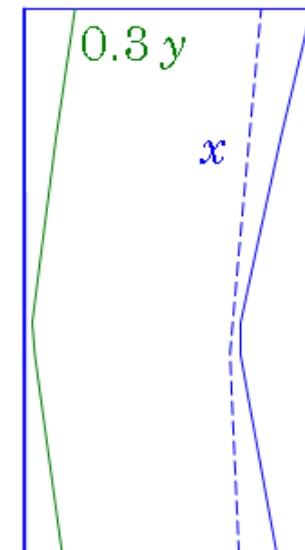
5.71



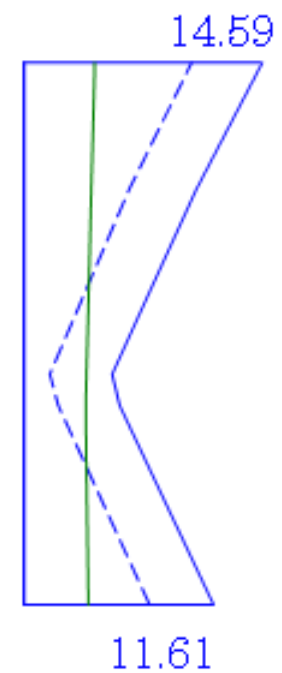
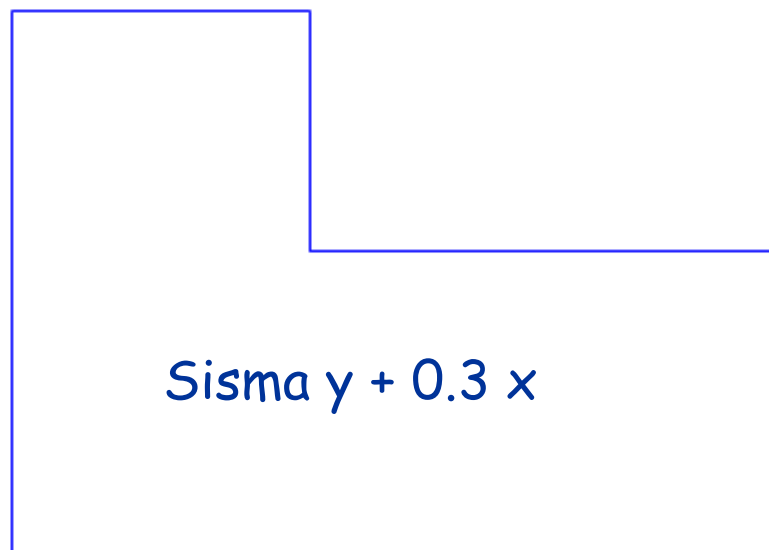
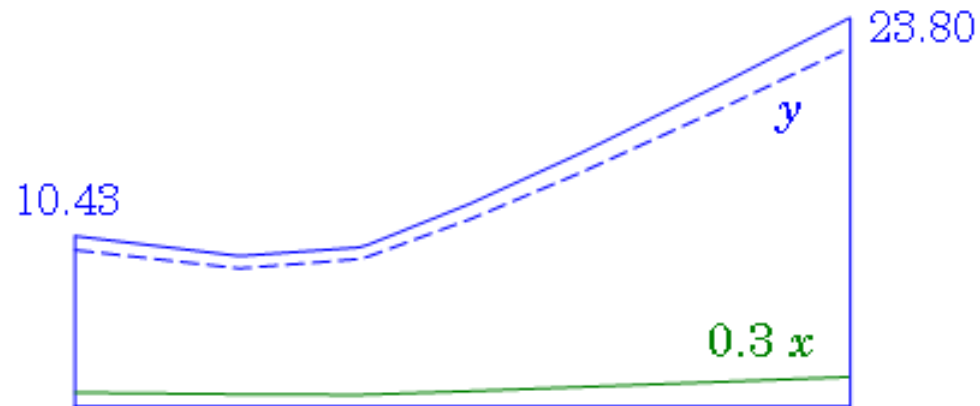
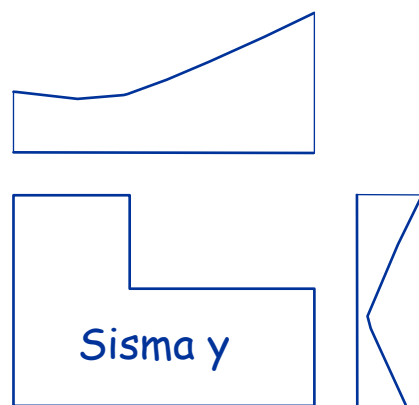
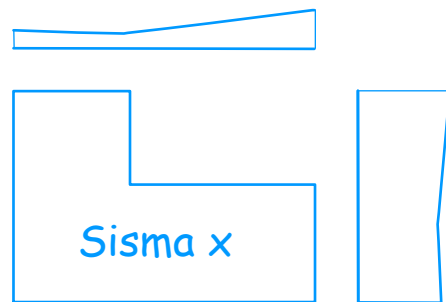
12.63



17.50



Inviluppo: sisma y + 0.3 sisma x analisi modale



Commenti

Effetto complessivo

di eccentricità accidentale e combinazione x y

Travi:

- le travi dei telai centrali ne risentono in misura minima
- le travi dei telai di estremità hanno, rispetto allo schema con sole forze, un incremento di caratteristiche di sollecitazione fino a circa il 20%

Effetto complessivo

di eccentricità accidentale e combinazione x y

Pilastri:

- i pilastri nella parte centrale dell'edificio non hanno variazioni rilevanti delle caratteristiche di sollecitazione massima, ma devono essere verificati a pressoflessione deviata con momenti trasversali pari a circa il 30% del massimo
- i pilastri perimetrali hanno un incremento di caratteristiche di sollecitazione fino a circa il 20%, ed inoltre devono essere verificati a pressoflessione deviata con momenti trasversali pari a circa il 40%-60% del massimo

Giudizio complessivo

prima di passare ad una verifica dettagliata

Rispetto alla stima iniziale, fatta in fase di dimensionamento:

- la previsione iniziale del periodo ha sottostimato l'azione sismica di circa un 10%
- la previsione dell'effetto di forze statiche era corretta, ma con leggera sottostima delle sollecitazioni nella parte destra (dovuta alla eccessiva eccentricità masse-rigidezze)
- l'effetto dell'eccentricità accidentale è stato ben stimato
- la contemporanea presenza delle due componenti del sisma è in alcuni casi più gravosa del previsto

Il dimensionamento iniziale è accettabile?

Probabilmente sì,
anche se in alcuni elementi le sollecitazioni sono un po' più grandi del previsto

Se la risposta fosse stata negativa, si doveva ritornare al dimensionamento, per correggere le carenze evidenziate

In particolare, sarebbe opportuno irrigidire la parte destra dell'edificio, aumentando le dimensioni di alcuni elementi o girando alcuni pilastri

Stato limite di danno

Stato limite di danno

Prima di passare alla definizione delle armature, è opportuno controllare gli spostamenti per lo stato limite di danno

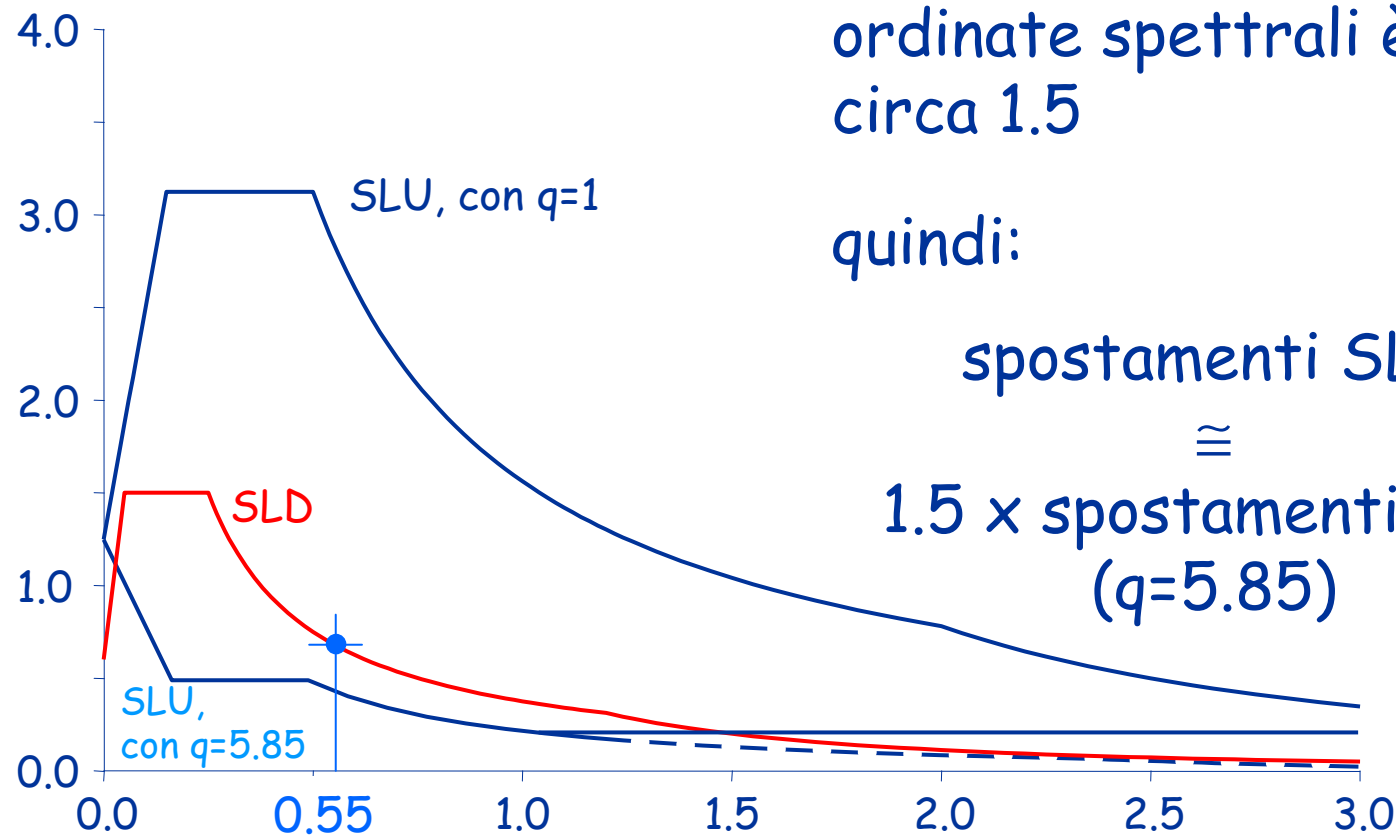
Occorrerebbe ripetere tutto il calcolo, usando gli spettri relativi allo SLD, ma può essere più semplice valutare gli spostamenti a partire da quelli per lo SLU, tenendo conto della differenza di ordinata dei relativi spettri

Spettri per SLU e SLD

nel caso in esame, per
un periodo pari a circa
0.55 s il rapporto tra le
ordinate spettrali è
circa 1.5

quindi:

spostamenti SLD
 \cong
 $1.5 \times$ spostamenti SLU
($q=5.85$)



Verifica spostamenti per SLD

Spostamento relativo accettabile: $0.005 h$

Nel caso in esame: $0.005 \times 3200 = 16 \text{ mm}$

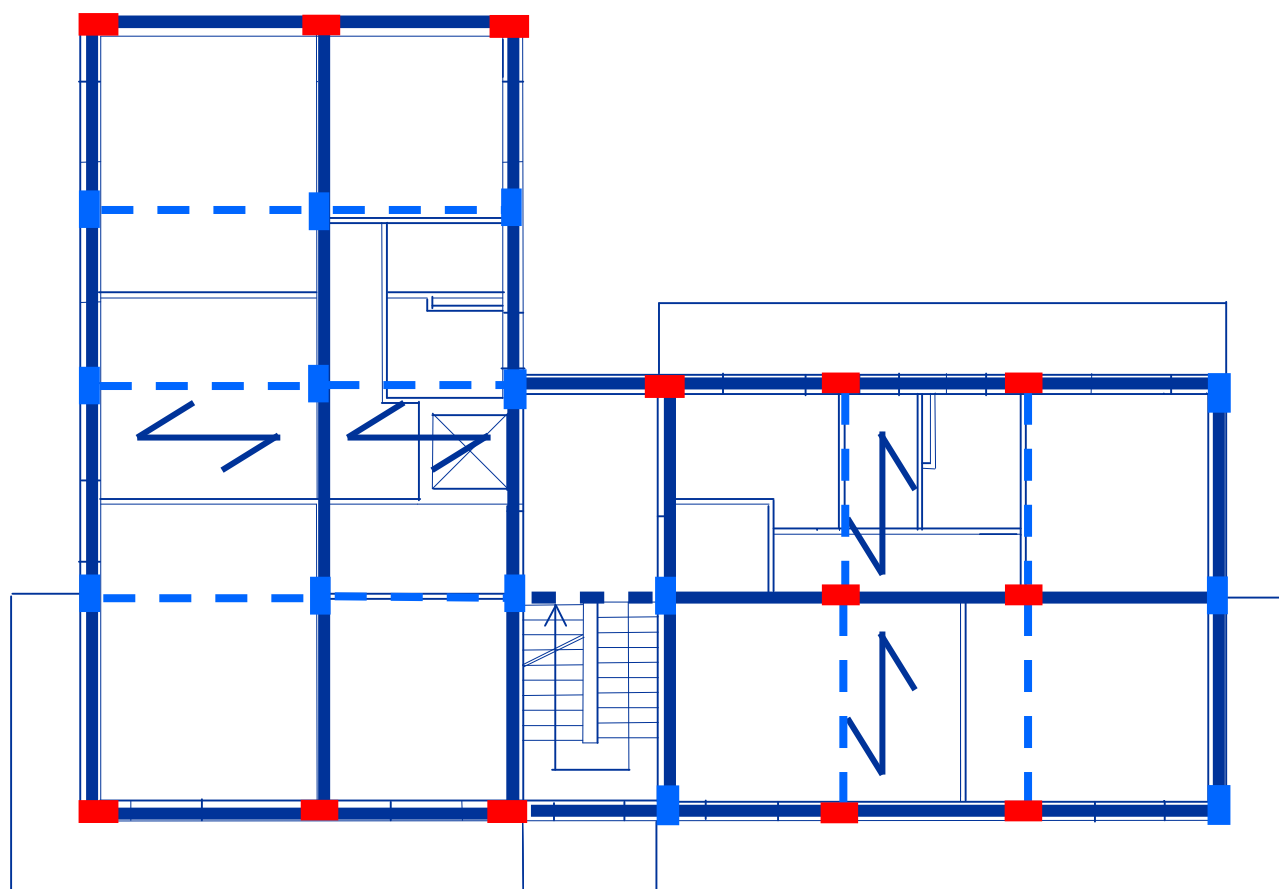
Spostamento relativo massimo,
fornito dall'analisi:

$1.5 \times 6.4 = 9.6 \text{ mm}$
(tra II e I impalcato)

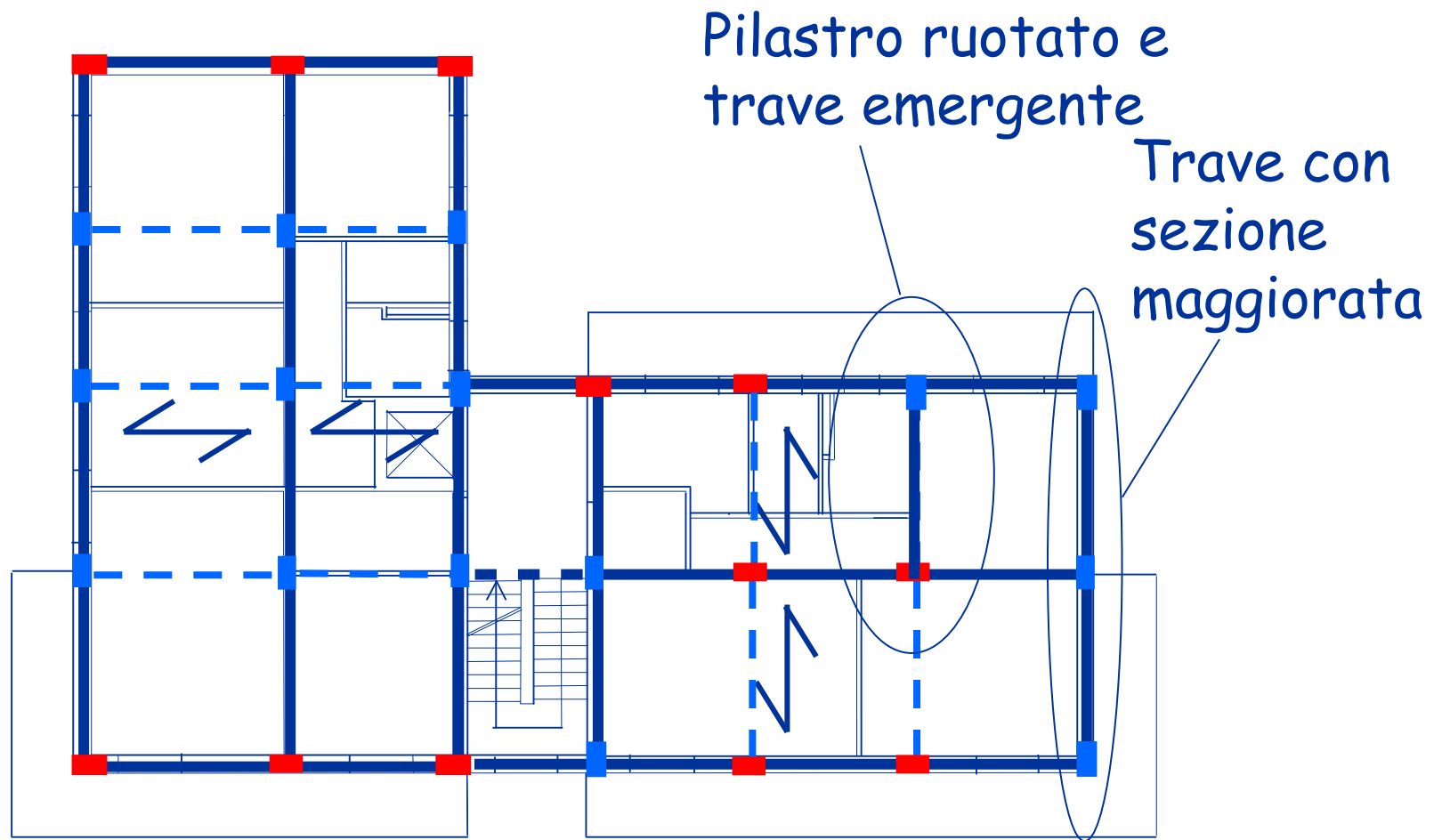
La verifica è soddisfatta

Possibile ridimensionamento

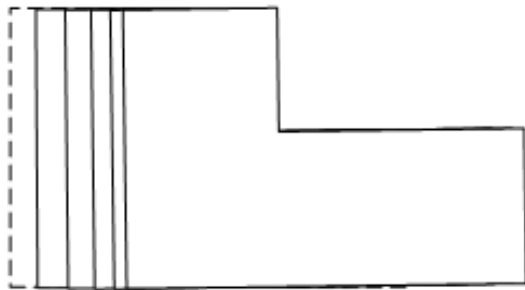
Impostazione della carpenteria



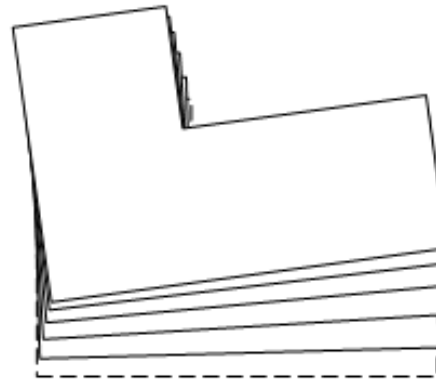
Impostazione della carpenteria con modifiche



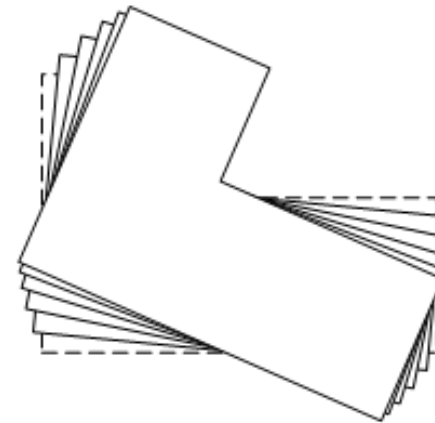
Modi di oscillazione libera



Modo 1



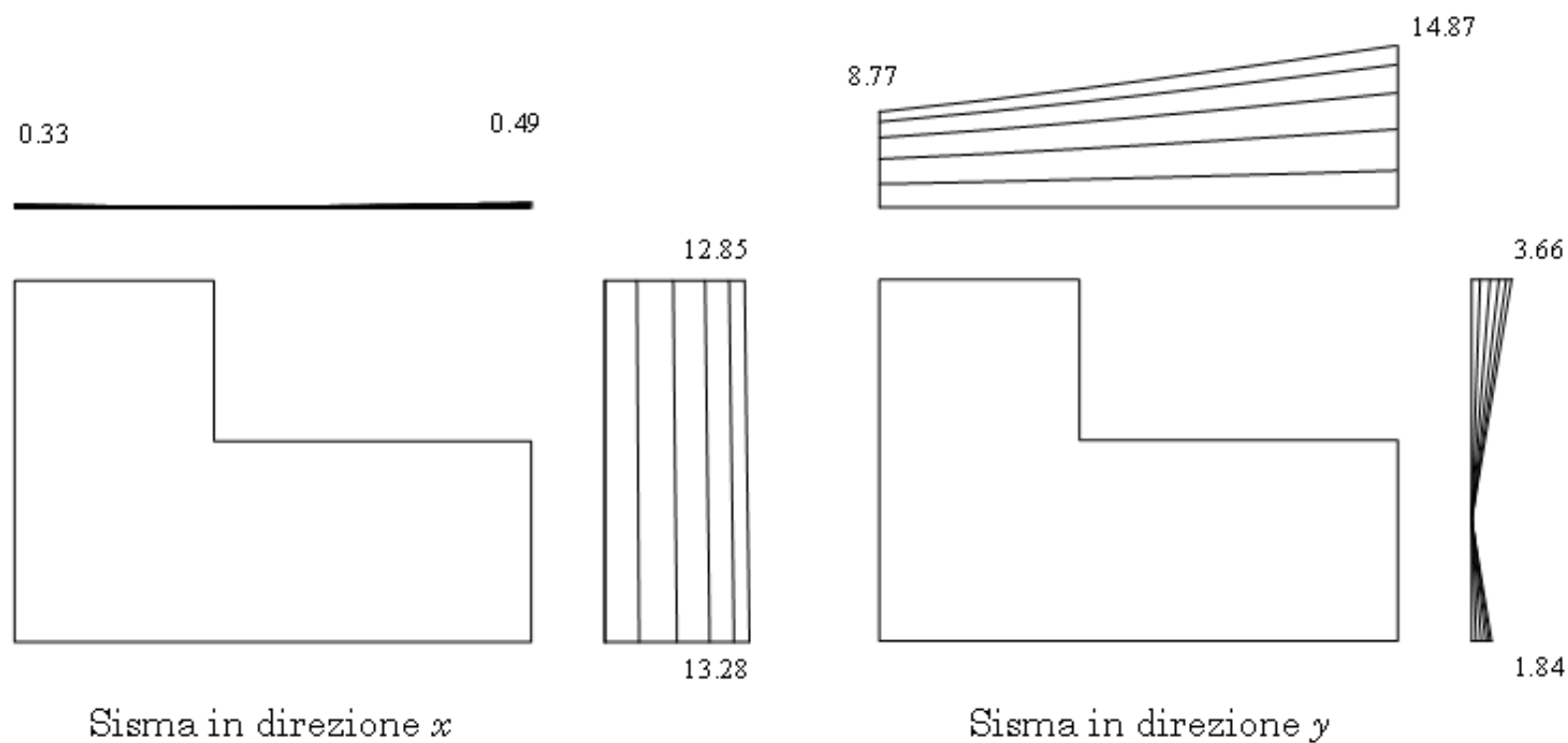
Modo 2



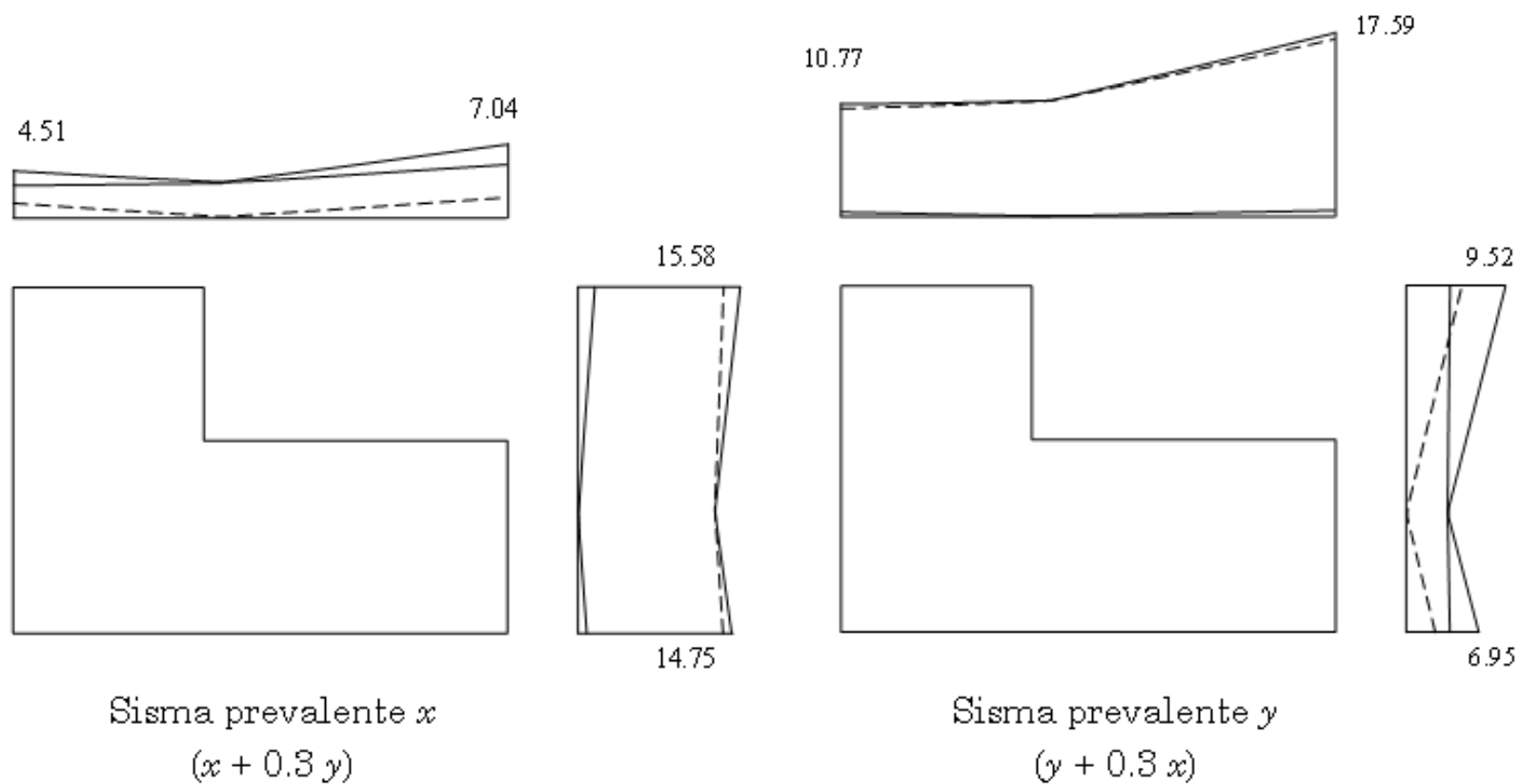
Modo 3

| Modo | Periodo T [s] | Massa partecipante x [%] | Massa partecipante y [%] |
|------|--------------------|----------------------------------|----------------------------------|
| 1 | 0.567 | 86.02 | 0.00 |
| 2 | 0.516 | 0.01 | 82.81 |
| 3 | 0.449 | 0.03 | 3.29 |

Inviluppo spostamenti modali

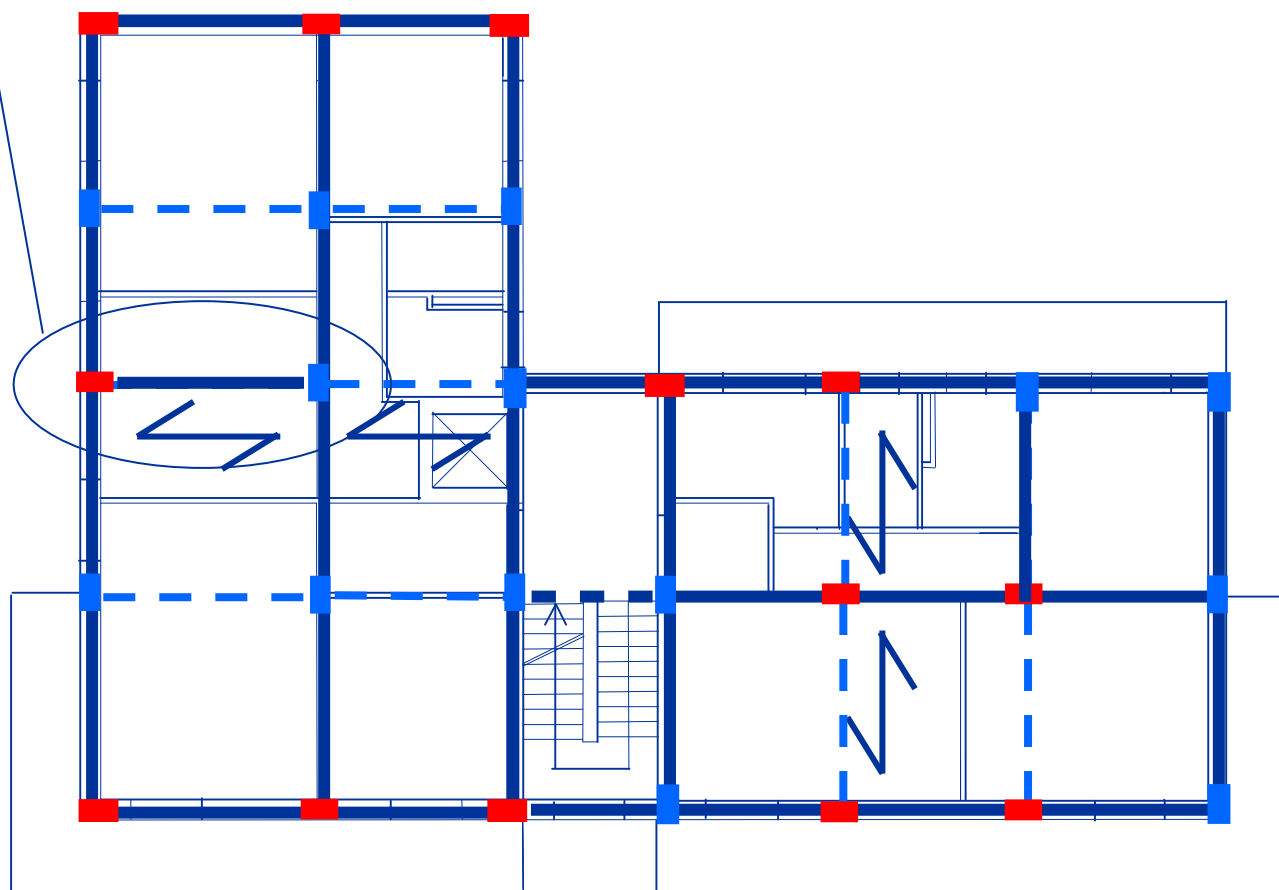


Effetto compressivo



Impostazione della carpenteria

Pilastro ruotato e
trave emergente



Effetto compressivo

