

Corsi di aggiornamento

Progettazione in zona sismica

**Procedure semplificate e calcoli manuali  
per il controllo dell'ordine di grandezza  
dei risultati ottenuti dal programma di calcolo**

05 - Schemi base, loro risoluzione e giudizio sulla struttura

Vasto

30 settembre - 1 ottobre 2016

Aurelio Gheresi

# Modellazione delle azioni

1. Occorre distinguere tra carichi verticali in assenza di sisma (maggiori) e in presenza di sisma (minori)
2. Occorre tener conto delle incertezze relative alla effettiva posizione del centro di massa (i carichi variabili possono essere distribuiti in maniera non uniforme)  
→ eccentricità accidentale
3. Occorre tener conto dell'effetto contemporaneo delle diverse componenti dell'azione sismica  
→ criteri di combinazione delle componenti

Problemi concettualmente giusti,  
ma che complicano notevolmente il calcolo

# Conseguenze per l'analisi strutturale

Necessità di:

- Distinguere tra carichi verticali in assenza di sisma (maggiori) e in presenza di sisma (minori)
- Tener conto dell'eccentricità accidentale
- Combinare l'effetto delle diverse componenti del sisma

Quindi:

- Un numero di schemi da calcolare molto alto

Quanti?

# Quante combinazioni di carico?

In assenza di sisma:

- schema base, col carico verticale massimo ( $g_d + q_d$ ) su tutte le campate di trave
- eventuali altri schemi col carico variabile a scacchiera

Nota: l'effetto del carico variabile a scacchiera può essere stimato in maniera approssimata

Con le vecchie norme l'effetto dei soli carichi verticali era compreso tra i valori dovuti a  $q \pm F$

Ora invece no, perché in presenza di sisma i carichi verticali sono ridotti

# Quante combinazioni di carico?

In presenza di sisma:

- 1 • carico verticale con valore ridotto ( $g_k + \psi_2 q_k$ ) su tutte le campate di trave
- 2 • forze sismiche (statiche o modali) in direzione x / y
- 4 • verso delle forze sismiche: positivo / negativo
- 8 • eccentricità accidentale: positiva / negativa
- 16 • forze in una direzione più 0.3 forze nell'altra direzione, prese col segno: positivo / negativo
- 32 • eccentricità nell'altra direzione: positiva / negativa

Azione sismica principale	segno	eccentricità	Azione sismica secondaria	eccentricità	N° comb.
$E_x$	+	$+ e_y$	$+ 0.3 E_y$	$+ e_x$	1
				$- e_x$	2
			$- 0.3 E_y$	$+ e_x$	3
				$- e_x$	4
		$- e_y$	$+ 0.3 E_y$	$+ e_x$	5
				$- e_x$	6
			$- 0.3 E_y$	$+ e_x$	7
				$- e_x$	8
	-	$+ e_y$	$+ 0.3 E_y$	$+ e_x$	9
				$- e_x$	10
			$- 0.3 E_y$	$+ e_x$	11
				$- e_x$	12
		$- e_y$	$+ 0.3 E_y$	$+ e_x$	13
				$- e_x$	14
			$- 0.3 E_y$	$+ e_x$	15
				$- e_x$	16
$E_y$	+	$+ e_x$	$+ 0.3 E_x$	$+ e_y$	17
				$- e_y$	18
			$- 0.3 E_x$	$+ e_y$	19
				$- e_y$	20
		$- e_x$	$+ 0.3 E_x$	$+ e_y$	21
				$- e_y$	22
			$- 0.3 E_x$	$+ e_y$	23
				$- e_y$	24
	-	$+ e_x$	$+ 0.3 E_x$	$+ e_y$	25
				$- e_y$	26
			$- 0.3 E_x$	$+ e_y$	27
				$- e_y$	28
		$- e_x$	$+ 0.3 E_x$	$+ e_y$	29
				$- e_y$	30
			$- 0.3 E_x$	$+ e_y$	31
				$- e_y$	32

# Tante combinazioni di carico...

## Come gestirle?

Risultati dettagliati per tutte le combinazioni di carico?

Una montagna di valori (e di carta) che nessuno avrà mai il coraggio di esaminare  
(inoltre: che senso ha per me giudicare l'effetto di, ad esempio,  
 $q - F_x + e_{ay} - 0.3 F_y - e_{ax}$  ?)

Involuppo dei risultati di tutte le combinazioni di carico?

Mi dice solo se la verifica è soddisfatta o no;  
ma come capire il comportamento della struttura?

# Tante combinazioni di carico...

## Come gestirle?

Risultati dettagliati degli schemi base, più inviluppo dei risultati di tutte le combinazioni di carico?

Dai risultati di ciascuno schema base posso capire il comportamento della struttura

L'inviluppo mi fornisce il giudizio complessivo

Schemi base suggeriti:

1. carichi verticali max (senza sisma)
2. carichi verticali min (con sisma)
3. forze in direzione x (statiche o modali)
4. forze in direzione y (statiche o modali)
5. eccentricità accidentale per forze in dir. x
6. eccentricità accidentale per forze in dir. y

coppie (statiche)





# 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?

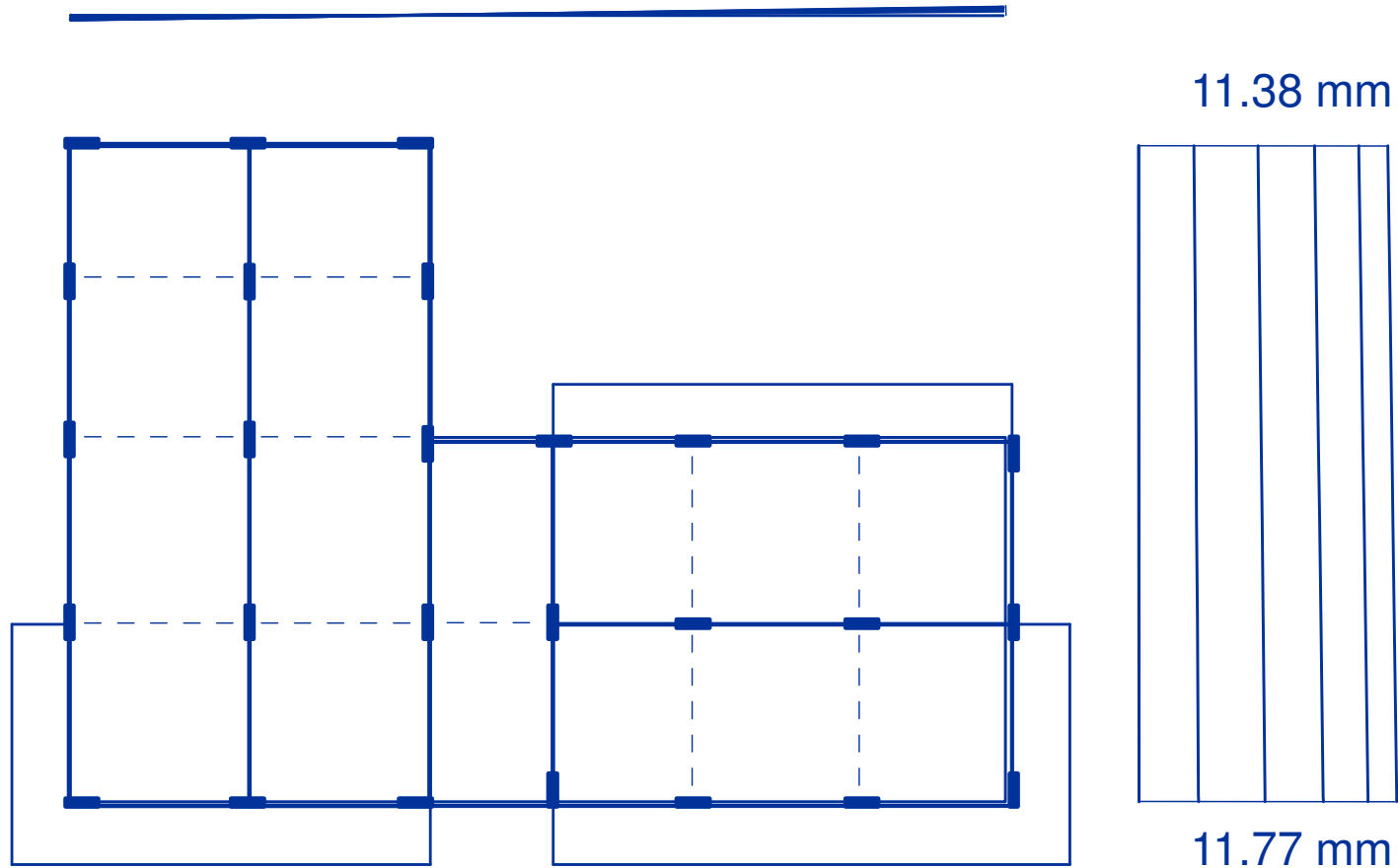
## Analisi statica

- 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



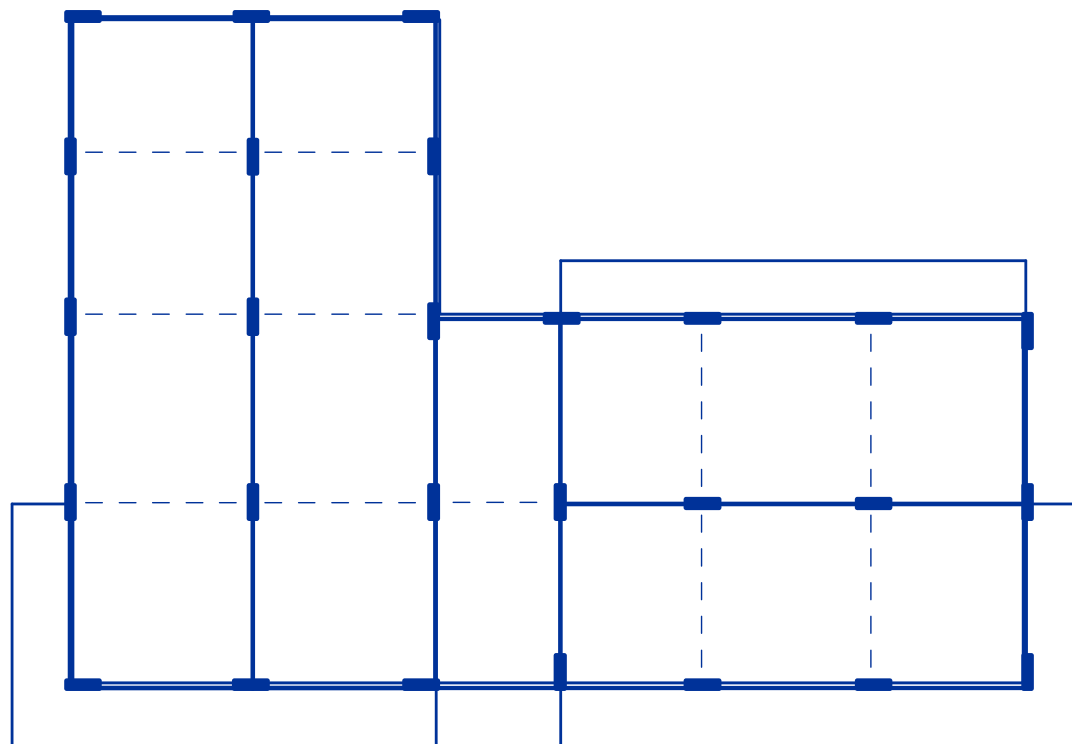
# Spostamenti per $F_y$

8.99 mm

14.91 mm



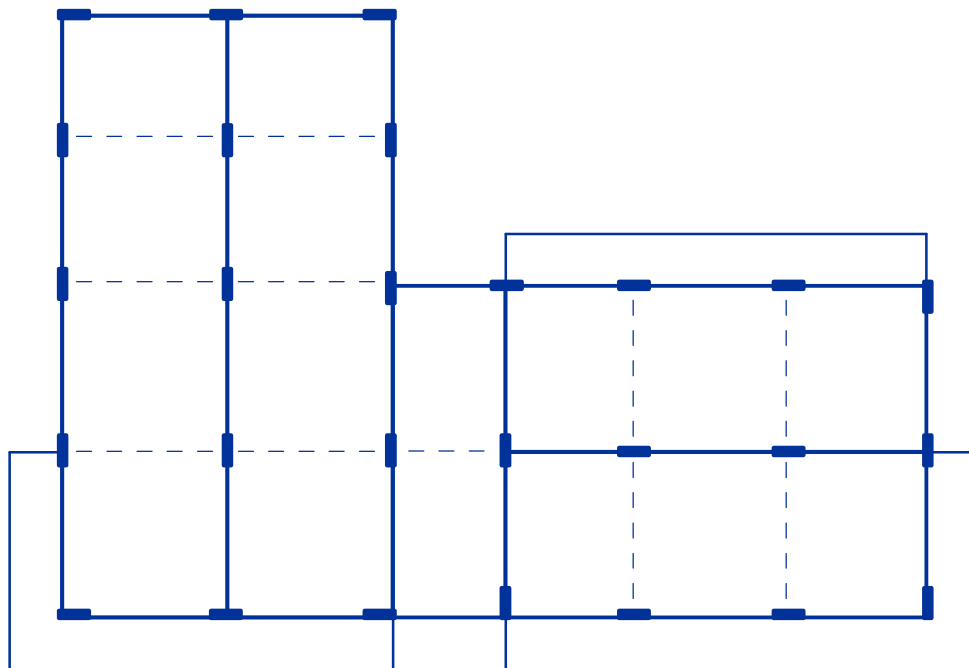
2.67 mm



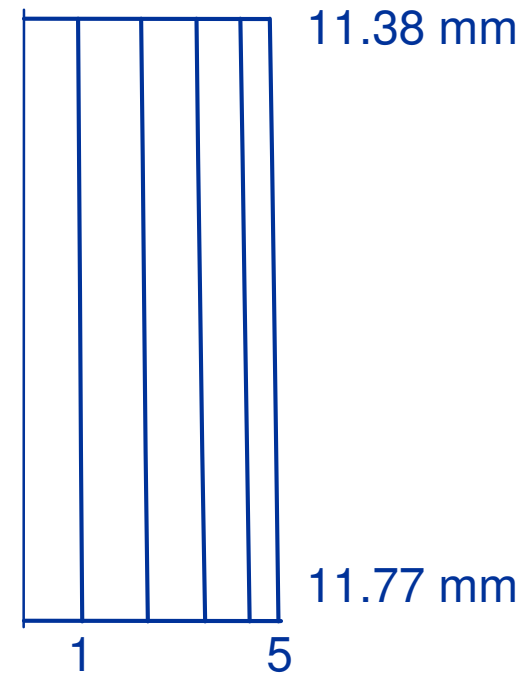
1.54 mm



# Spostamenti



Spostamenti  
per  $F_x$

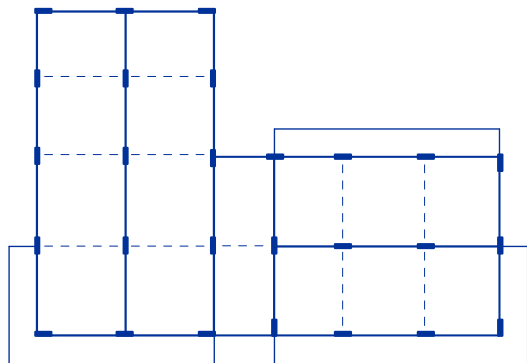
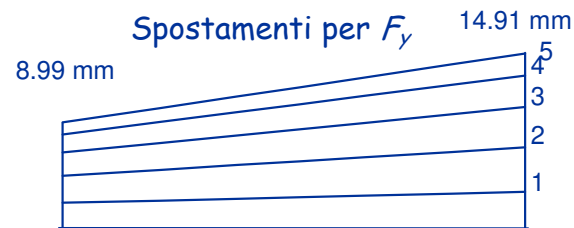


# Spostamenti classe di duttilità "A"

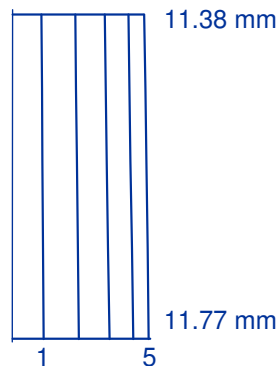
Rotazione non  
trascurabile per forze  
in direzione y



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 dalla forze  $F_i$ )



# Periodo proprio della struttura (direzione x)

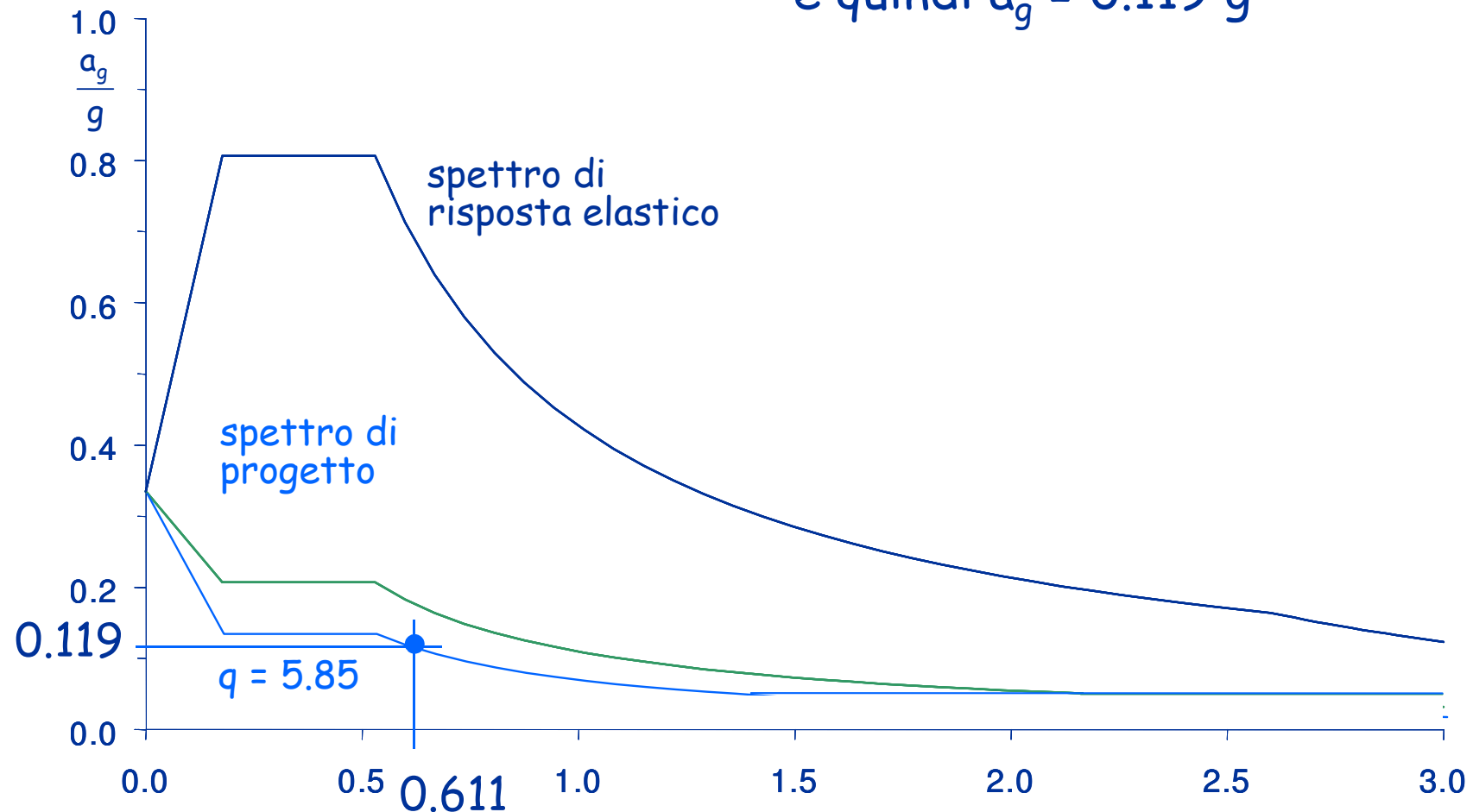
Piano	$m$ (kN s <sup>2</sup> /m)	$F_x$ (kN)	$u_x$ (mm)	$F_x u_x$ (kN m)	$m u_x^2$ (kN m s <sup>2</sup> )
Torrino+V	313.1	506.4	11.628	5888.2	42.34
IV	334.9	435.9	10.307	4492.7	35.58
III	334.9	330.2	8.292	2738.2	23.03
II	334.9	224.6	5.652	1269.2	10.70
I	297.2	105.5	2.646	279.2	2.08
somma				14667.4	113.72

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

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

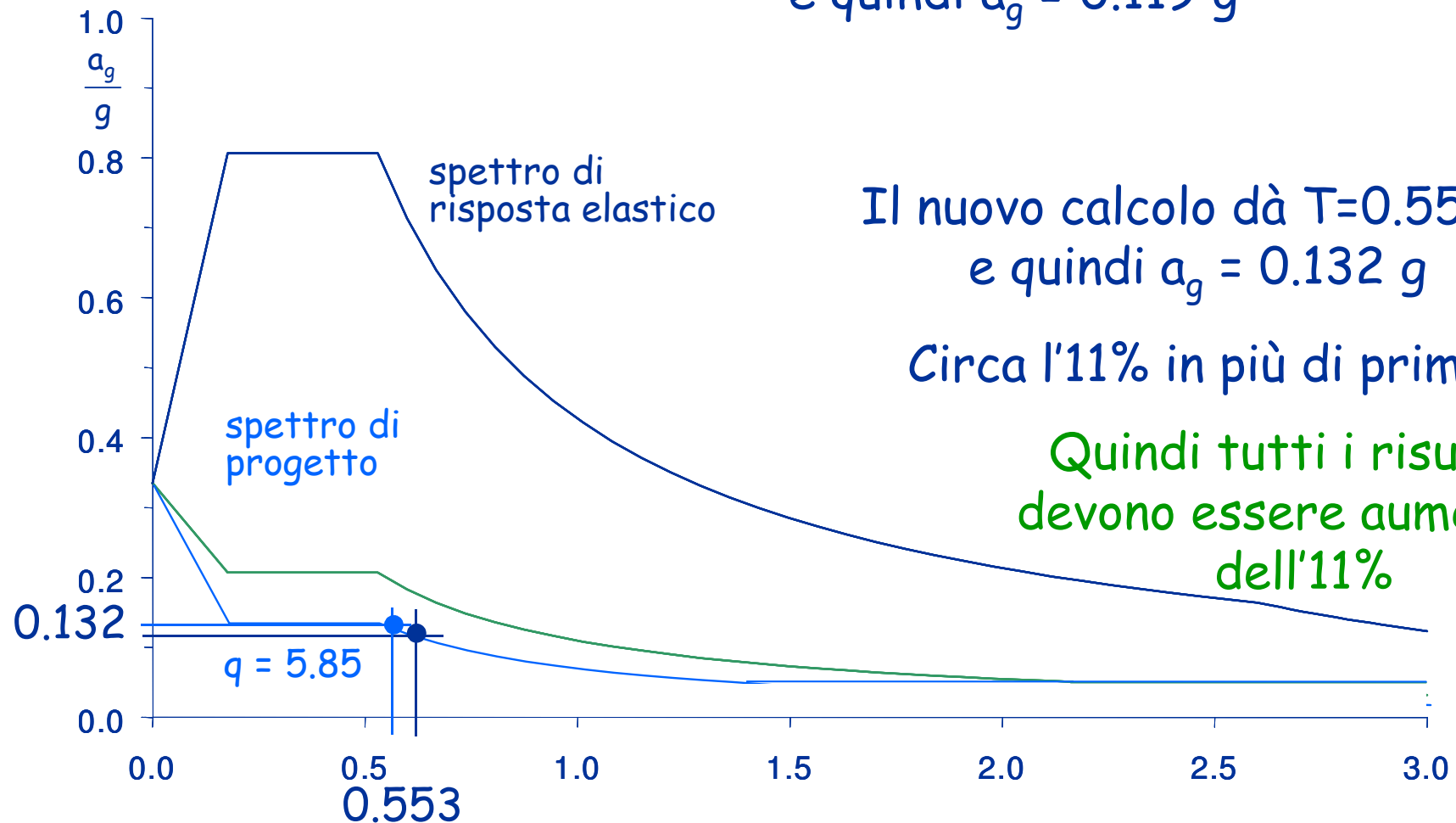
# Esempio - ordinata spettrale

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



# Esempio - ordinata spettrale

Si era ipotizzato  $T=0.611\text{ s}$   
e quindi  $a_g = 0.119\text{ g}$



Il nuovo calcolo dà  $T=0.553\text{ s}$   
e quindi  $a_g = 0.132\text{ g}$

Circa l'11% in più di prima

Quindi tutti i risultati  
devono essere aumentati  
dell'11%

# Sollecitazioni previste - 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			264.8	

# 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	264.8	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	264.8	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

(15-20% a seconda dei piani, di meno al 1° ordine)

# 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

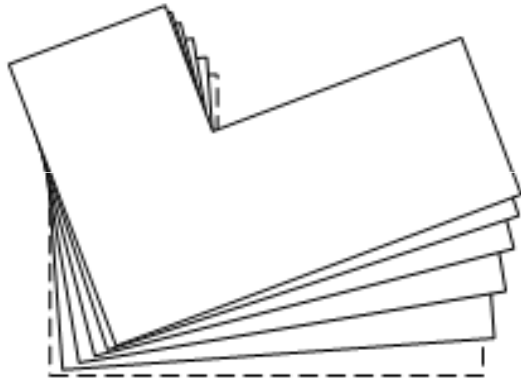
- Esaminare le deformate modali (indipendentemente dalla direzione del sisma)
  - sono disaccoppiate oppure accoppiate?
- Esaminare le masse partecipanti (per ciascuna direzione del sisma) per vedere quali modi danno maggior contributo
  - prevale un solo modo, o più di uno?
- Esaminare i periodi dei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

# Un mare di numeri. Come non perdersi?

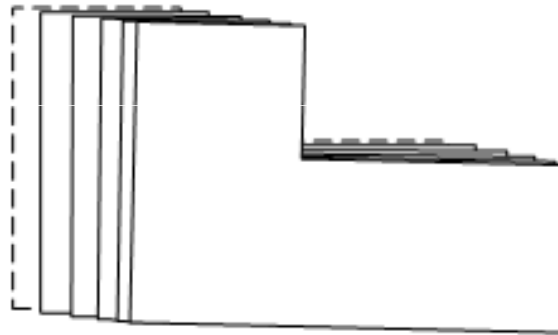
## Analisi modale

- Esaminare l'inviluppo 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?

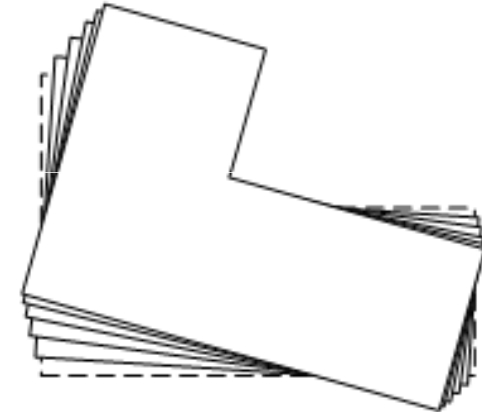
# Deformate modali



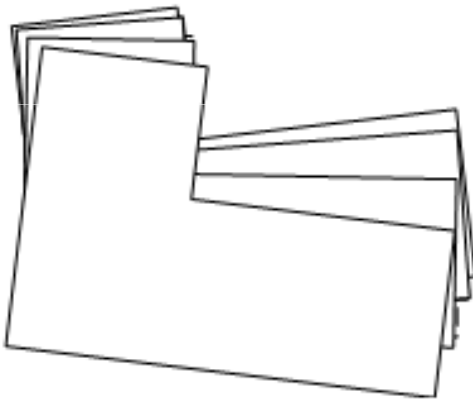
Modo 1  $T = 0.582 \text{ s}$



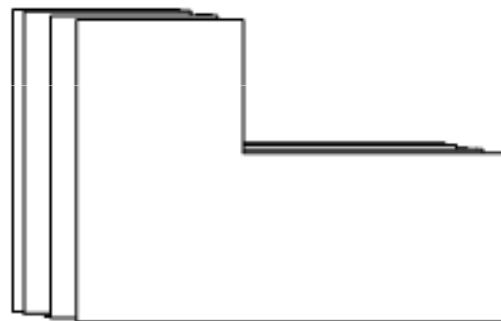
Modo 2  $T = 0.553 \text{ s}$



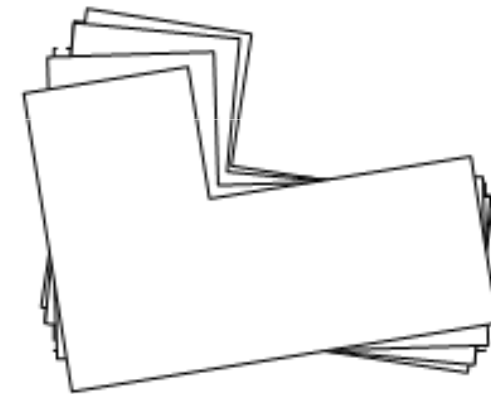
Modo 3  $T = 0.463 \text{ s}$



Modo 4  $T = 0.183 \text{ s}$



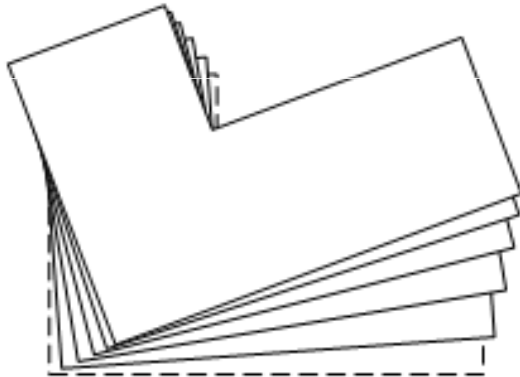
Modo 5  $T = 0.177 \text{ s}$



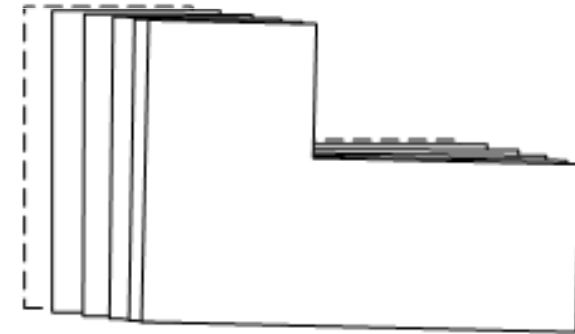
Modo 6  $T = 0.148 \text{ s}$

# Deformate modali

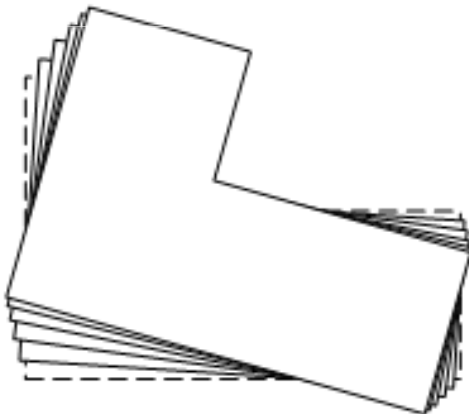
Modo 1  $T = 0.582 \text{ s}$



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



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



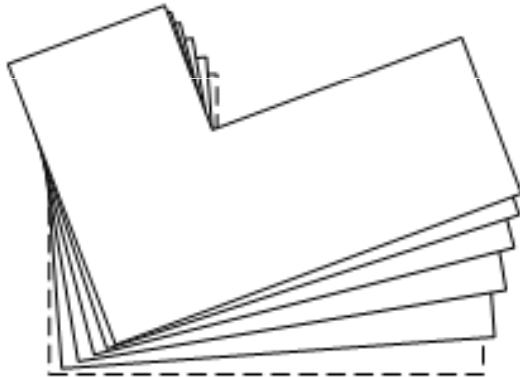
Il modo 2 è sostanzialmente di traslazione secondo x

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

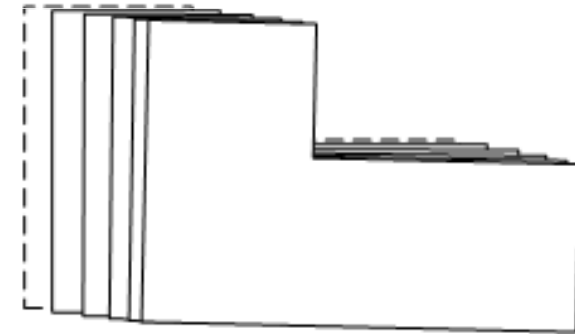


# Deformate modali

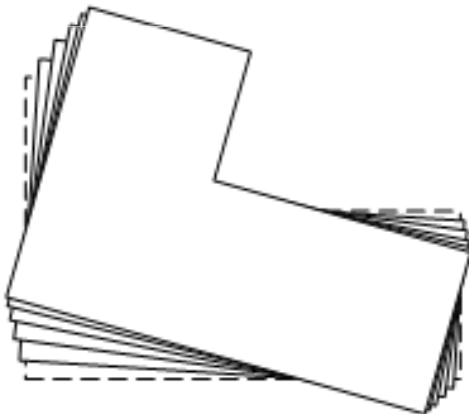
Modo 1  $T = 0.582 \text{ s}$



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



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



La struttura è torsionalmente rigida perché il rapporto tra periodo traslazionale e rotazionale è maggiore di 1

Sarebbe fortemente deformabile torsionalmente se il rapporto fosse  $\leq 0.8$

# Deformate modali

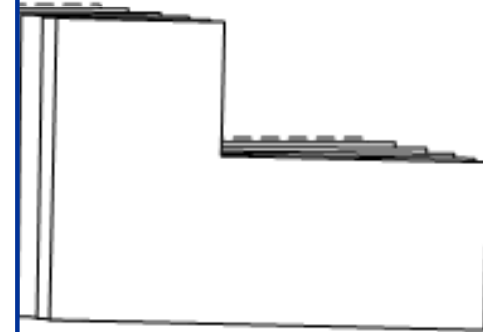
Modo 1



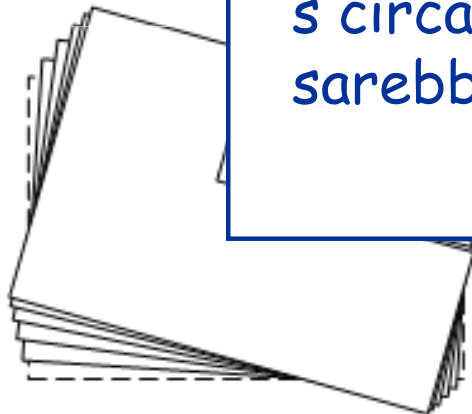
Nota: il confronto dovrebbe essere fatto con riferimento ai modi disaccoppiati (ovvero quelli che si ottengono quando  $C_M = C_R$ )

In questo caso i due modi x e y avrebbero periodo di 0.55 s, quello rotazionale di 0.495 s circa ed il rapporto sarebbe 1.11

$T = 0.553 \text{ s}$



Modo 3

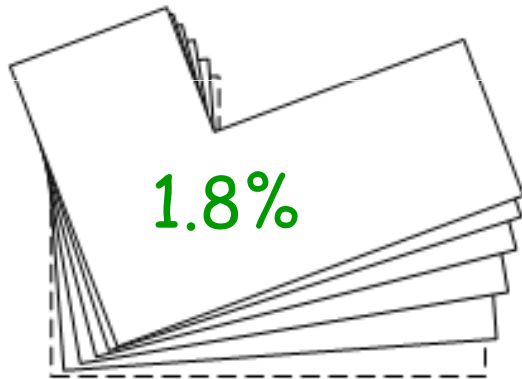


è torsionalmente  
il rapporto tra  
azionale e  
maggiore di 1

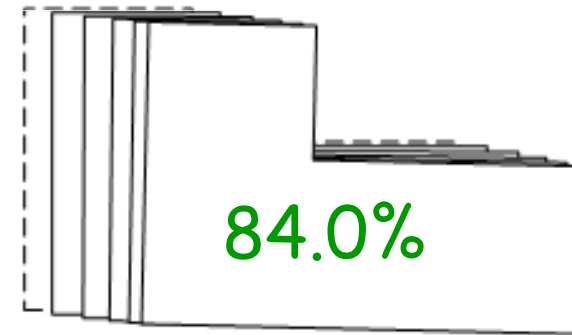
Sarebbe fortemente  
deformabile torsionalmente se il  
rapporto fosse  $\leq 0.8$

# Masse partecipanti, sisma x

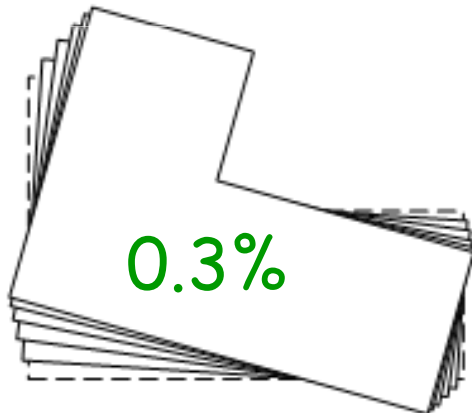
Modo 1  $T = 0.582 \text{ s}$



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



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

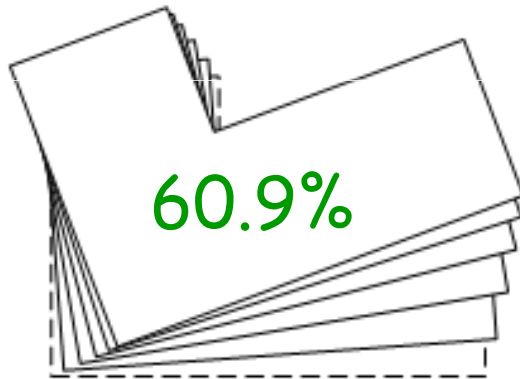


Il modo 2 dà il contributo massimo

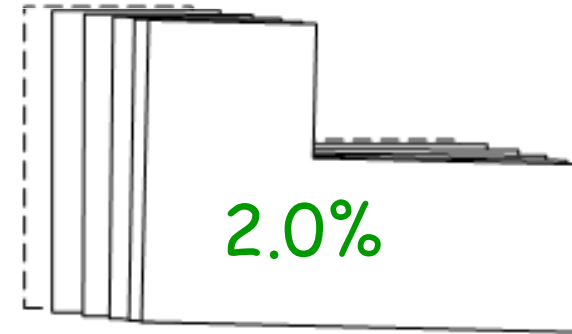
Il modo 5, di traslazione x con spostamenti nei due versi, dà un ulteriore contributo (8.9%)

# Masse partecipanti, sisma y

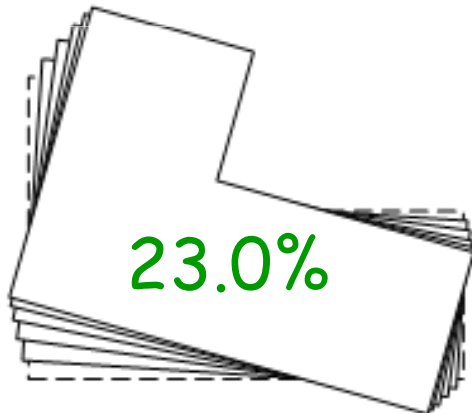
Modo 1  $T = 0.582 \text{ s}$



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



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



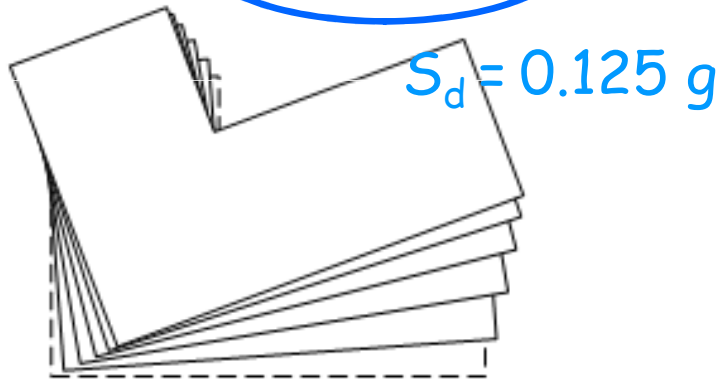
I modi 1 e 3 danno il contributo massimo

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

# Periodi dei modi predominanti

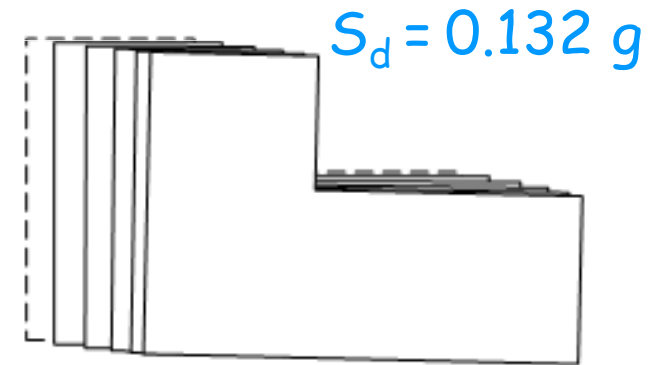
Modo 1

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



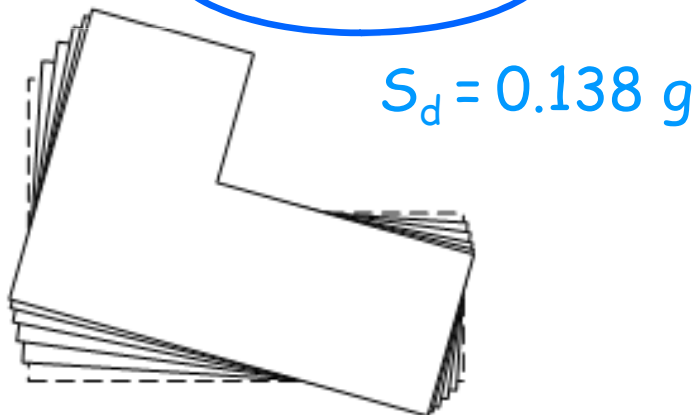
Modo 2

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



Modo 3

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



Periodi stimati: ~~0.611 s~~

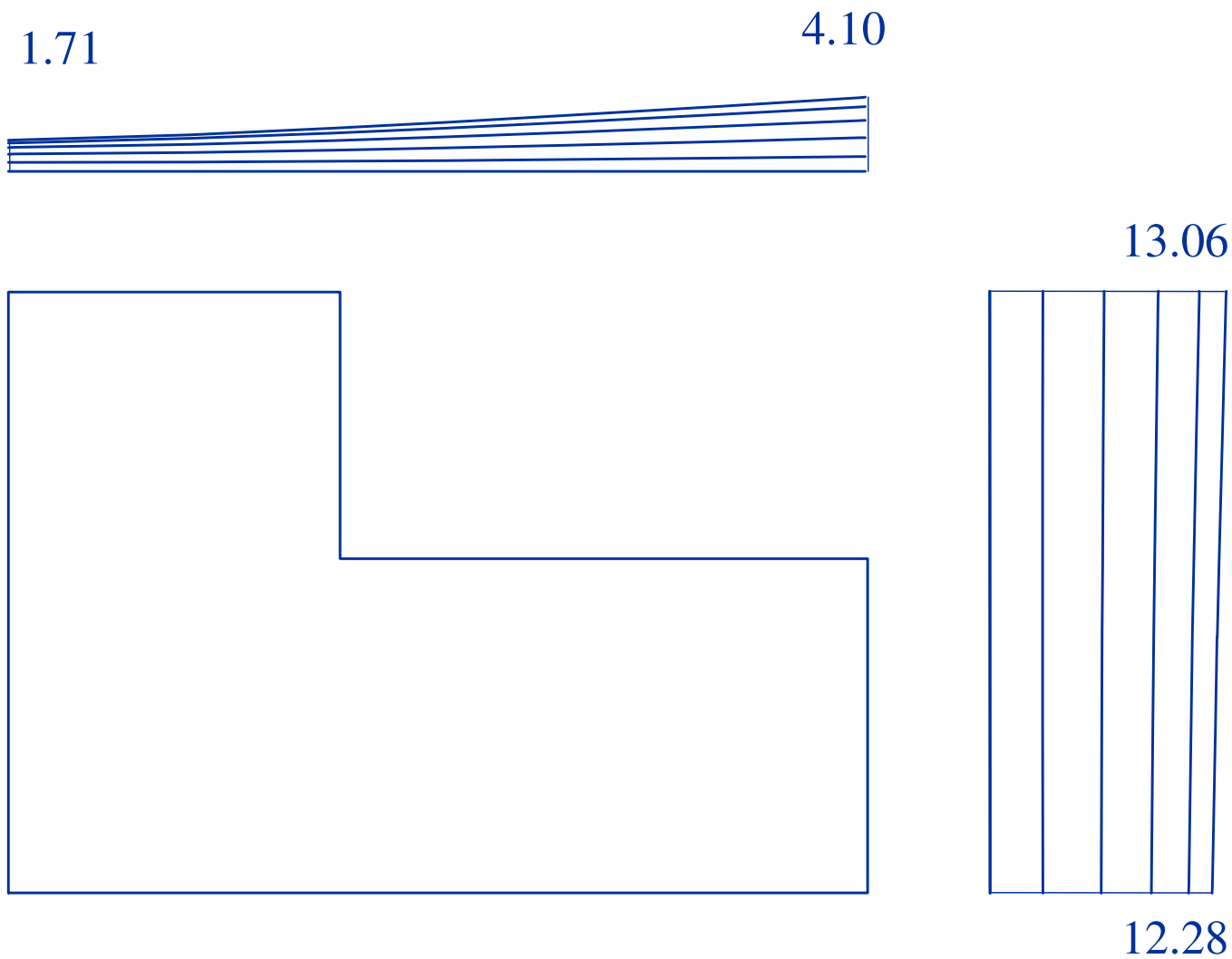
$$T_x = 0.553 \text{ s} \quad S_d = 0.132 \text{ g}$$

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

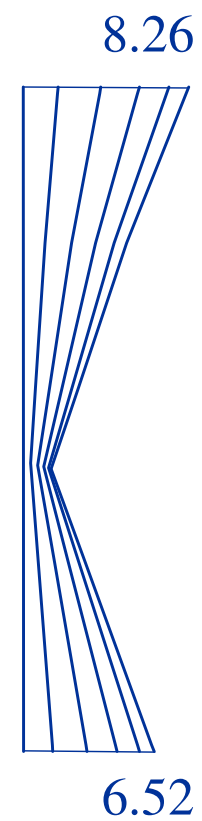
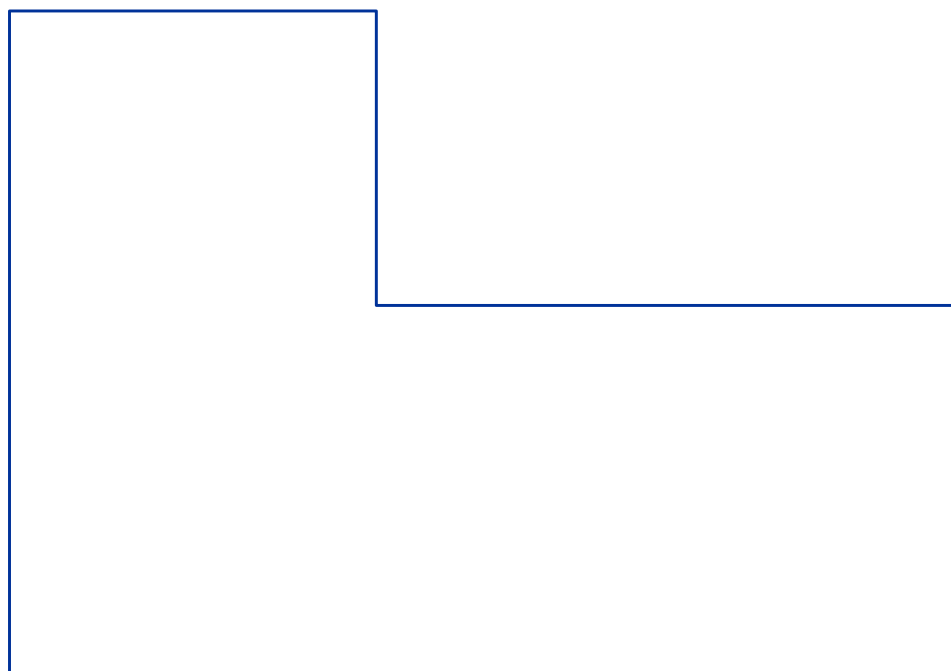
I periodi sono analoghi

Le ordinate spettrali sono  
quindi analoghe

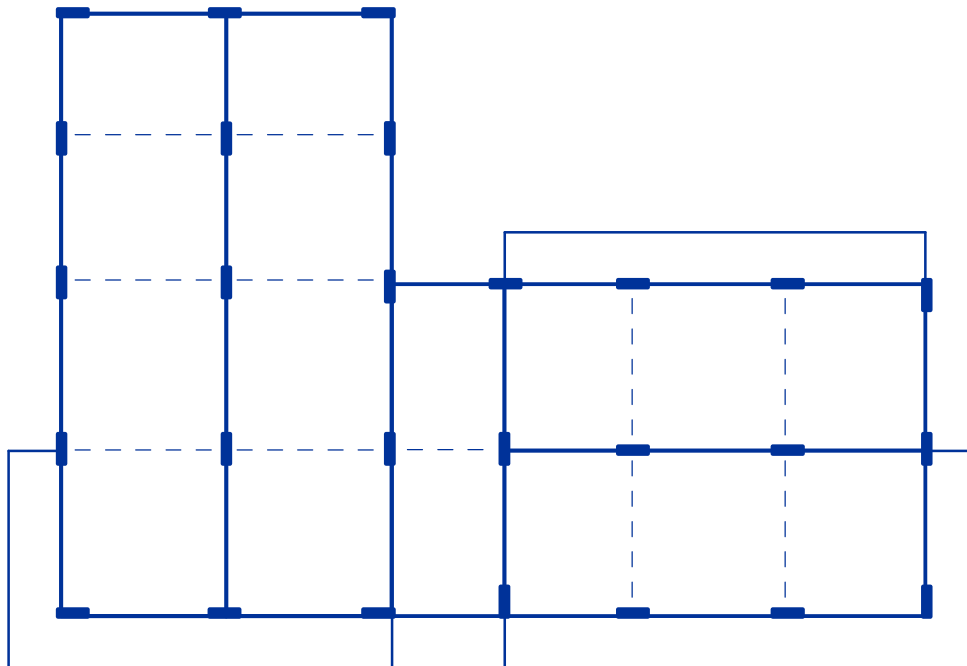
# Inviluppo modale sistema



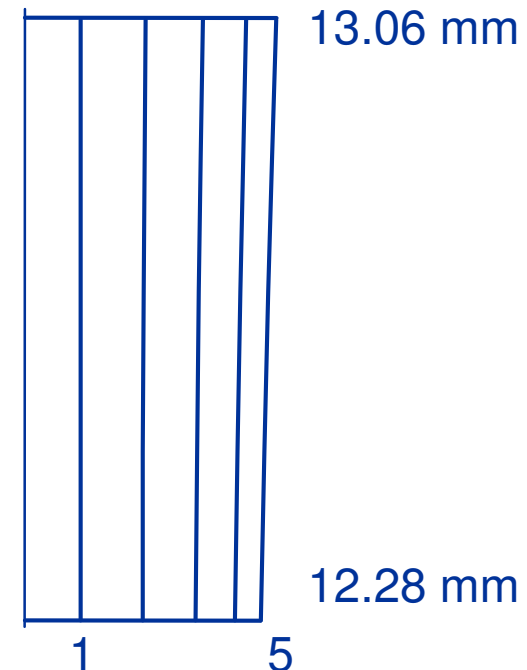
# Inviluppo modale sistema



# Spostamenti, inviluppo modale



Spostamenti  
per sisma x



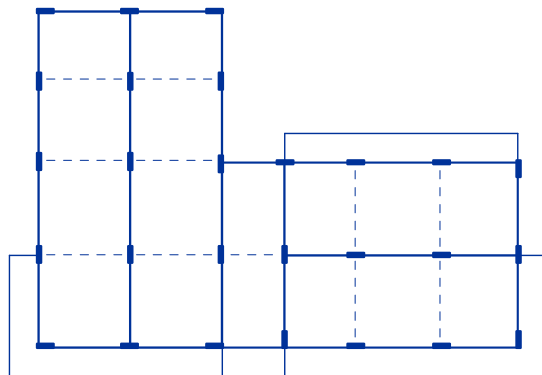


# Spostamenti, inviluppo modale

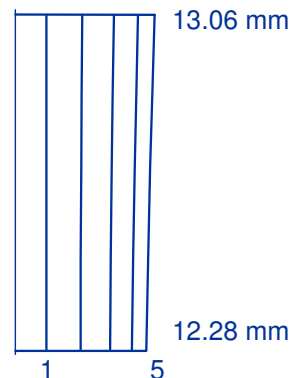
Rotazione non trascurabile per sisma y (spostamenti dovuti ai modi 1 e 3)



La parte destra andrebbe irrigidita



Spostamenti per sisma x

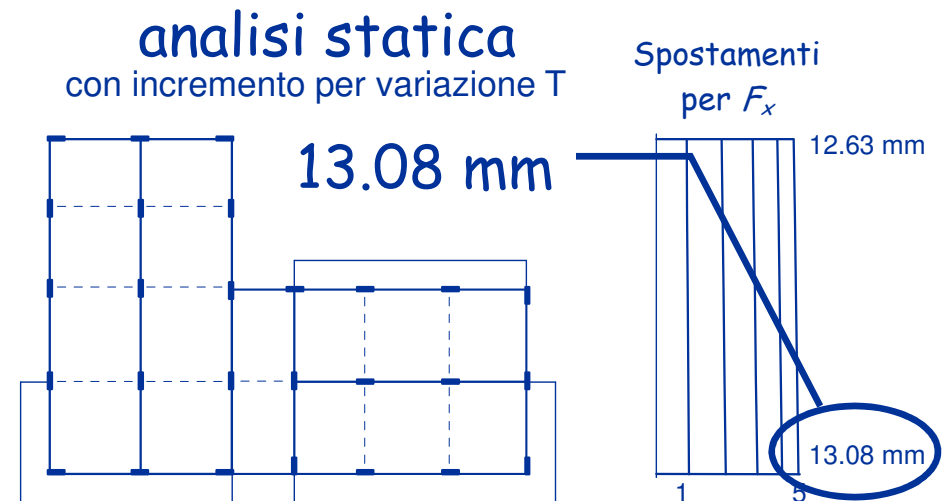
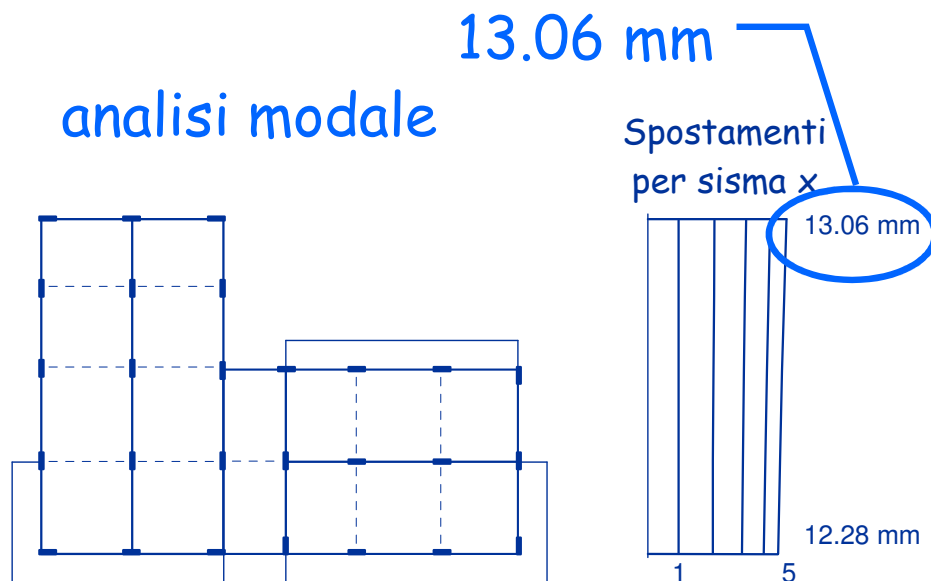


gli spostamenti massimi per sisma y sono maggiori di circa il 50% rispetto a quelli per sisma x

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

# Spostamenti confronto tra analisi modale e statica

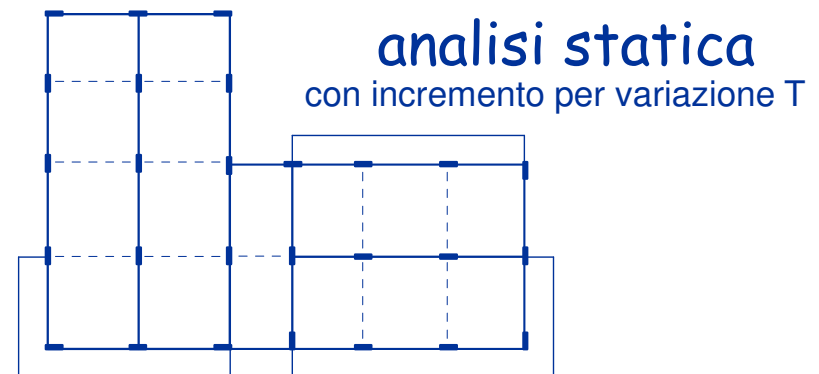
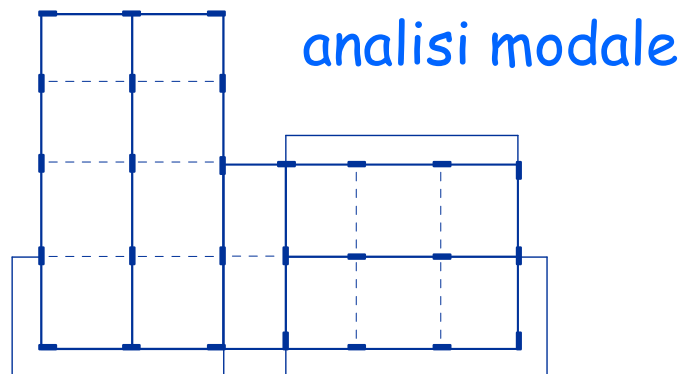
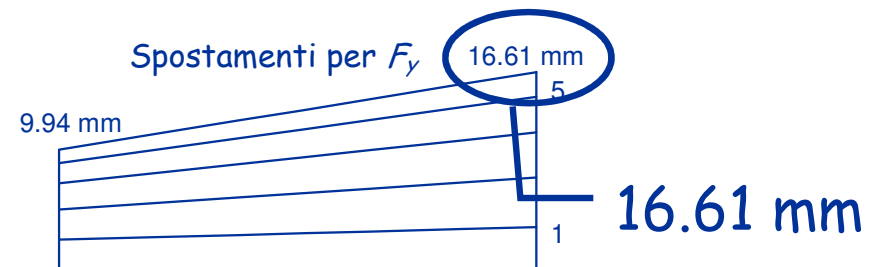
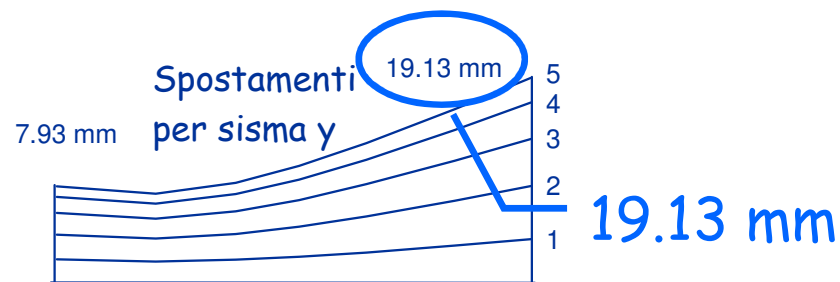
Sisma x: analisi modale - spostamenti uguali



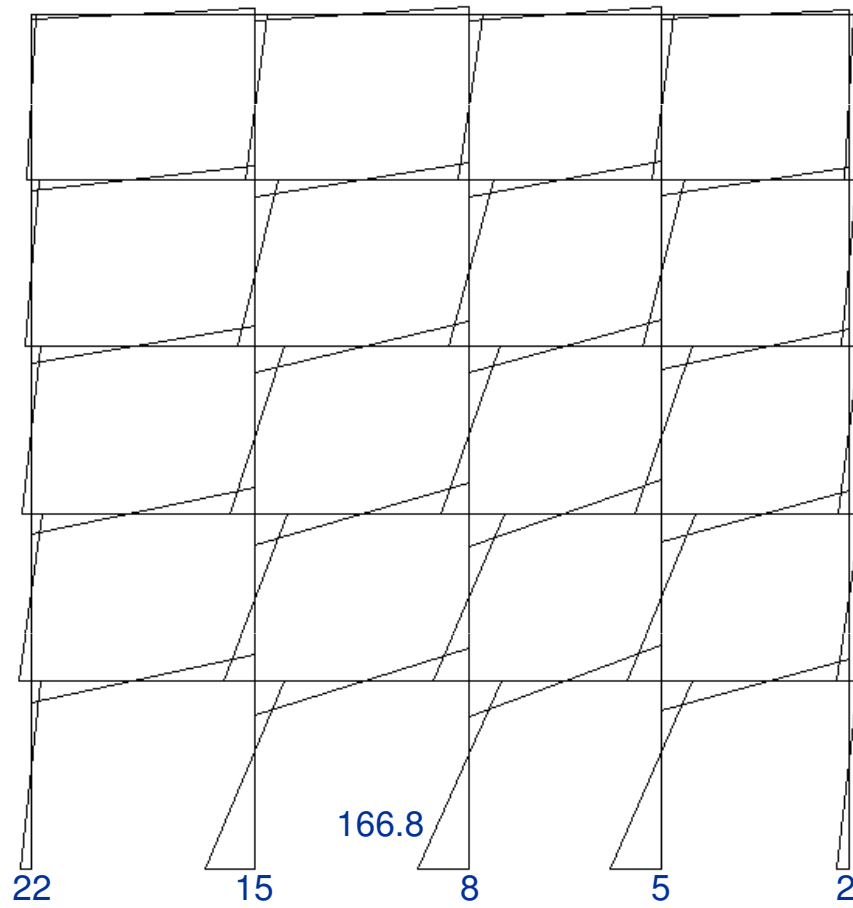
# Spostamenti confronto tra analisi modale e statica

Sisma y: l'analisi modale accentua la rotazione

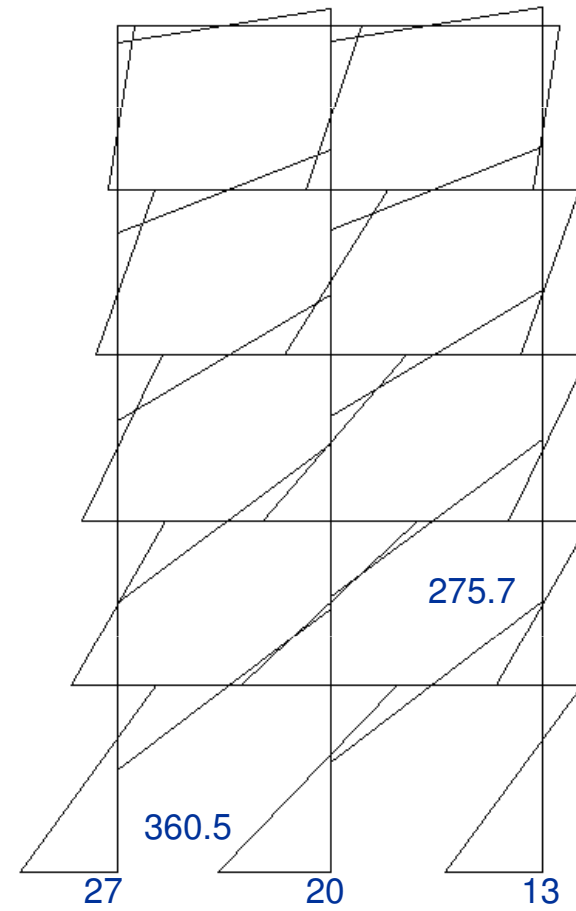
lato destro - spostamenti maggiori (25%)  
lato sinistro - spostamenti minori



# 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

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

+11%

# 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

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 (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%

# Commento

- La struttura, così come è attualmente dimensionata, presenta un comportamento rotazionale non accettabile (nettamente non bilanciato).  
Anziché andare avanti con il suo esame, si dovrebbe fin d'ora pensare a come modificarla per eliminare questo problema
- Si continua ad esaminarla ed a valutare l'effetto di eccentricità accidentale e combinazione delle azioni nelle due direzioni principalmente a fini didattici, ma anche per evidenziare come il comportamento non bilanciato sia aggravato da questi ulteriori aspetti.

Eccentricità accidentale

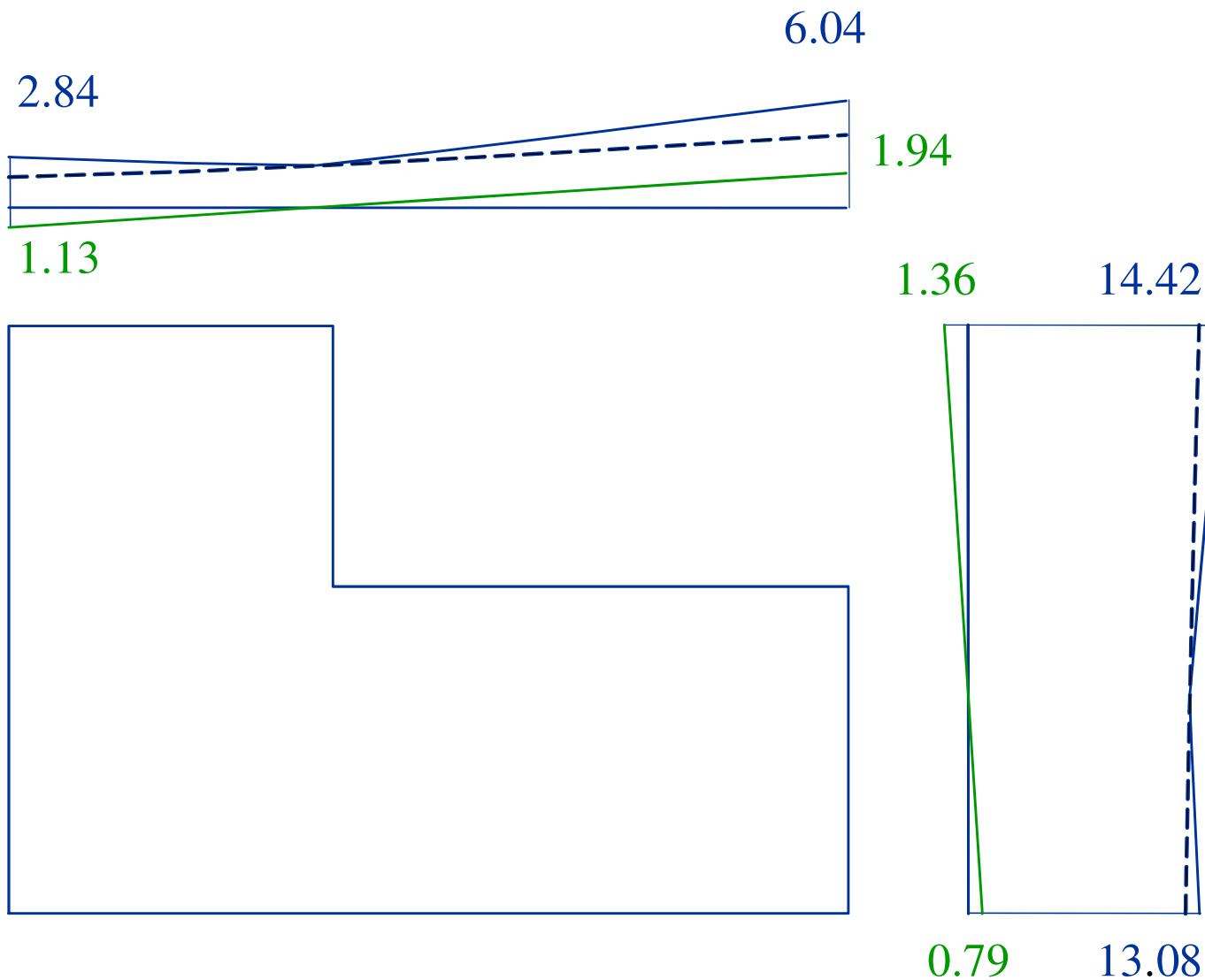
# Eccentricità accidentale

## Esame dei risultati

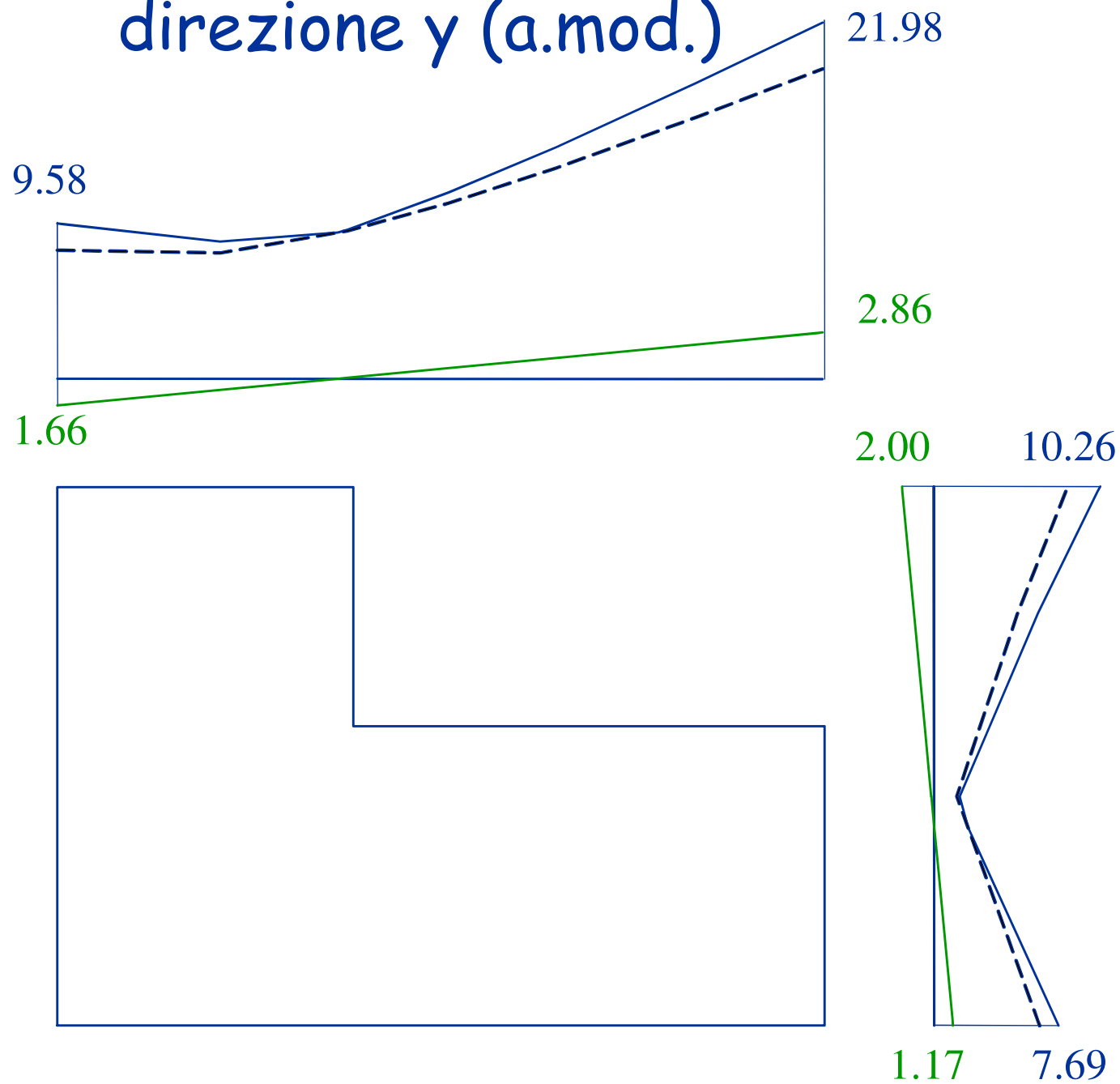
- Esaminare per ciascuna delle due direzioni gli spostamenti prodotti dalle coppie e confrontarli con quelli prodotti dalle forze
  - l'effetto delle coppie è lo stesso a tutti i piani?
  - la sua entità è comparabile con quanto previsto?
- Esaminare i momenti massimi nei pilastri e nelle travi e confrontarli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

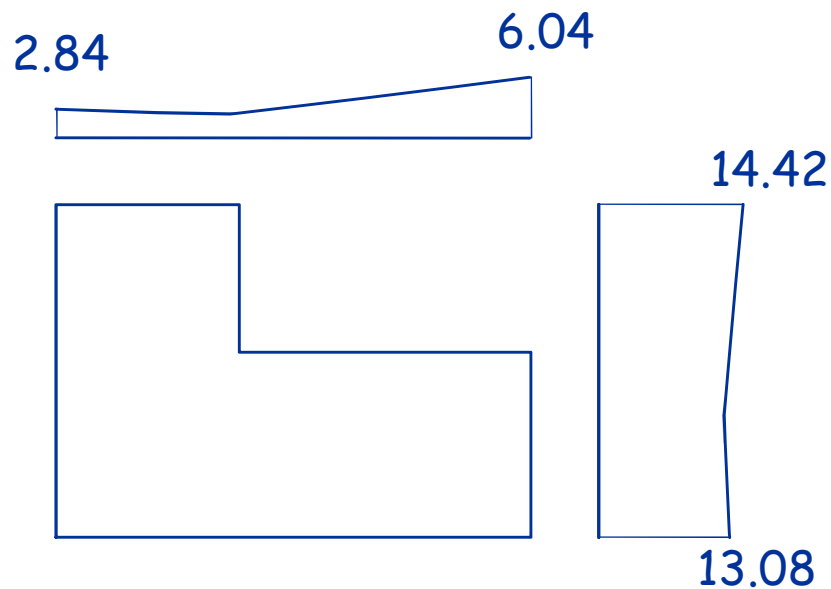
# Le componenti orizzontali

"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"

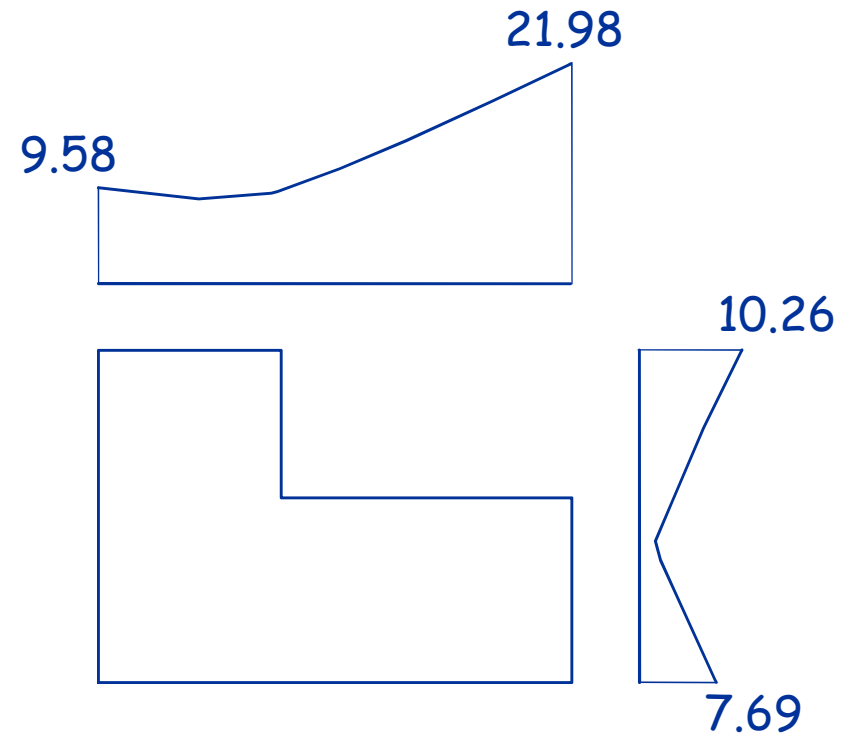
In che modo capire quanta importanza ha questa combinazione?

Ragioniamo ancora esaminando gli spostamenti

# Effetto complessivo del sisma separatamente nelle due direzioni

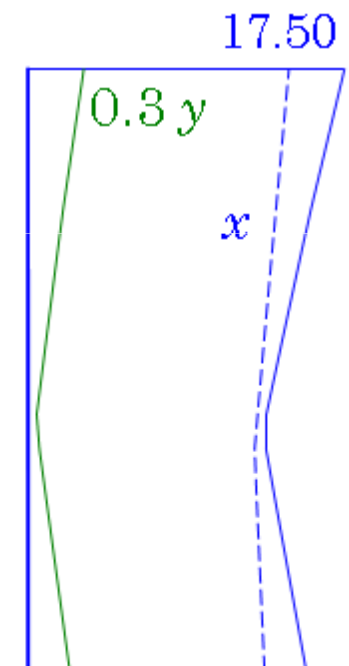
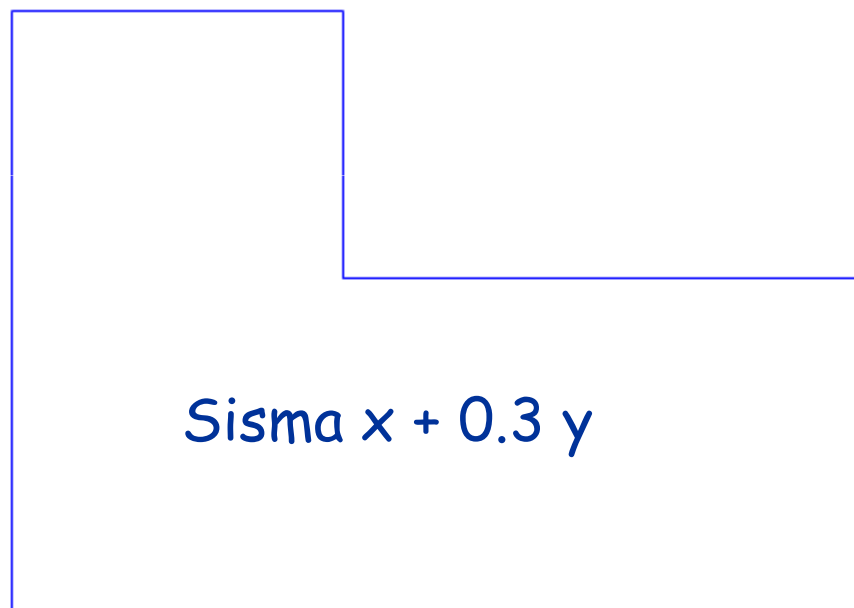
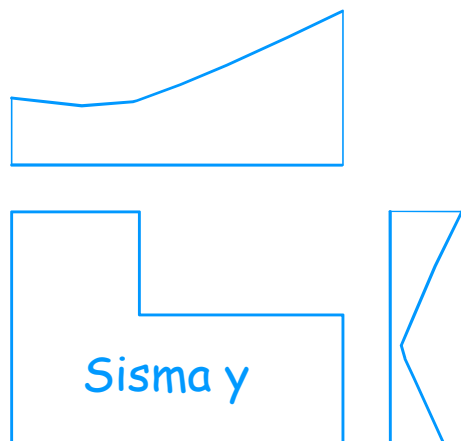
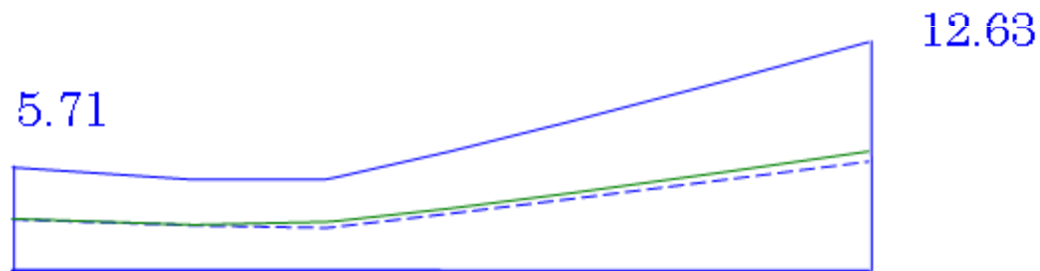
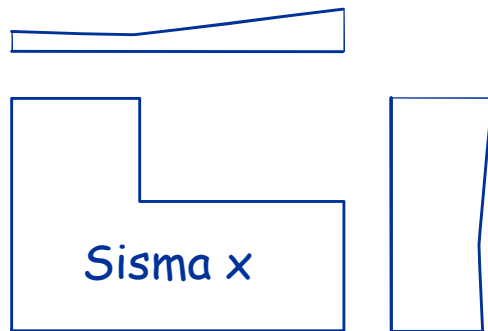


Sisma in  
direzione x



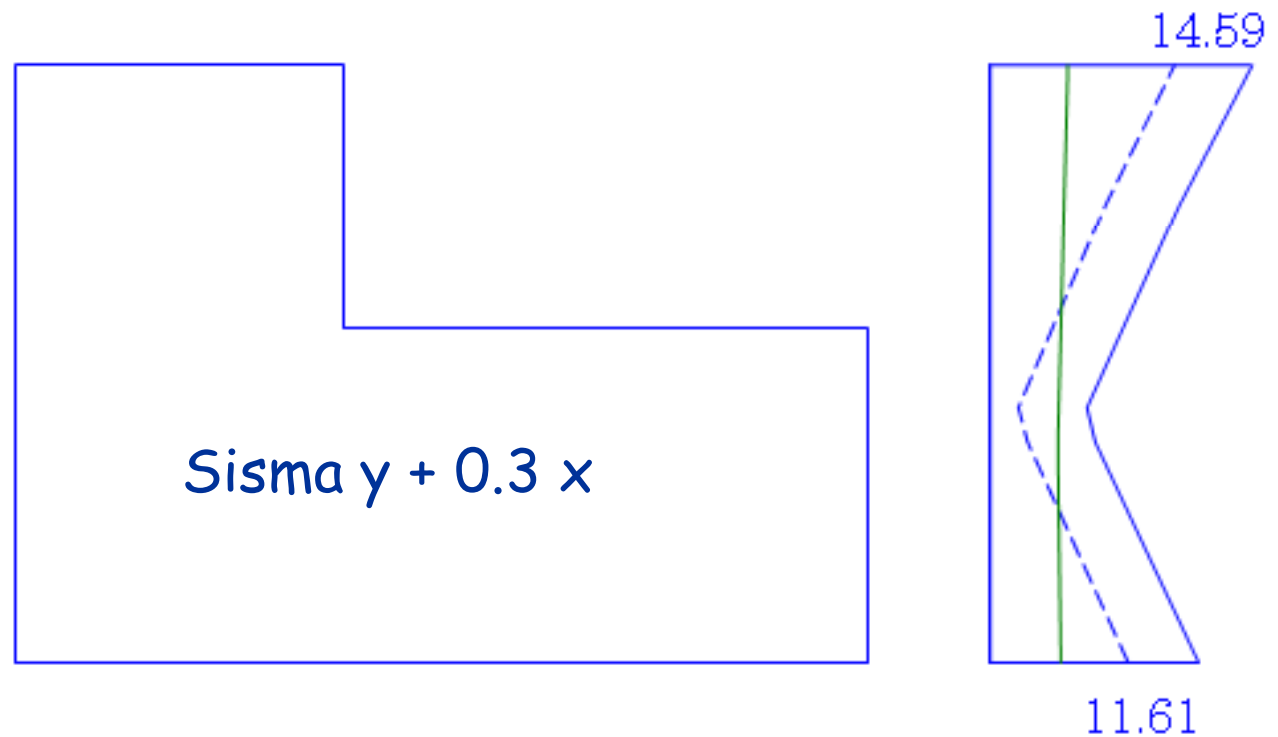
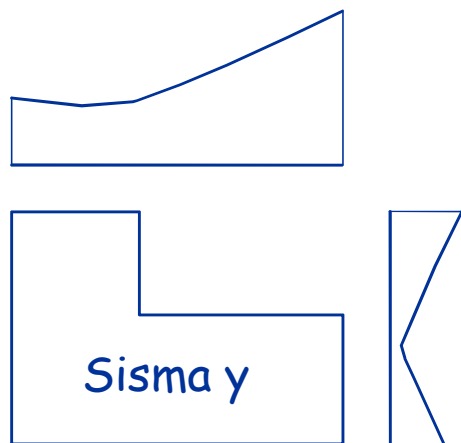
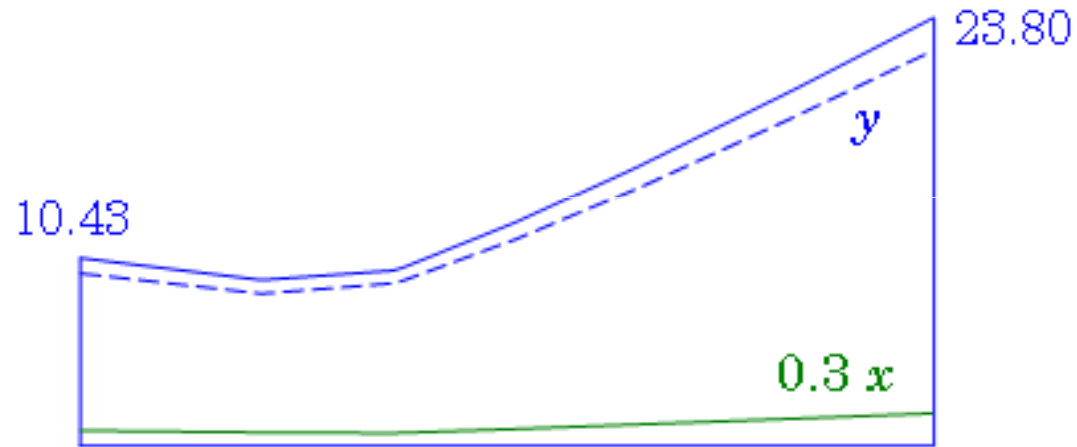
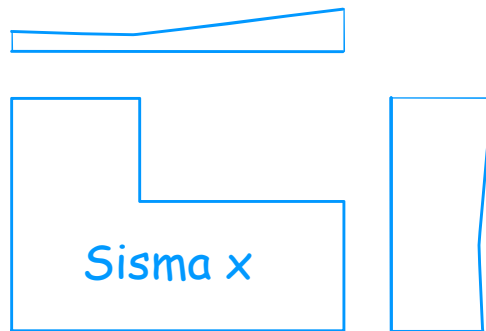
Sisma in  
direzione y

# 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

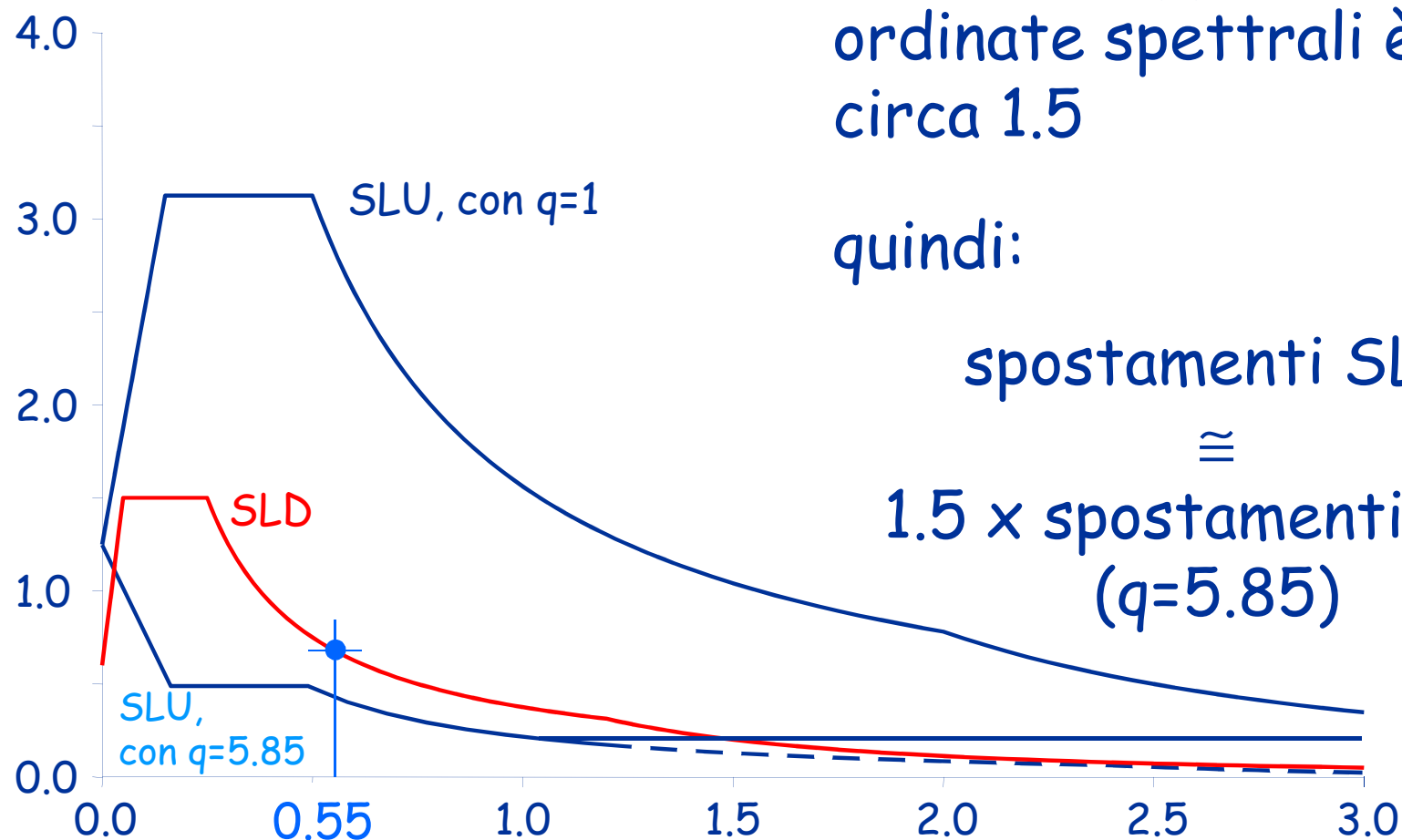
nel caso in esame, per  
un periodo pari a circa  
0.55 s il rapporto tra le  
ordinate spettrali è  
circa 1.5

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

# 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