

Corsi di aggiornamento

# Progettazione strutturale e Nuove Norme Tecniche per le Costruzioni

## 3. Progetto di edifici antisismici in c.a. con struttura a telaio

20 - Schemi base e combinazioni di carico: esame  
dei risultati globali ottenuti

Spoletto

1-2 marzo 2018

Aurelio Ghersi

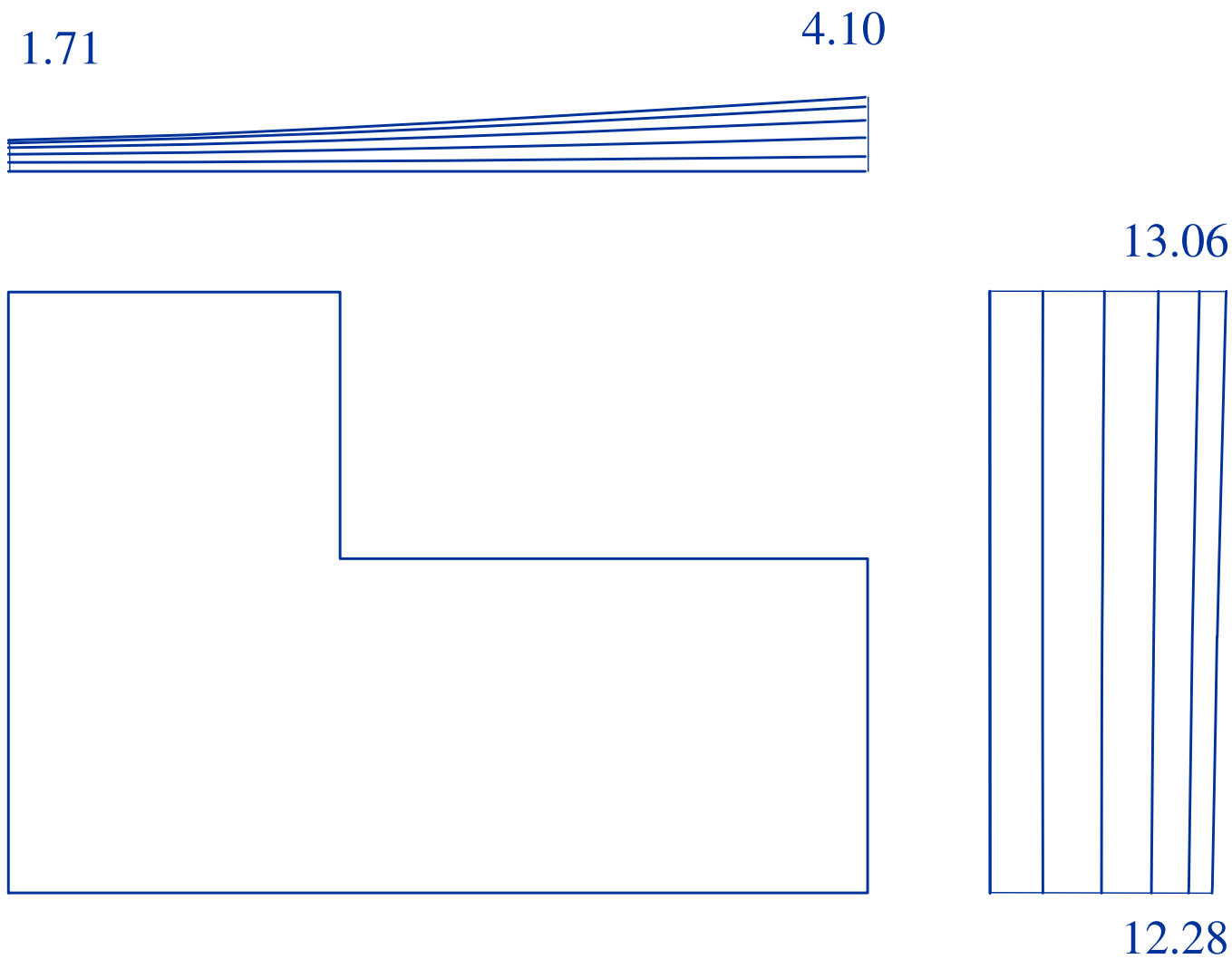
Eccentricità accidentale

# Eccentricità accidentale

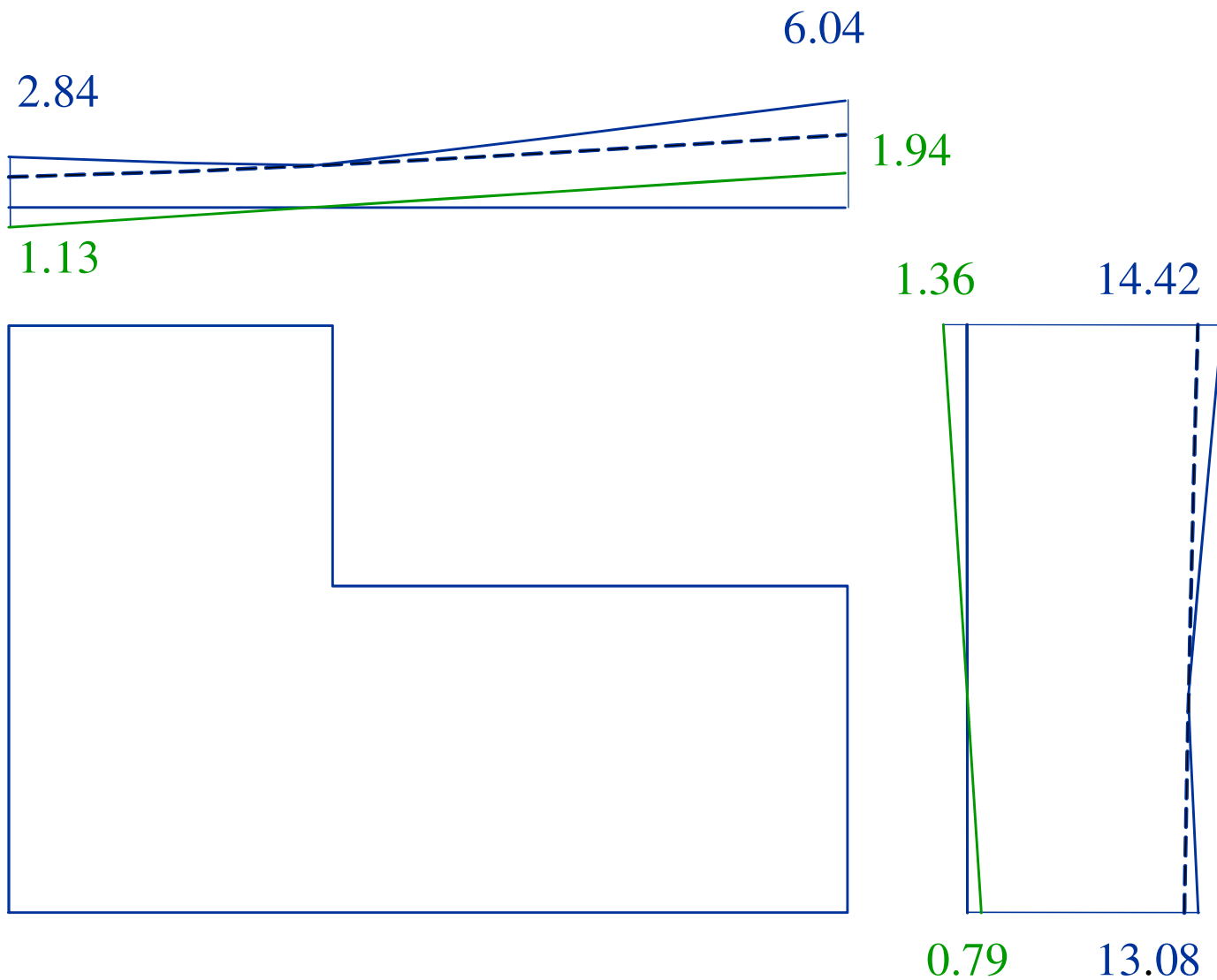
## Esame dei risultati

- 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

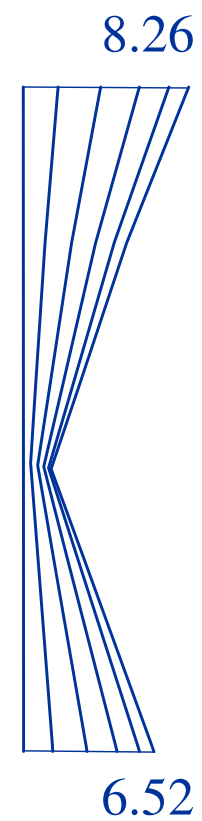
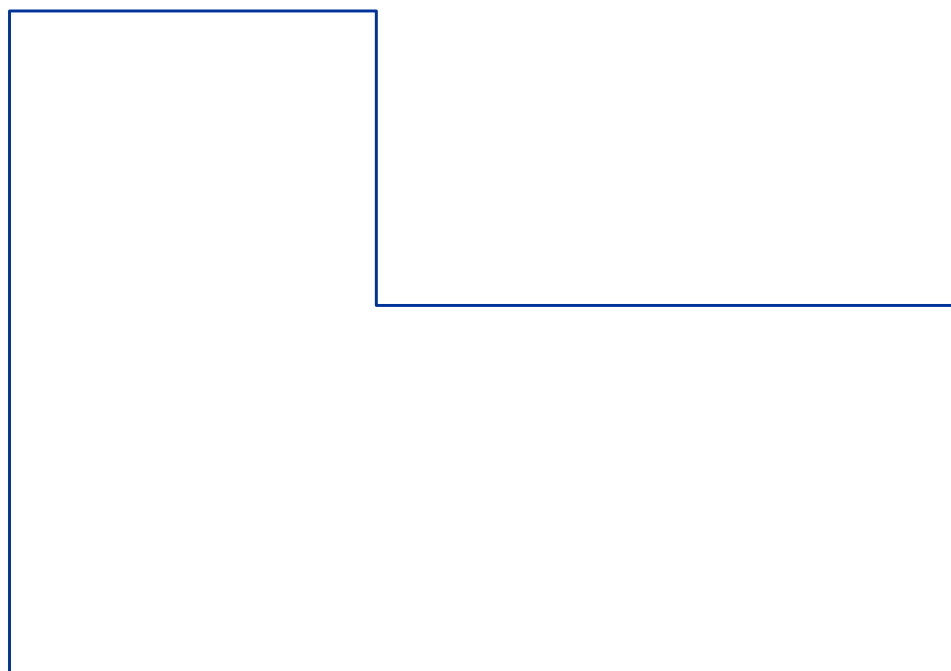
# Inviluppo modale sistema



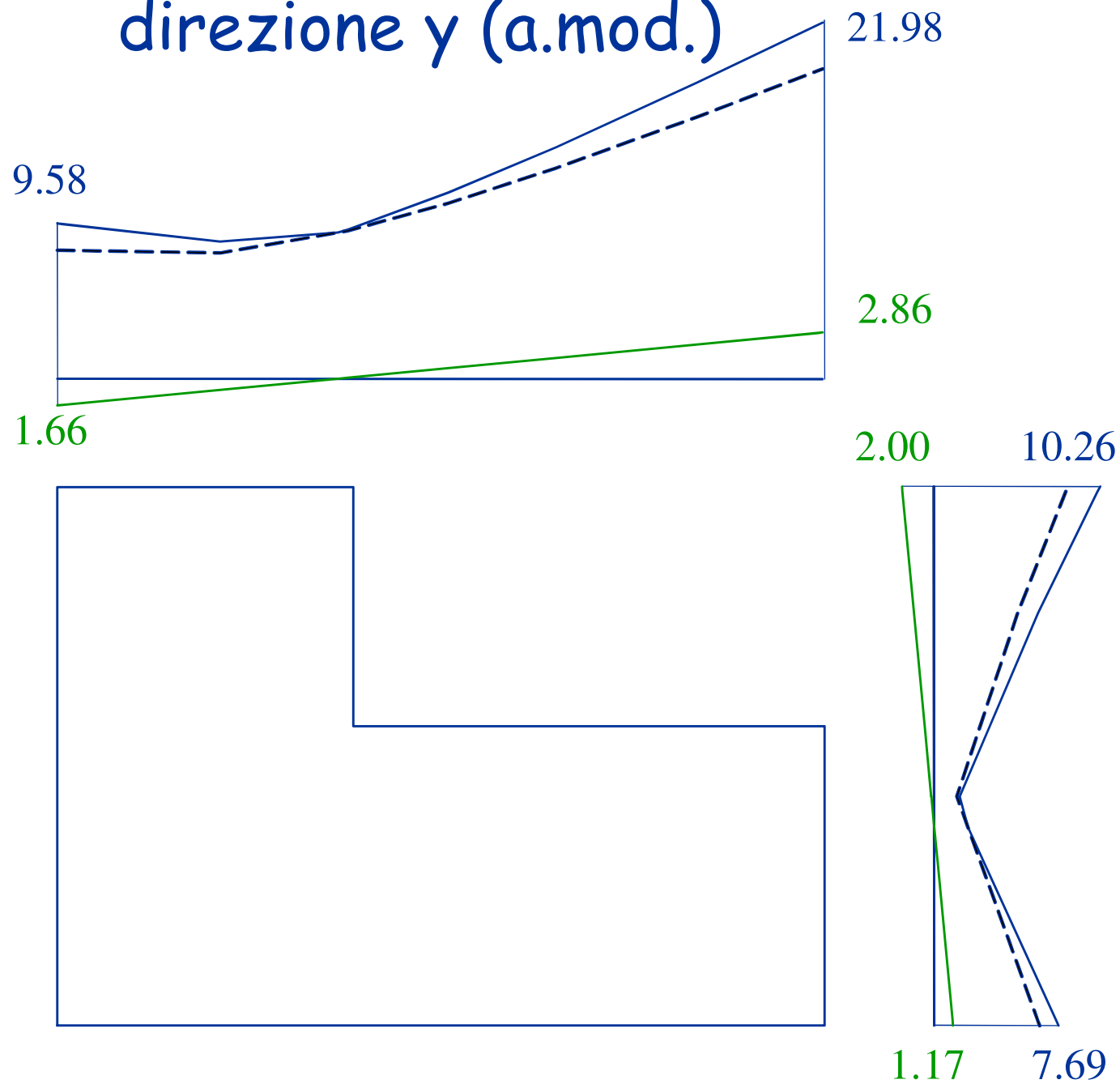
# Spostamenti per forze e coppie direzione x (analisi modale)



# Inviluppo modale sistema



# 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  $\delta$  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

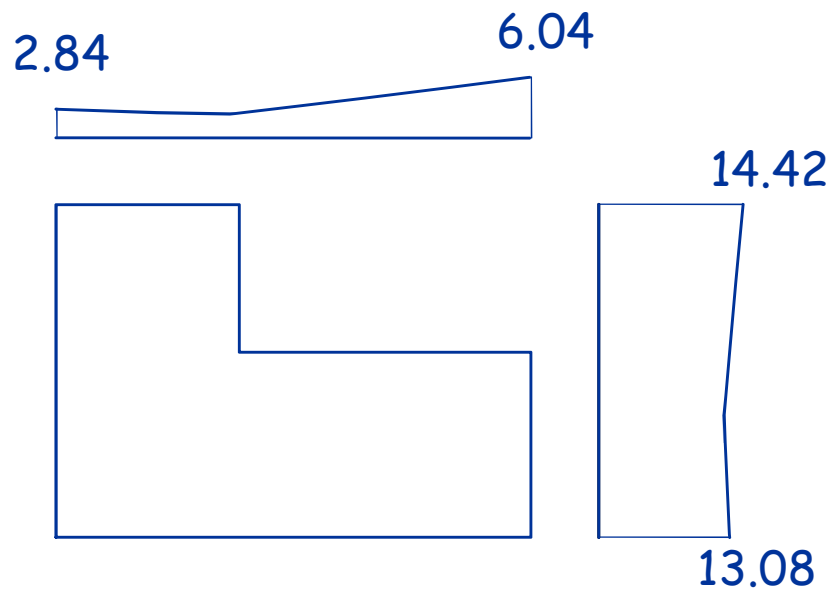
# Le componenti orizzontali

"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"

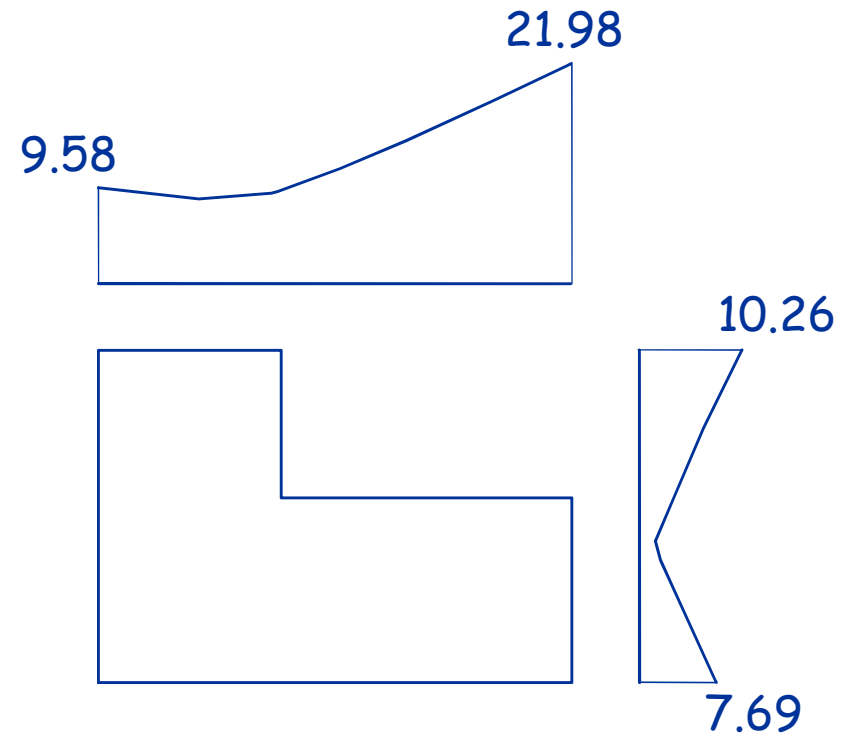
In che modo capire quanta importanza ha questa combinazione?

Ragioniamo ancora esaminando gli spostamenti

# Effetto complessivo del sisma separatamente nelle due direzioni

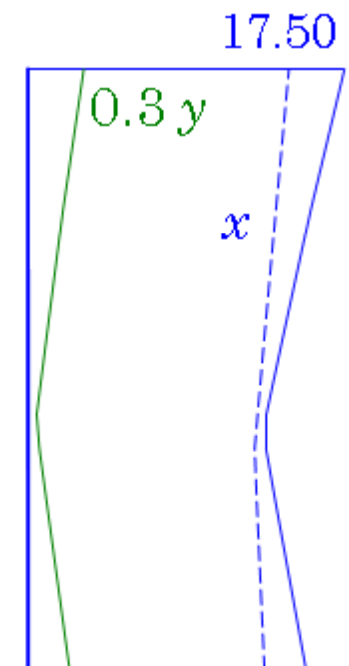
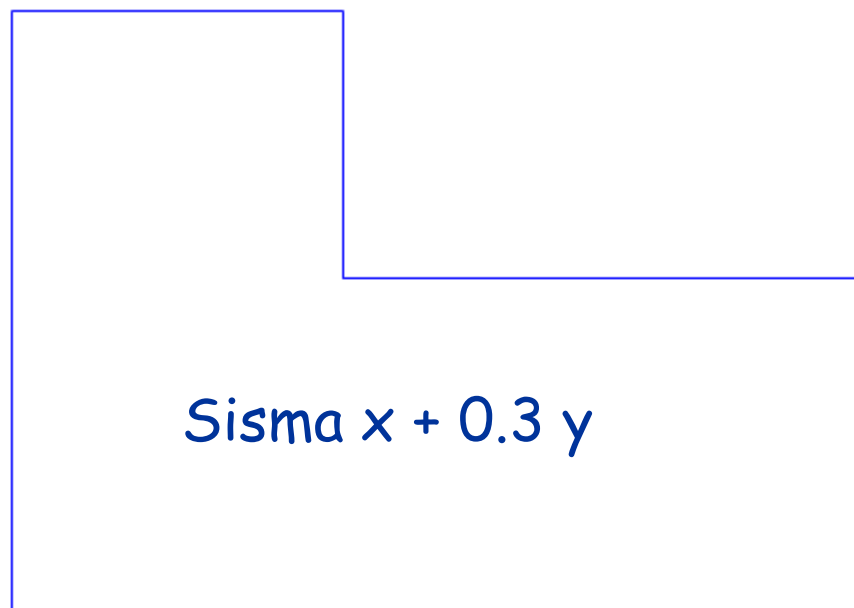
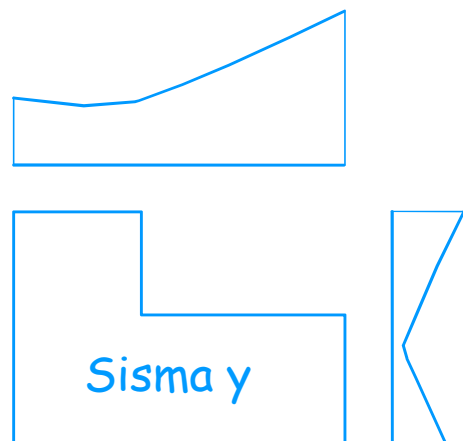
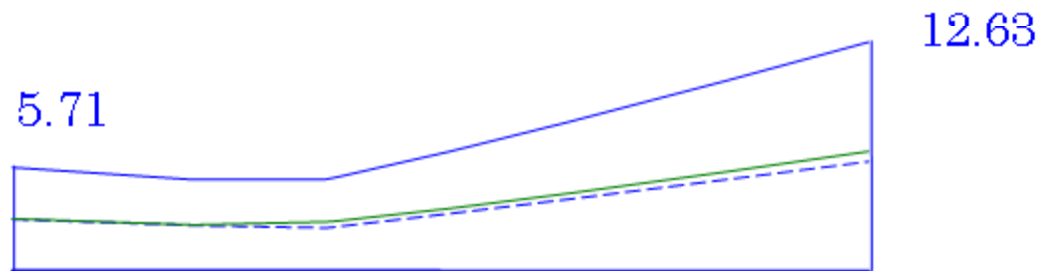
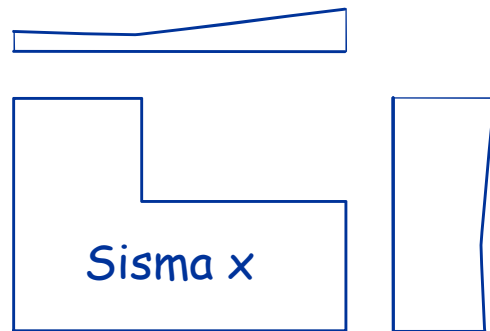


Sisma in  
direzione x

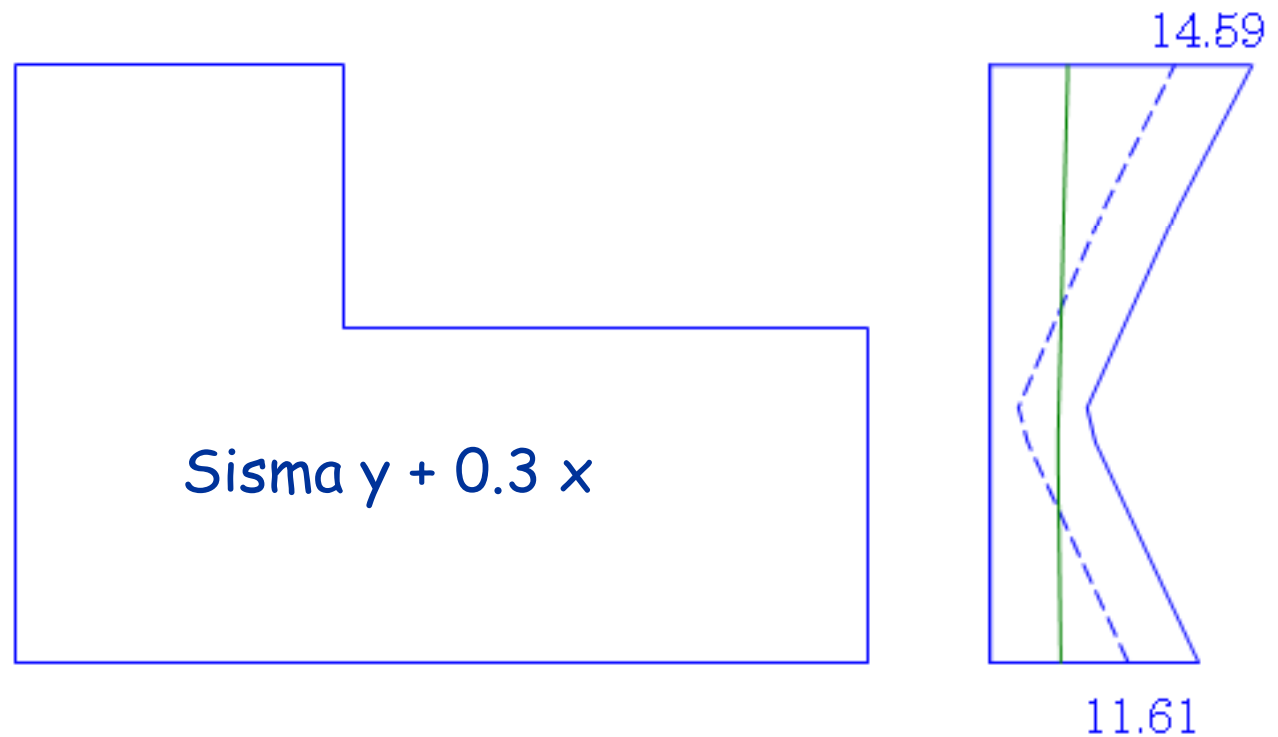
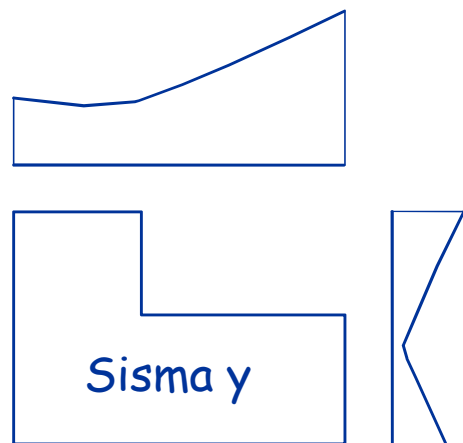
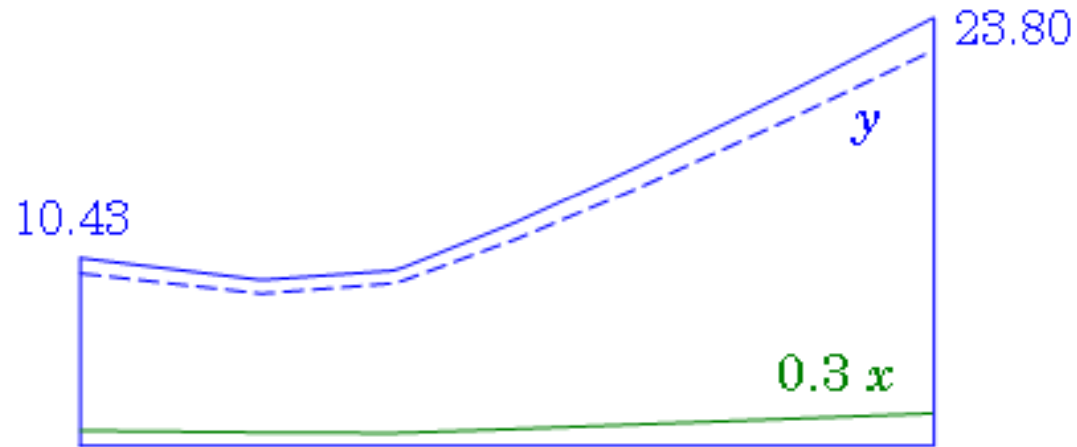
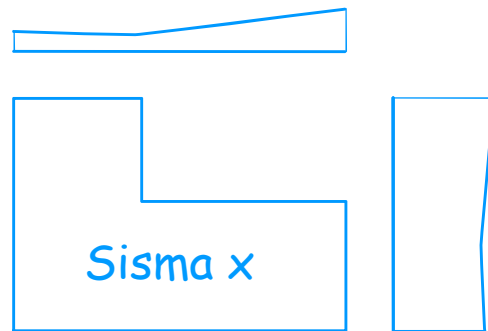


Sisma in  
direzione y

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



# Inviluppo: sisma y + 0.3 sisma x analisi modale



# 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

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

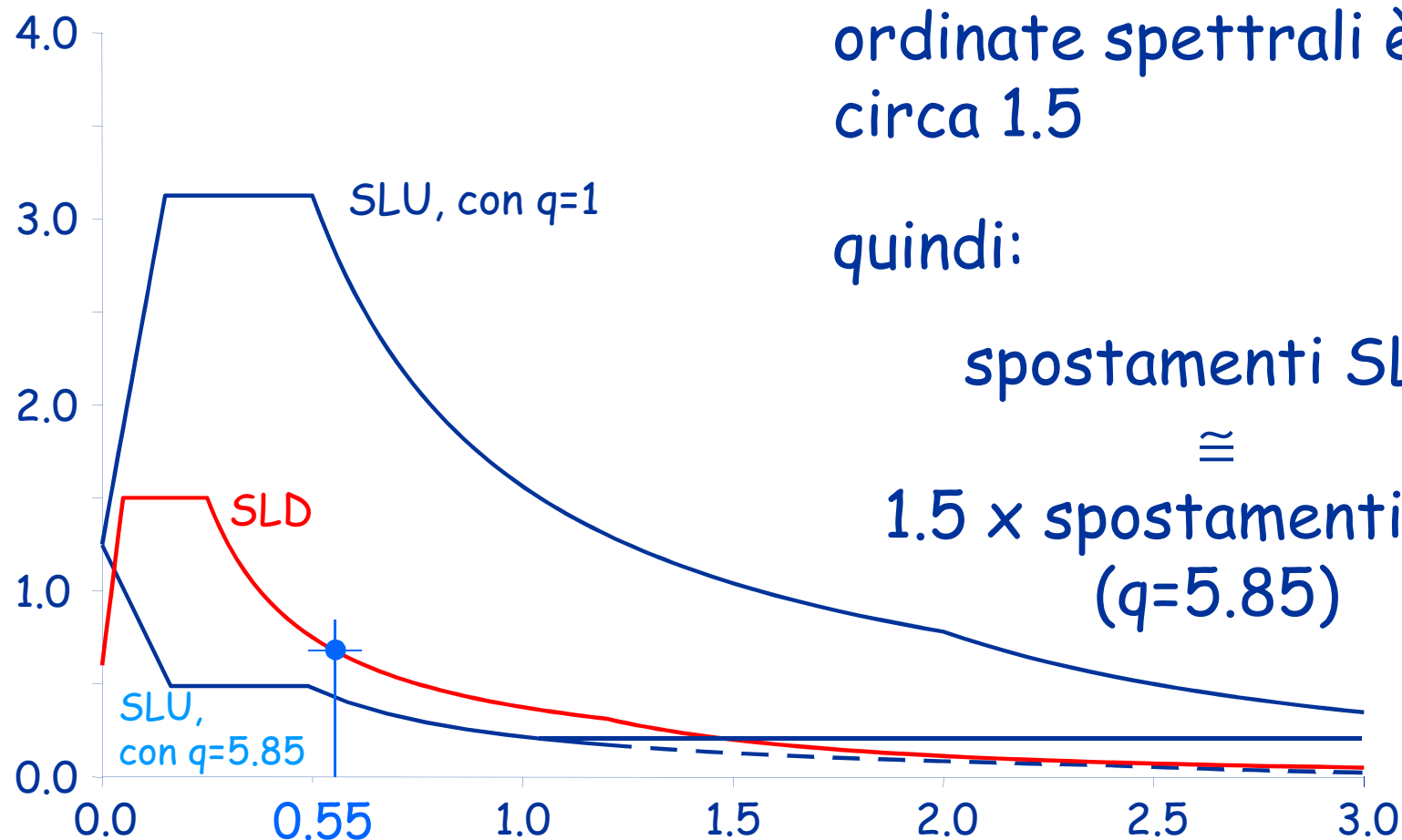
nel caso in esame, per  
un periodo pari a circa  
0.55 s il rapporto tra le  
ordinate spettrali è  
circa 1.5

quindi:

spostamenti SLD

$\cong$

1.5 x 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

Commenti finali

# 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?

Il dimensionamento è tutto sommato accettabile, anche se in alcuni elementi le sollecitazioni sono un po' più grandi del previsto

La risposta sismica mostra però rotazioni rilevanti, non accettabili. È quindi opportuno ritornare al dimensionamento, per correggere le carenze evidenziate

In particolare, è opportuno irrigidire la parte destra dell'edificio, aumentando le dimensioni di alcuni elementi o girando alcuni pilastri, e/o indebolire la parte sinistra

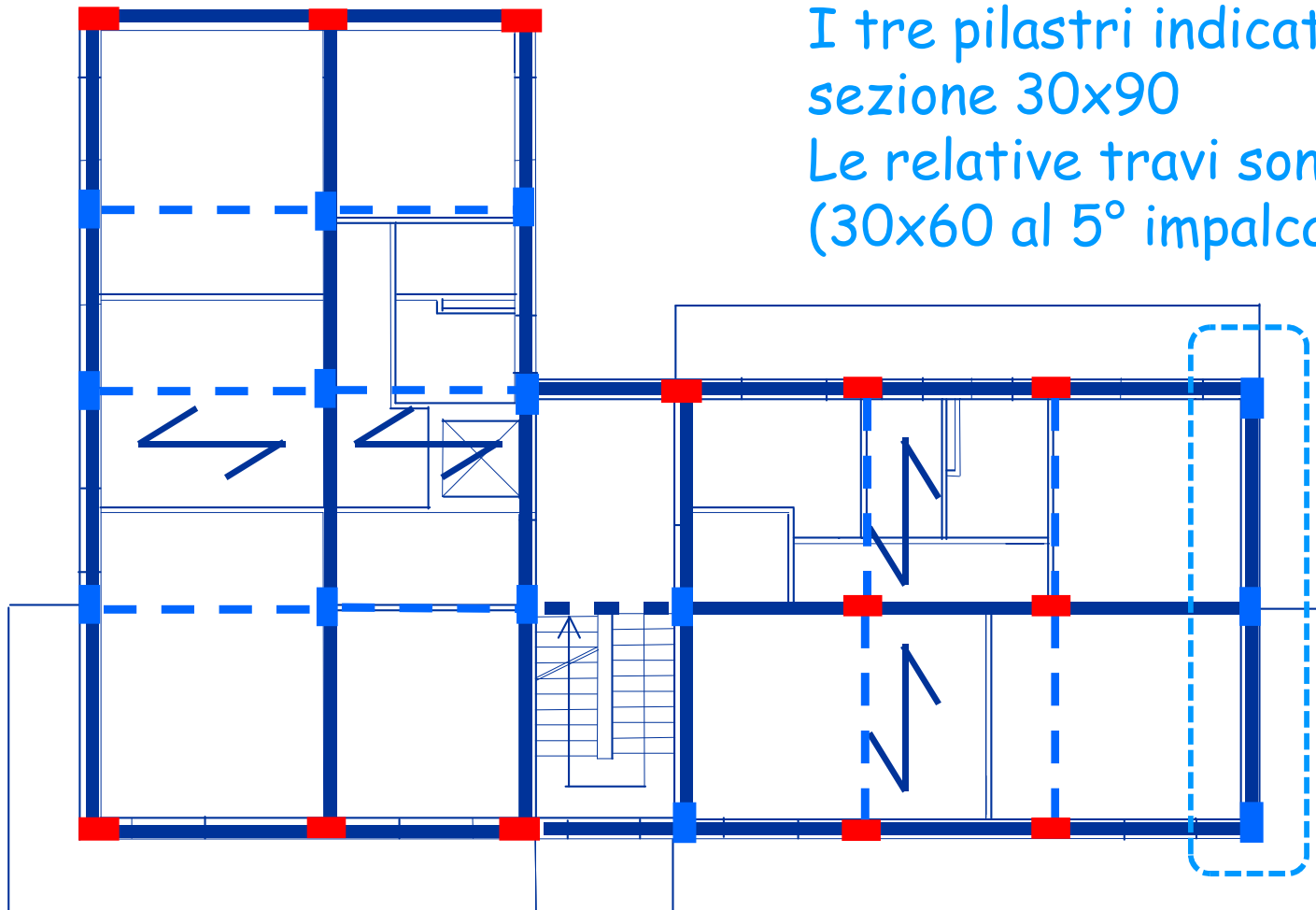
# Ridimensionamento della struttura

# Esame della carpenteria per quanto riguarda le azioni orizzontali

Variazione effettuata:

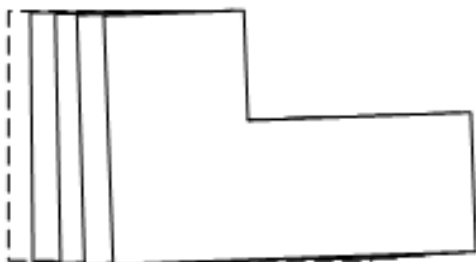
I tre pilastri indicati hanno  
sezione 30x90

Le relative travi sono 30x70  
(30x60 al 5° impalcato)

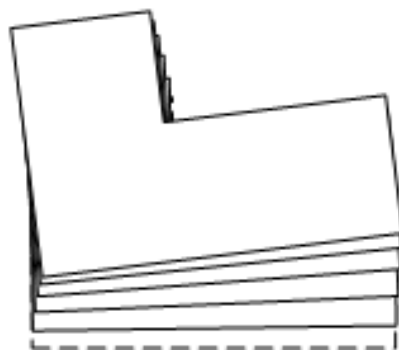


Questi  
pilastri  
hanno  
dimensioni  
maggiori  
per evitare  
che il lato  
destro sia  
meno rigido

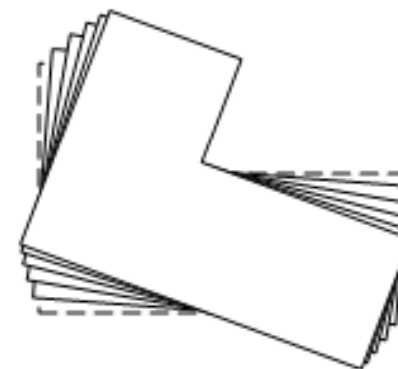
# Deformate modali e relativi periodi



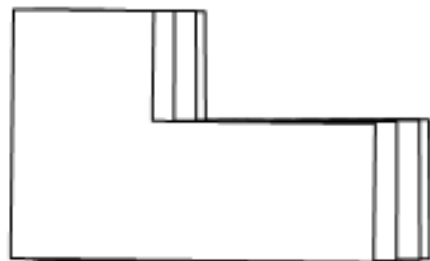
Modo 1  $T = 0.550 \text{ s}$



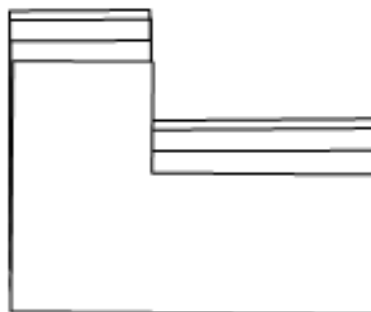
Modo 2  $T = 0.517 \text{ s}$



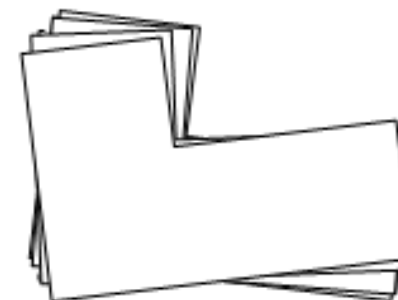
Modo 3  $T = 0.440 \text{ s}$



Modo 4  $T = 0.176 \text{ s}$



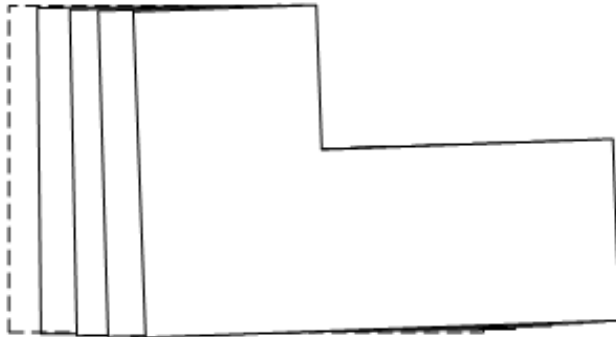
Modo 5  $T = 0.164 \text{ s}$



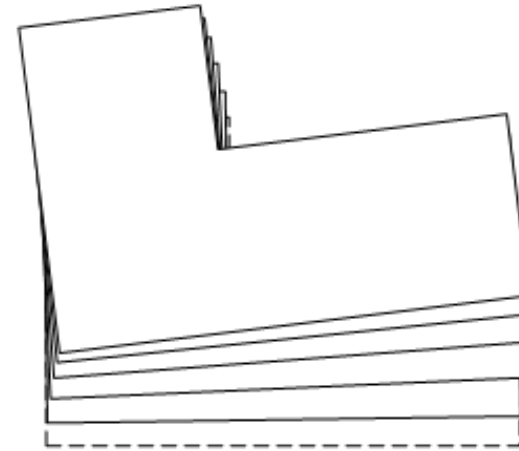
Modo 6  $T = 0.140 \text{ s}$

# Deformate modali

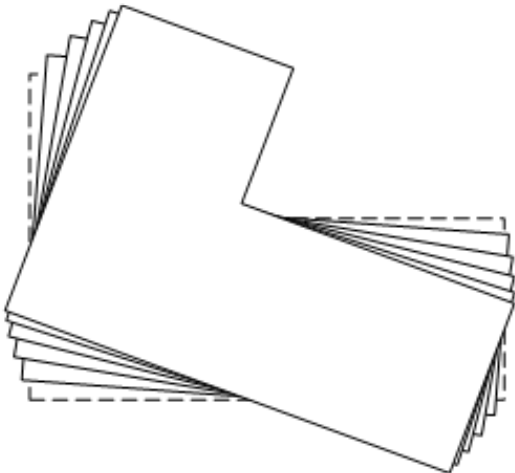
Modo 1  $T = 0.550 \text{ s}$



Modo 2  $T = 0.517 \text{ s}$



Modo 3  $T = 0.440 \text{ s}$

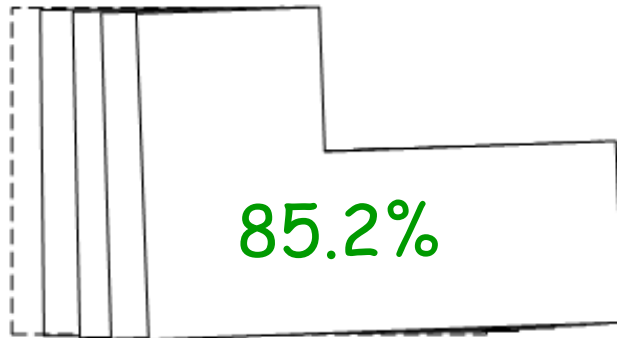


Il modo 1 è sostanzialmente di traslazione secondo x

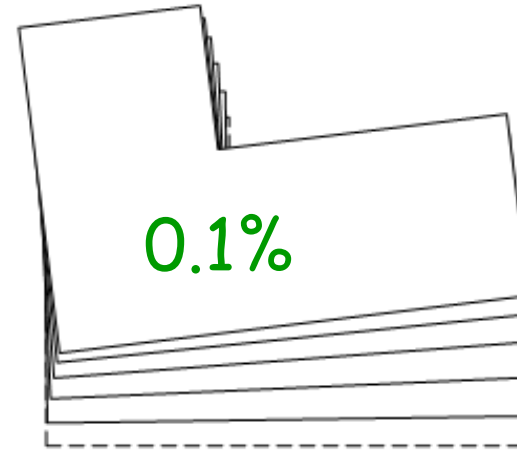
Il modo 2 è di traslazione secondo y accoppiata ad un po' di rotazione

# Masse partecipanti, sisma x

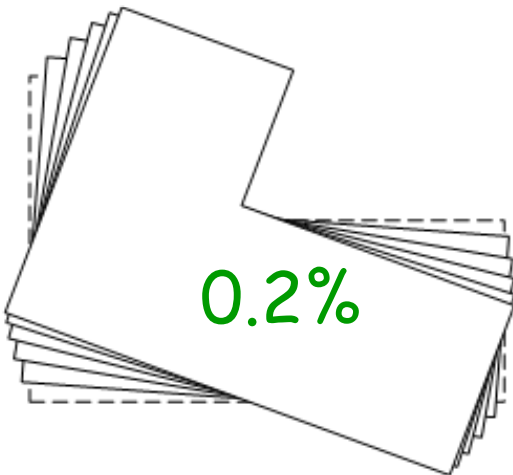
Modo 1  $T = 0.550 \text{ s}$



Modo 2  $T = 0.5173 \text{ s}$



Modo 3  $T = 0.440 \text{ s}$

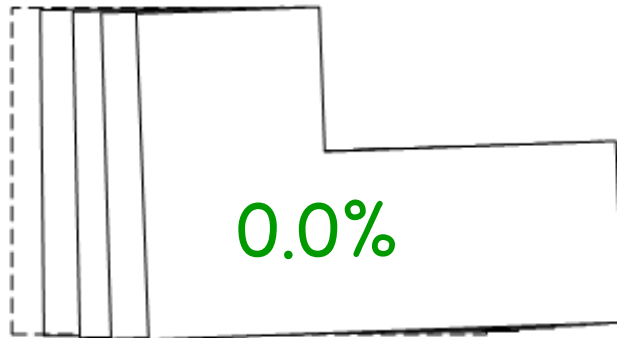


Il modo 1 dà il contributo massimo

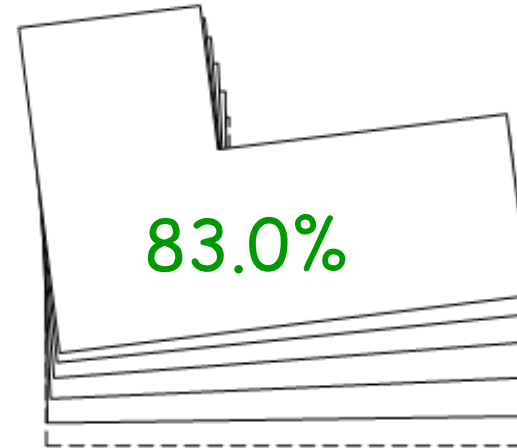
Il modo 4, di traslazione x con spostamenti nei due versi, dà un ulteriore contributo (9.3%)

# Masse partecipanti, sisma y

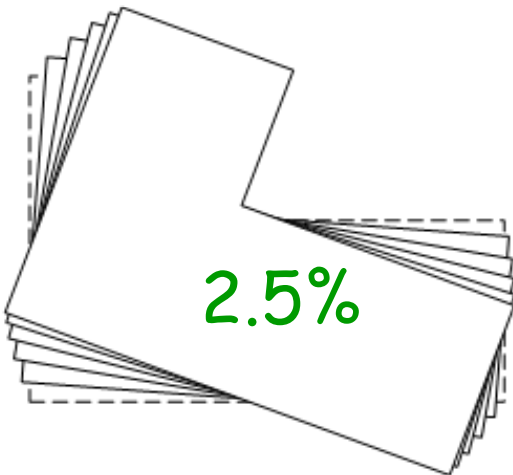
Modo 1  $T = 0.550 \text{ s}$



Modo 2  $T = 0.5173 \text{ s}$



Modo 3  $T = 0.440 \text{ s}$



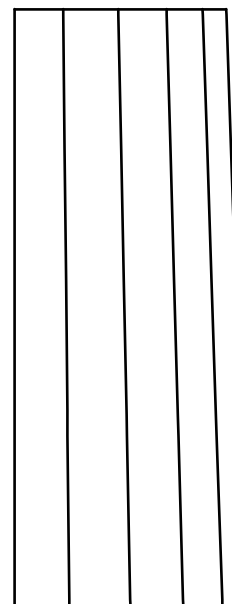
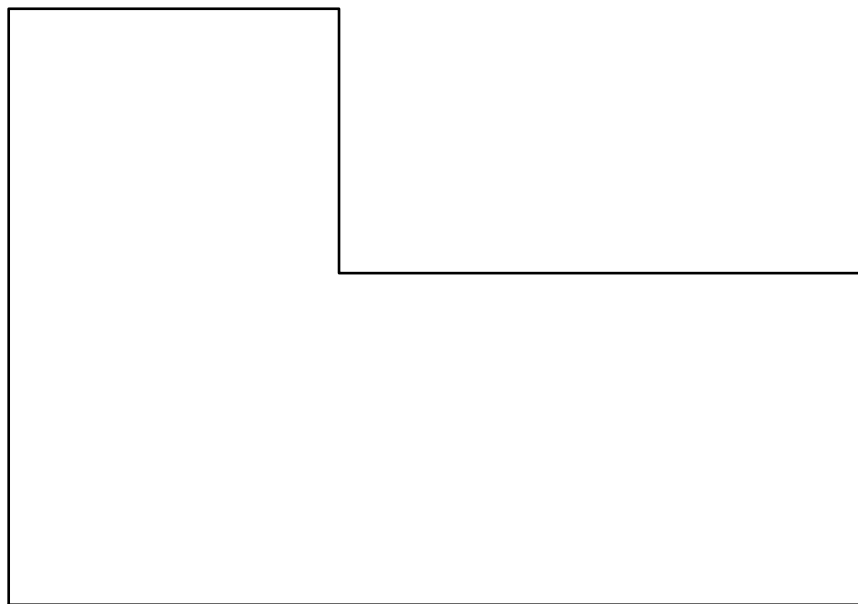
Il modo 2 dà il contributo massimo

Il modo 5, di traslazione x con spostamenti nei due versi, dà un ulteriore contributo (9.6%)

# Inviluppo modale sisma x

0.82

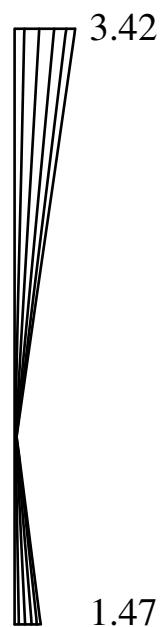
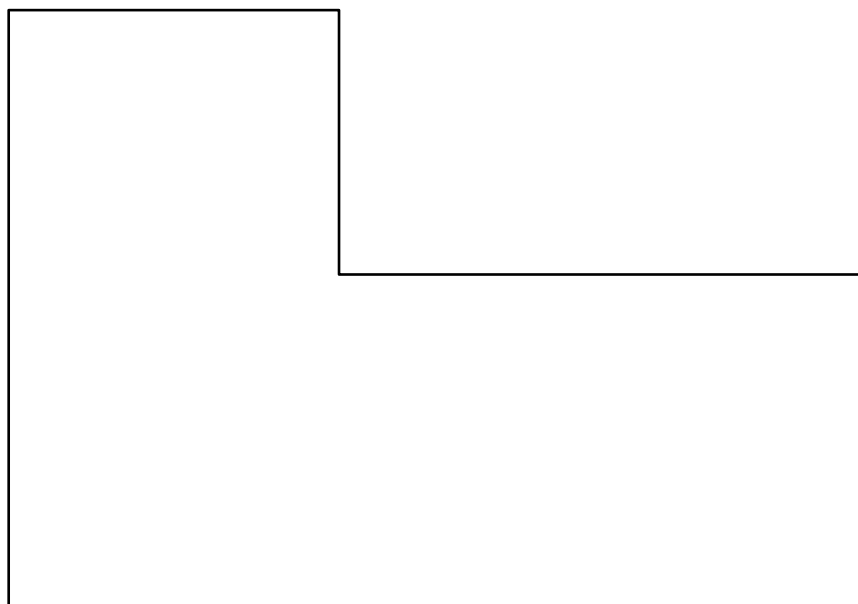
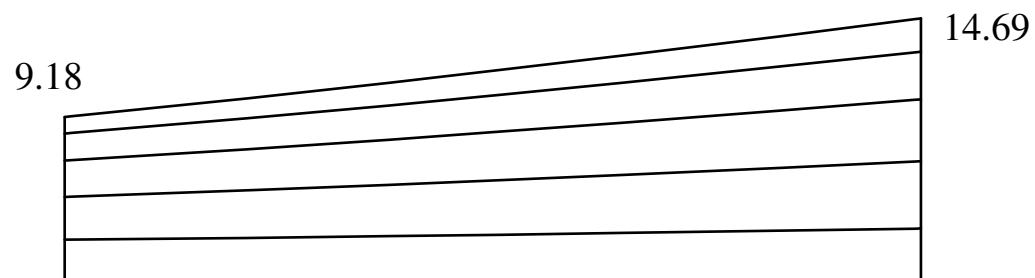
1.34



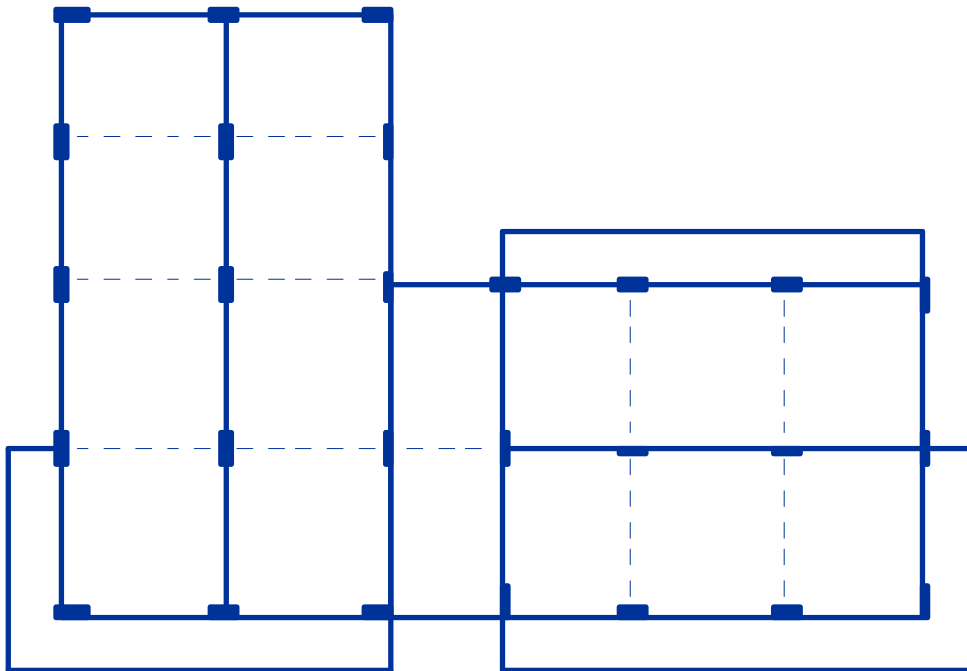
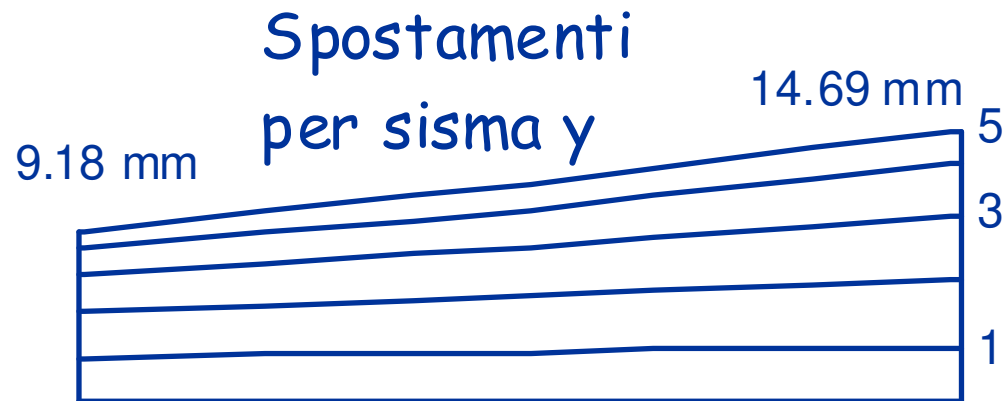
11.94

13.13

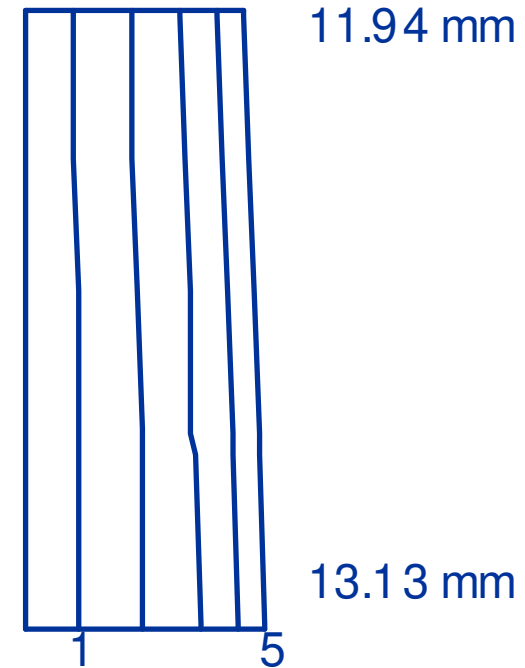
# Inviluppo modale sisma y



# Spostamenti, inviluppo modale



Spostamenti  
per sisma x

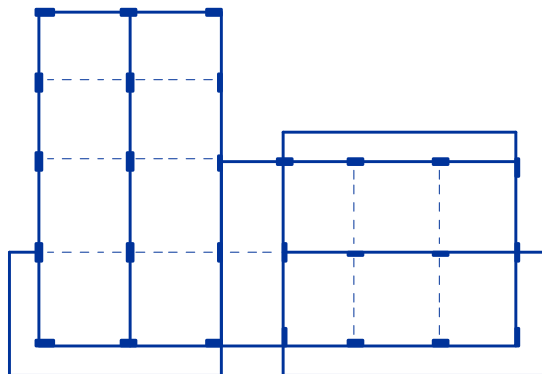


# Spostamenti, inviluppo modale

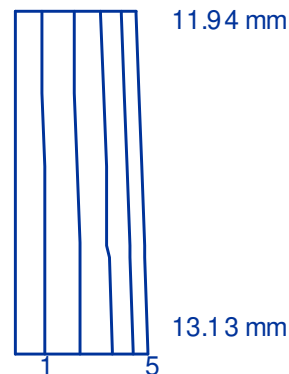
Rotazione per sisma y  
non trascurabile, ma in  
definitiva accettabile



Si potrebbe provare  
a indebolire la parte  
sinistra



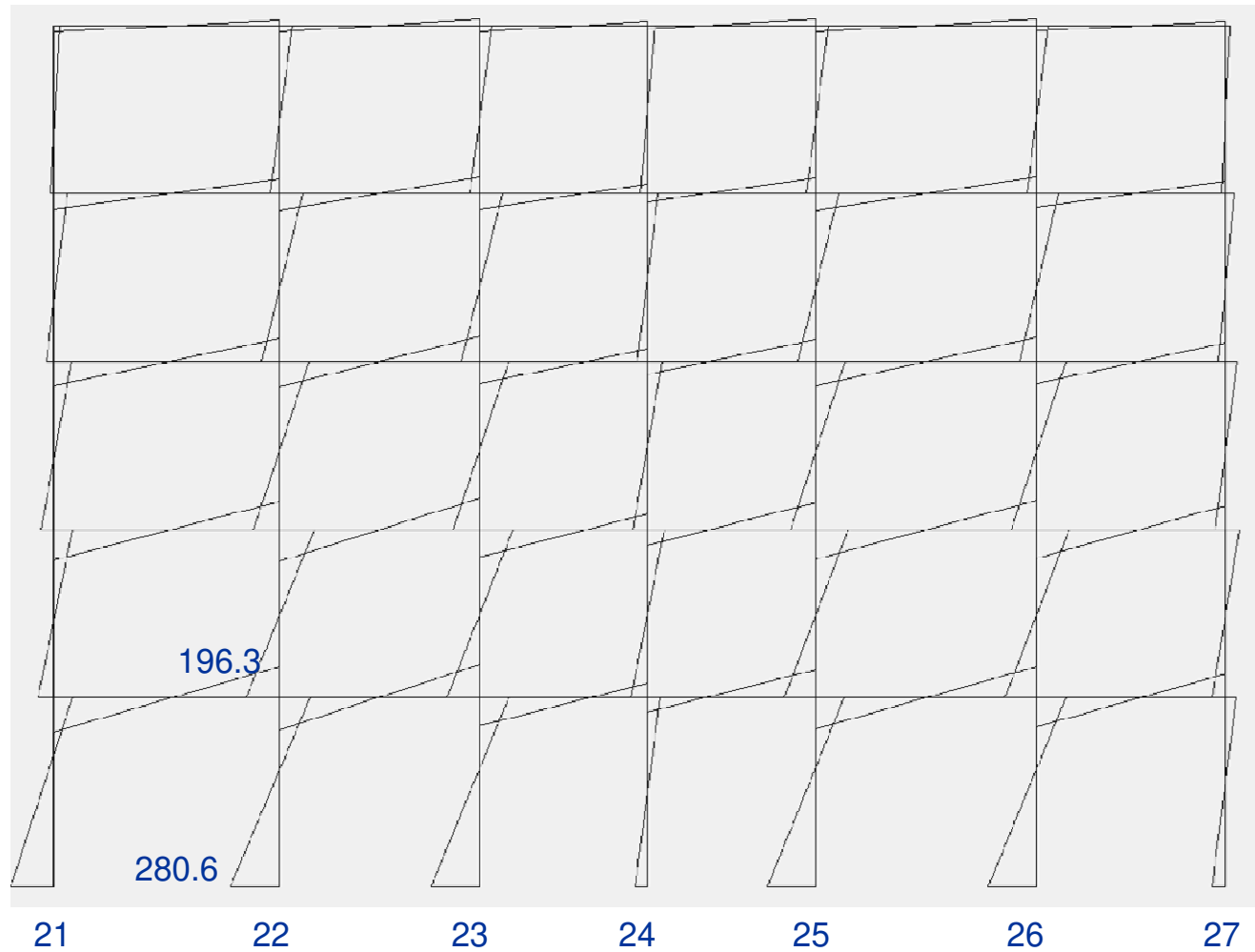
Spostamenti  
per sisma x



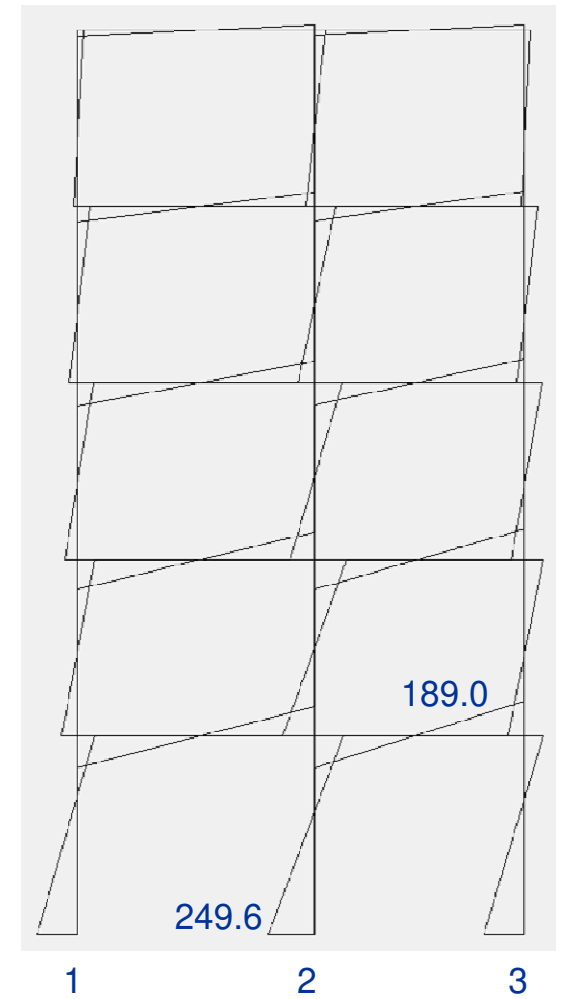
gli spostamenti massimi per  
sisma y sono maggiori di  
quasi il 20% rispetto a  
quelli medi per sisma x

Spostamenti per sisma x  
abbastanza uniformi  
(vicini a quelli del modo 1)

# Sollecitazioni per sisma in direzione x



Telaio 1x

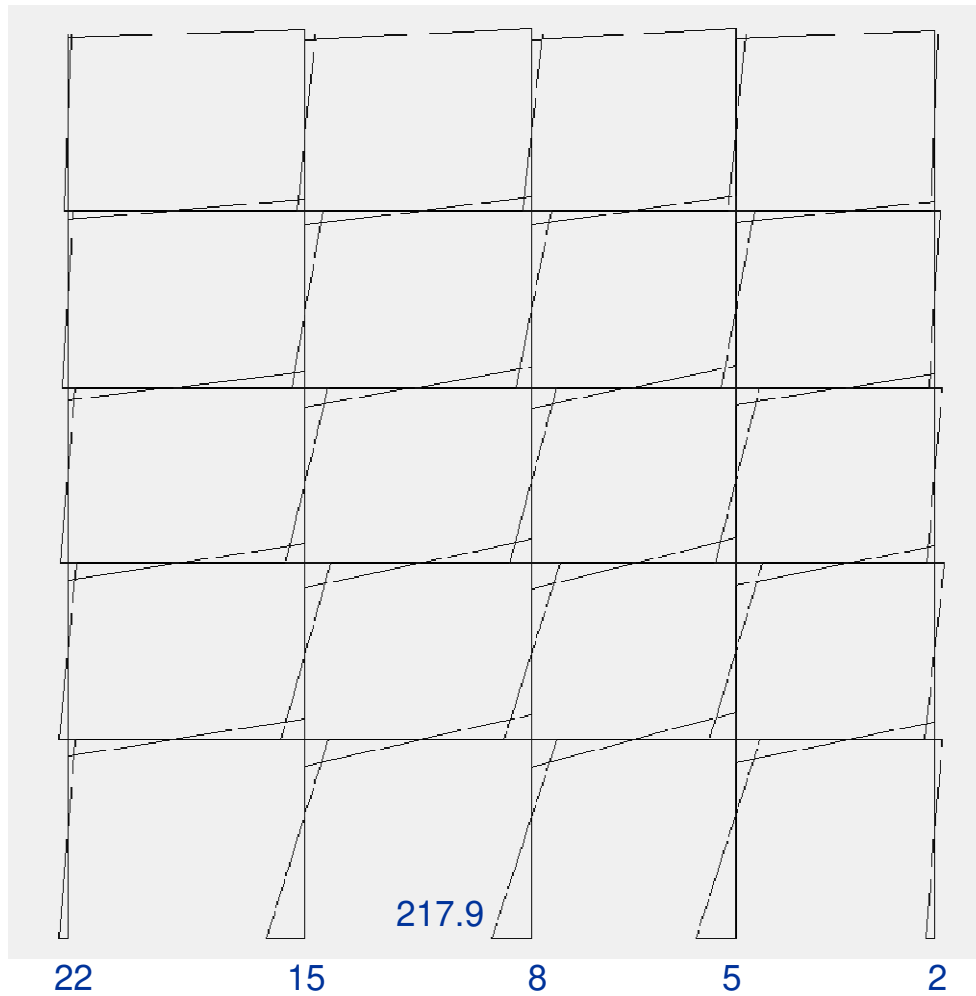


Telaio 5x

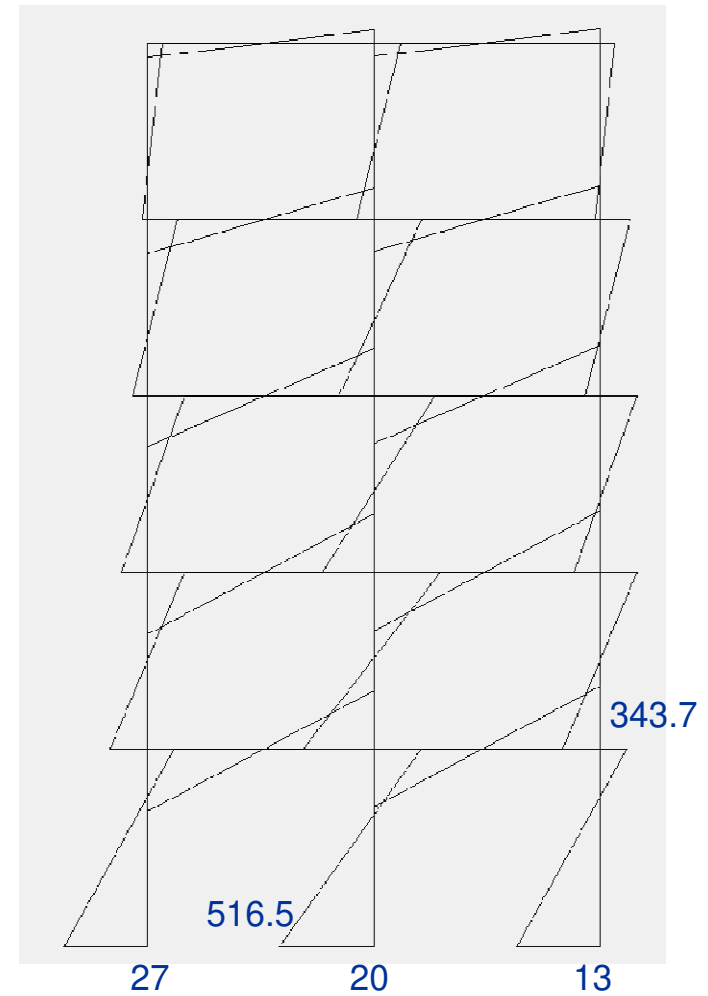
# Sollecitazioni per sisma in direzione x

piano	pilastri			travi		
	previsto	telaio 1x	telaio 5x	previsto	telaio 1x	telaio 5x
5	67.6	74.1	61.1	33.8	38.1	33.9
4	119.2	131.8	115.3	93.4	95.2	85.2
3	158.2	170.6	152.6	138.7	141.6	132.9
2	184.7	195.6	176.7	171.5	178.5	170.7
1 testa	176.5	174.9	155.6	180.6	196.3	189.0
1 piede	264.8	280.6	249.6			

# Sollecitazioni per sisma in direzione y



Telaio 2y

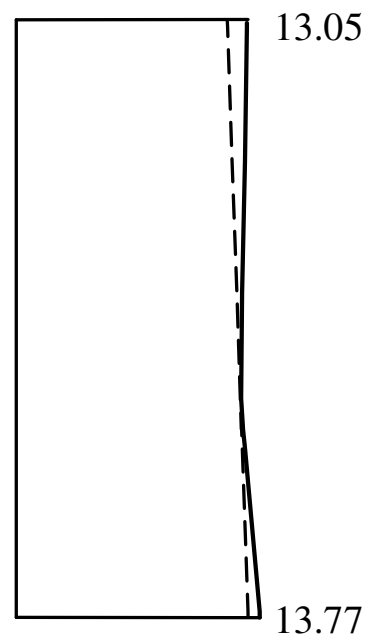
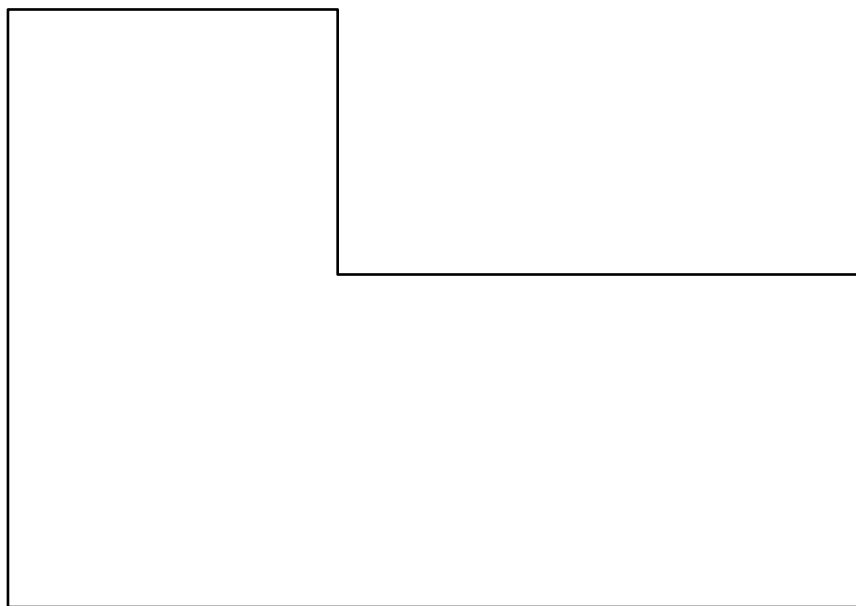


Telaio 7y

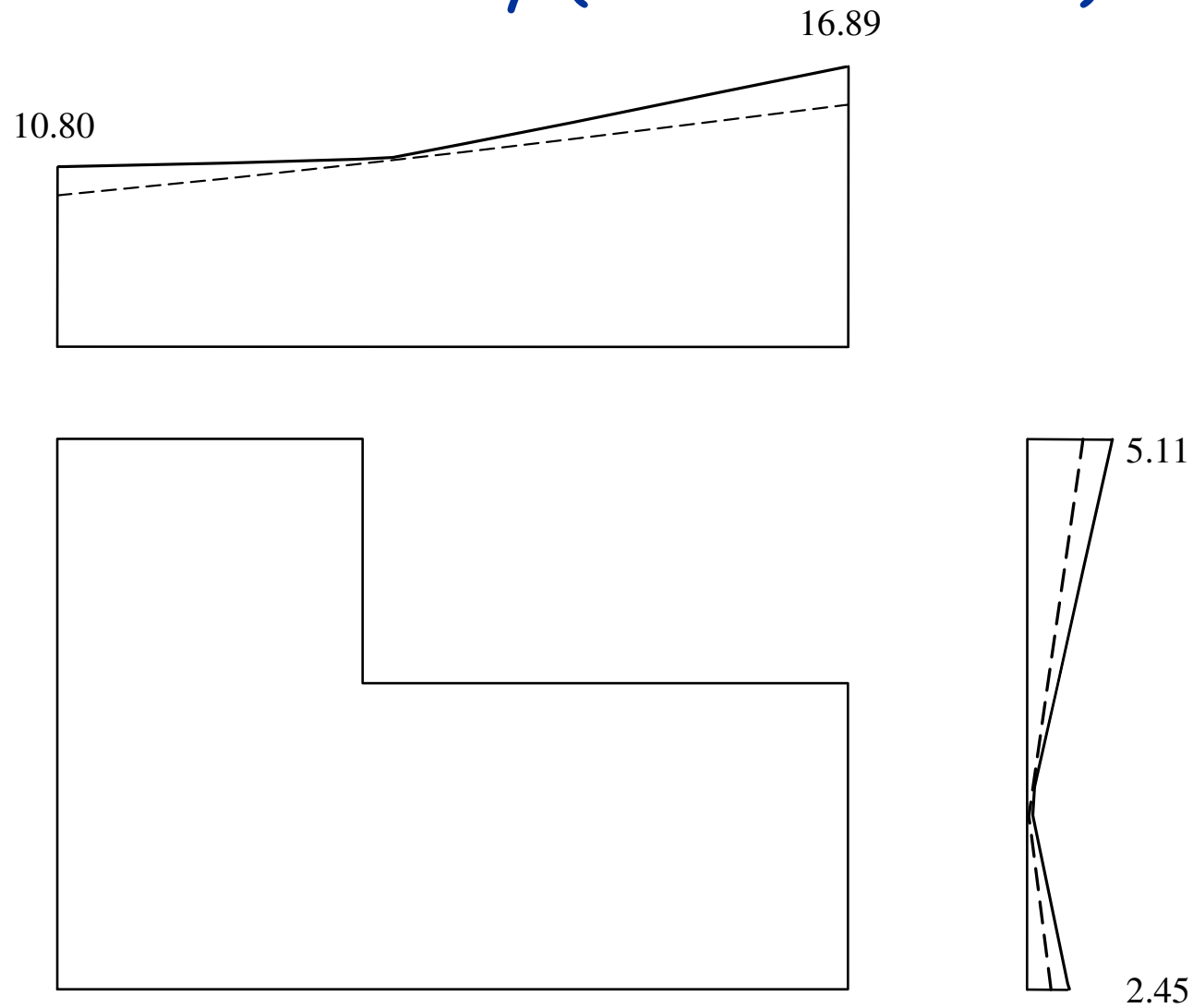
# Sollecitazioni per sisma in direzione y

piano	pilastri telaio 2y		pilastri telaio 7y		travi telaio 2y		travi telaio 7y	
	previsto	calcolato	previsto	calcolato	previsto	calcolato	previsto	calcolato
5	57.5	61.1	115.0	146.1	28.7	31.1	57.5	78.0
4	101.3	105.6	202.6	255.2	79.4	76.9	158.8	183.7
3	134.5	135.7	268.9	329.5	117.9	112.7	235.8	273.3
2	157.0	153.0	314.0	361.7	145.7	140.4	291.5	338.9
1 testa	150.1	136.6	300.1	259.6	153.5	149.1	307.1	343.7
1 piede	225.1	217.9	450.2	516.5				

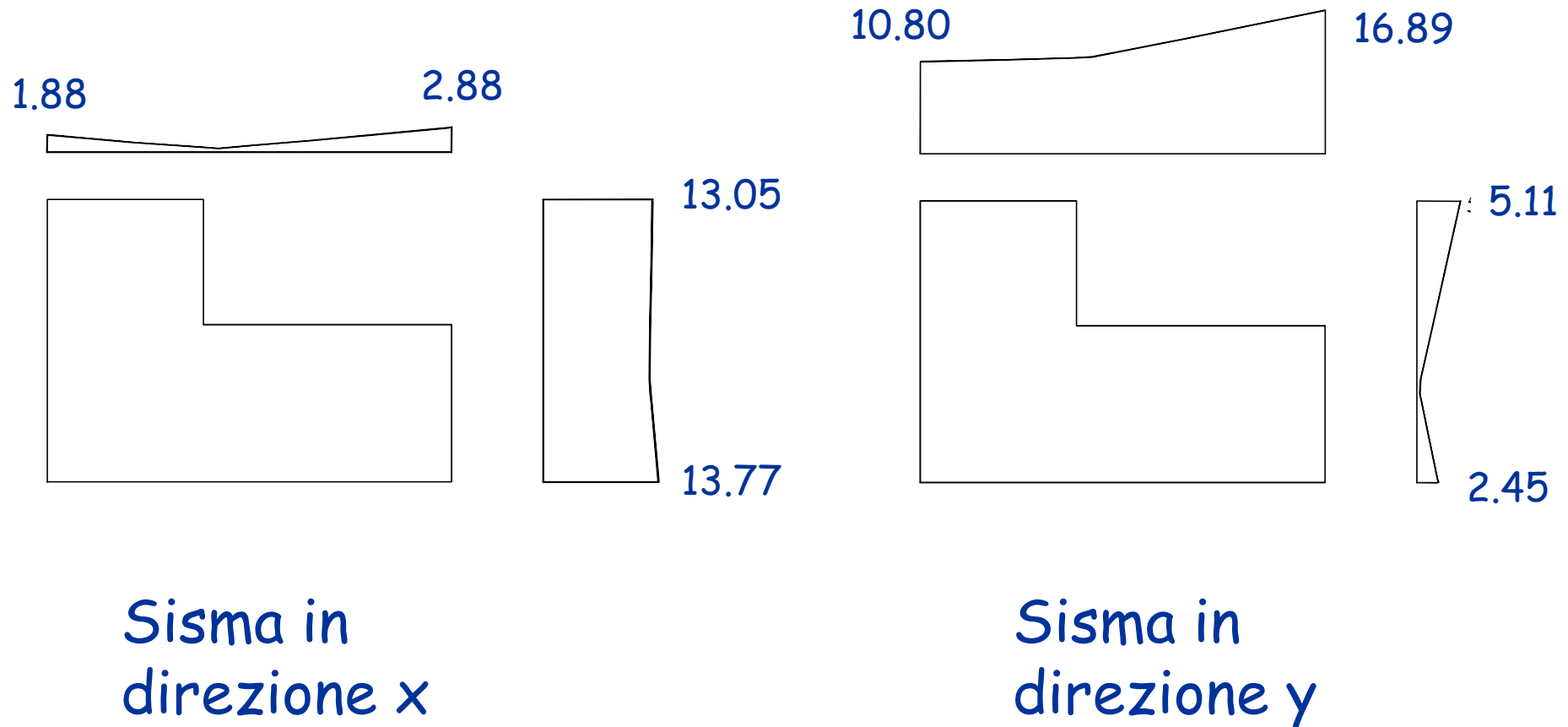
# Spostamenti per forze e coppie direzione x (analisi modale)



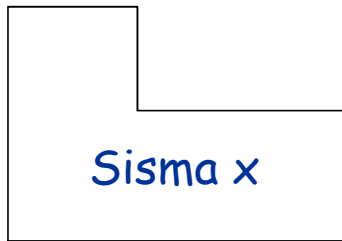
# Spostamenti per forze e coppie direzione y (analisi modale)



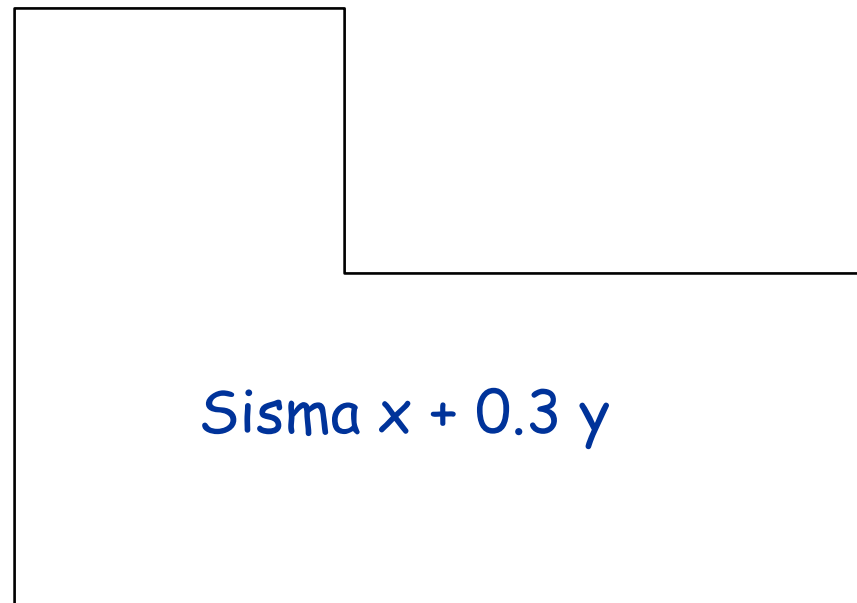
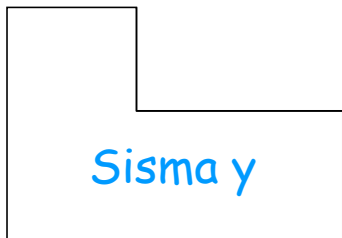
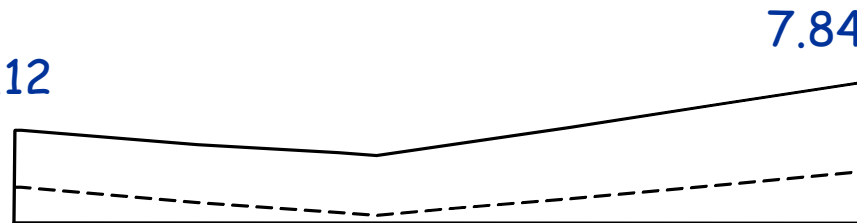
# Effetto complessivo del sisma separatamente nelle due direzioni



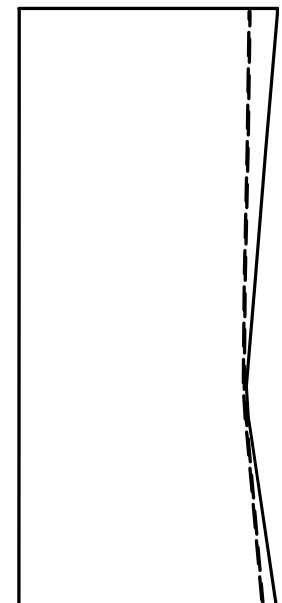
# Inviluppo: $sisma\ x + 0.3\ sisma\ y$ analisi modale



5.12



14.59



14.50

# Inviluppo: sisma y + 0.3 sisma x analisi modale

