

Corso di aggiornamento  
Progettazione strutturale e  
Norme Tecniche per le Costruzioni 2008

**Validazione del progetto strutturale  
secondo le indicazioni del capitolo 10 delle NTC08**

4 - Esame dei risultati del calcolo

Aula magna dell'ITCG G. Spagna, Spoleto

1 febbraio 2012

Aurelio Ghersi

# Schemi di carico da considerare

## carichi verticali e masse

Quali carichi verticali e quali masse considerare in accoppiata al sisma?

Vecchia norma

- Carichi verticali massimi ( $g_k+q_k$ ) per TA, ( $g_d+q_d$ ) per SLU
- Masse ridotte ( $g_k+s q_k$ ) [forze x 1.5 per SLU]

Nuova norma

- Carichi verticali e masse con valori quasi permanenti ( $g_k+\psi_2 q_k$ )

# Valutazione delle masse per SLU

## secondo le NTC 08

$$W = g_k + \psi_2 q_k$$

$\psi_2 q_k$  = valore quasi permanente del carico variabile

$\psi_2$

Categoria A. Ambienti ad uso residenziale	0.3
Categoria B. Uffici	0.3
Categoria C. Ambienti suscettibili di affollamento	0.6
Categoria D. Ambienti ad uso commerciale	0.6
Categoria E. Biblioteche, archivi, magazzini e ambienti ad uso industriale	0.8
Categoria F. Rimesse e parcheggi (per autoveicoli di peso $\leq 30$ kN)	0.6
Categoria G. Rimesse e parcheggi (per autoveicoli di peso $> 30$ kN)	0.3
Categoria H. Coperture	0.0
Vento	0.0
Neve (a quota $\leq 1000$ m s.l.m.)	0.0
Neve (a quota $> 1000$ m s.l.m.)	0.2
Variazioni termiche	0.0

Altri problemi  
nella modellazione delle azioni sismiche

# Schemi di carico da considerare altri problemi nella modellazione delle azioni

1. 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
2. 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

# Modellazione delle azioni

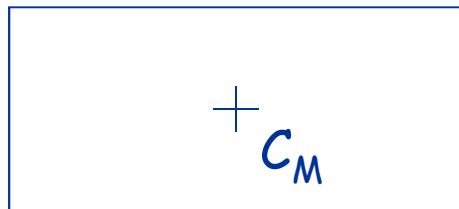
## 1. Eccentricità accidentale

“Per tenere conto della variabilità spaziale del moto sismico, nonché di eventuali incertezze nella localizzazione delle masse, al centro di massa deve essere attribuita una eccentricità accidentale rispetto alla sua posizione quale deriva dal calcolo”

“Per i soli edifici ed in assenza di più accurate determinazioni l'eccentricità accidentale in ogni direzione non può essere considerata inferiore a 0,05 volte la dimensione dell'edificio misurata perpendicolarmente alla direzione di applicazione dell'azione sismica. Detta eccentricità è assunta costante, per entità e direzione, su tutti gli orizzontamenti”

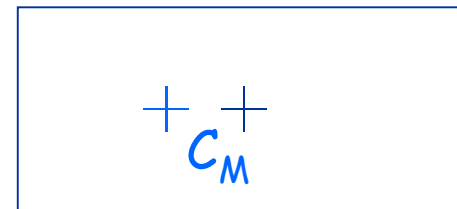
# Distribuzione effettiva delle masse

L'aliquota di carichi variabili presente in occasione del sisma potrebbe non essere uniformemente distribuita nell'edificio



Edificio

oppure



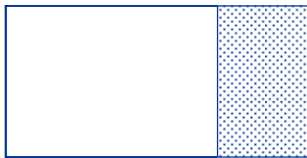
Edificio

Il centro di massa deve quindi essere spostato di una quantità detta "eccentricità accidentale"

# Eccentricità accidentale

## Perché il 5% ?

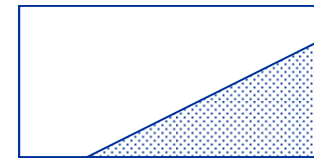
Se si applica il carico variabile massimo su un'area pari a  $\psi_2 \times$  area totale si ottiene un'eccentricità nettamente minore



$$e_{a1} = 0.021 L_1$$



$$e_{a2} = 0.021 L_2$$



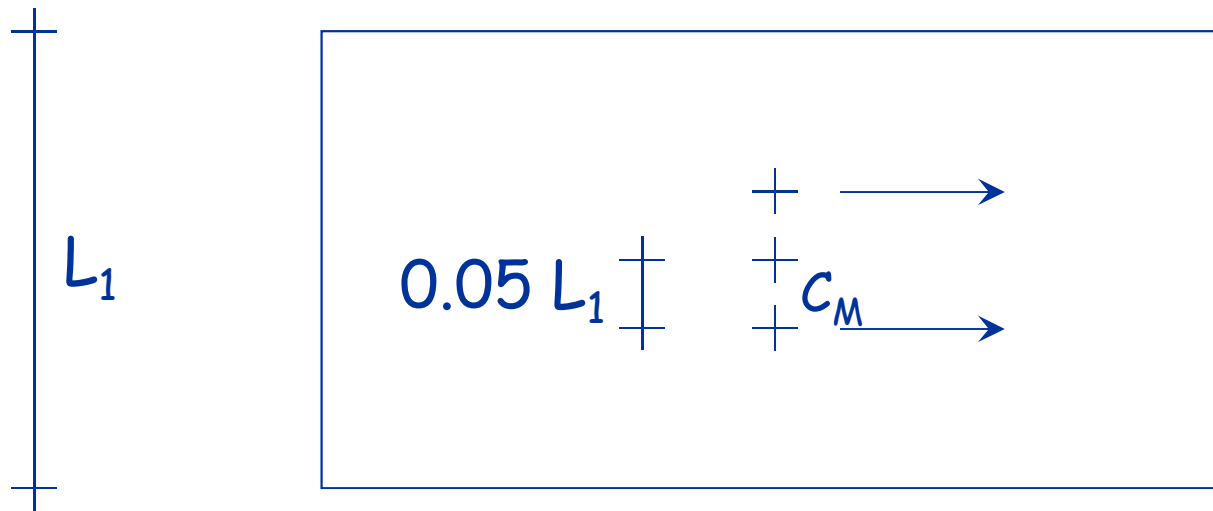
$$e_{a1} = 0.015 L_1$$
$$e_{a2} = 0.015 L_2$$

Il valore 0.05 è maggiore, per tener conto di:

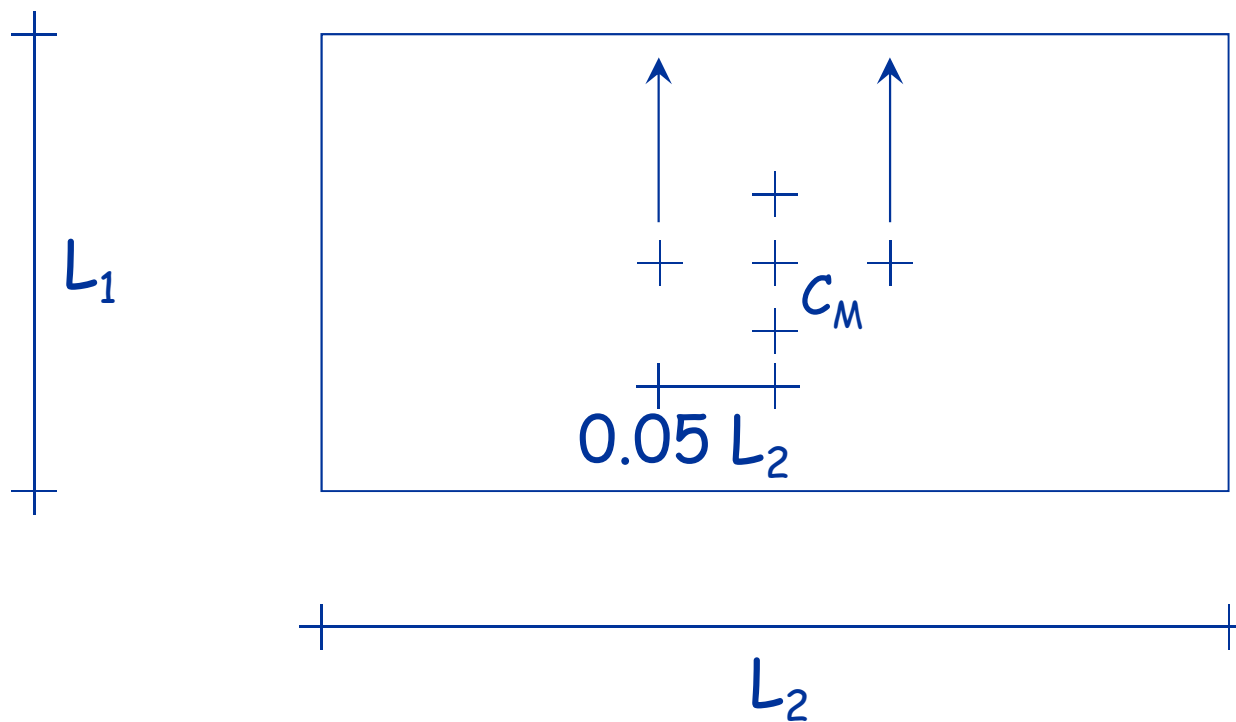
- amplificazione della rotazione per effetti dinamici
- rotazione per lo sfasamento dell'onda sismica da un estremo all'altro dell'edificio



# Eccentricità accidentale



# Eccentricità accidentale



Aumentano, di molto, le  
combinazioni di carico

# Eccentricità accidentale

## Come tenerne conto?

Effettuando più volte l'analisi modale, considerando il centro di massa spostato di una quantità pari a  $e_a$

oppure

Considerando le forze statiche applicate al centro di massa spostato di una quantità pari a  $e_a$

ovvero

Considerando l'effetto di coppie pari alle forze statiche per l'eccentricità  $e_a$

# Eccentricità accidentale

## Come tenerne conto?

Preferisco questa impostazione perché così:

- riduco il numero di schemi base di calcolo da controllare
- giudico più facilmente l'effetto della eccentricità accidentale
- evito di accentuarne l'effetto (l'eccentricità  $e_a$  è già amplificata per tener conto di effetti dinamici)

Considerando l'effetto di coppie pari alle forze statiche per l'eccentricità  $e_a$

# Modellazione delle azioni

## 2. Combinazione delle componenti

Le componenti orizzontali e verticali del sisma agiscono simultaneamente

Esse però non sono correlate  
(i massimi si raggiungono in istanti diversi)

Come combinarle?

Criterio generale (NTC 08, punto 7.3.5):

sommare

- gli effetti massimi di una componente dell'azione
- il 30% dei massimi prodotti dalle altre componenti

# Componente verticale

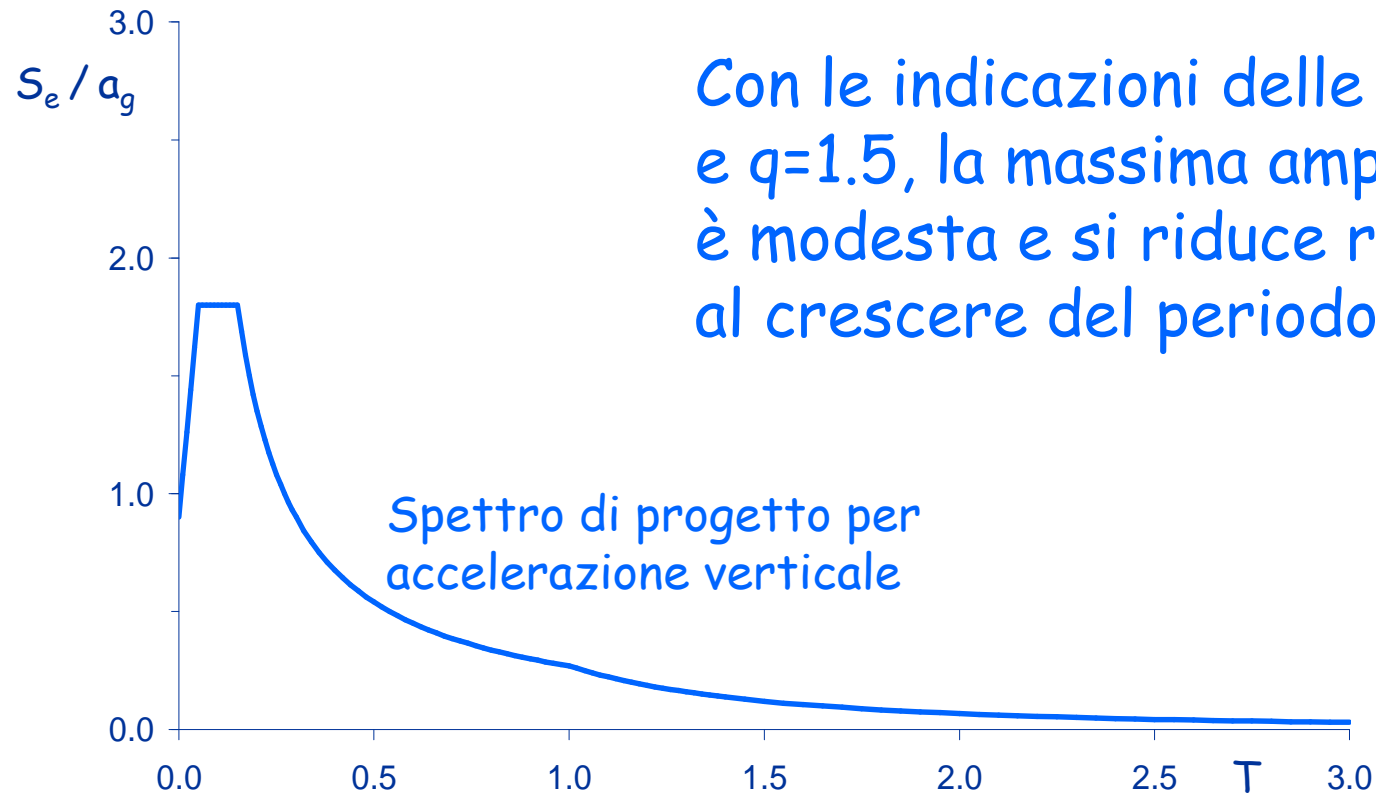
Se ne tiene conto solo per:

- Elementi con luce maggiore di 20 m
- Solai precompressi di luce superiore a 8 m
- Sbalzi di luce superiore a 4 m
- Elementi spingenti
- Pilastri in falso
- Edifici con piani sospesi

Si noti che l'accelerazione spettrale dipende dal periodo e dalla zona sismica

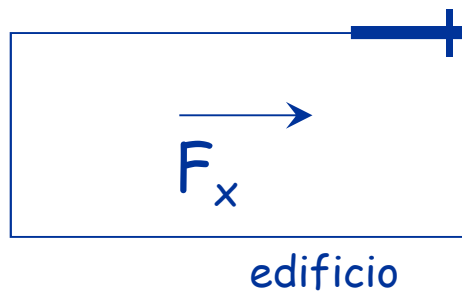
## Componente verticale considerazioni

$$F_v = 1.35 F_o \sqrt{a_g / g}$$

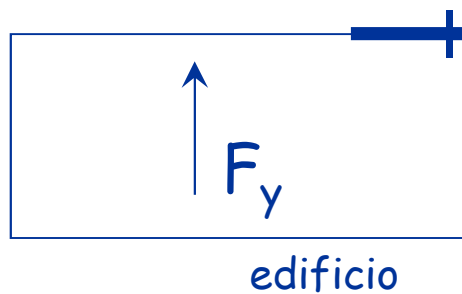


# Componenti orizzontali per le travi

Azione in una direzione più 30% di azione nell'altra



$$M = 230 \text{ kNm}$$



$$M = 50 \text{ kNm}$$

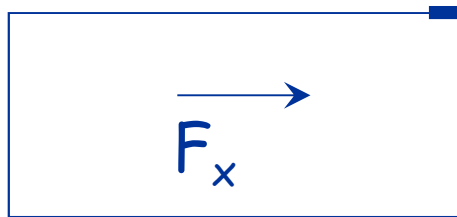
causato dalla  
rotazione

$$\begin{aligned} M_d &= 230 + 0.3 \times 50 = \\ &= 245 \text{ kNm} \end{aligned}$$



# Componenti orizzontali per i pilastri

Stesso criterio,  
ma occorre tener conto  
della direzione del sisma prevalente

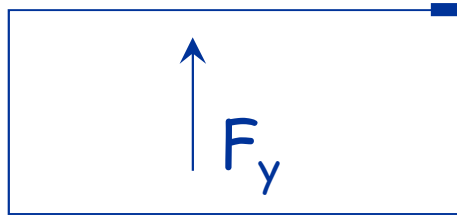


edificio

$$M_y = 280 \text{ kNm}$$

$$M_x = 45 \text{ kNm}$$

causato dalla  
rotazione

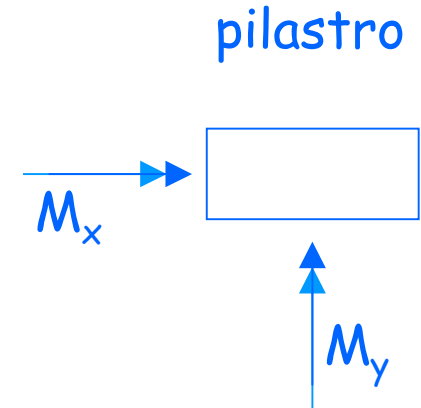


edificio

$$M_y = 50 \text{ kNm}$$

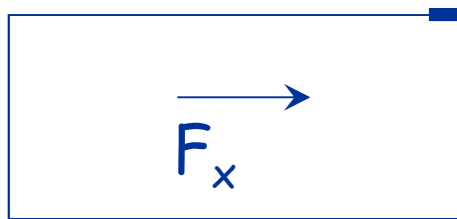
causato dalla  
rotazione

$$M_x = 105 \text{ kNm}$$



# Componenti orizzontali per i pilastri

Stesso criterio,  
ma occorre tener conto  
della direzione del sisma prevalente

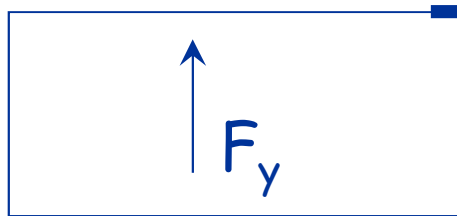


edificio

$$M_y = 280 \text{ kNm}$$

$$M_x = 45 \text{ kNm}$$

causato dalla  
rotazione



edificio

$$M_y = 50 \text{ kNm}$$

causato dalla  
rotazione

$$M_x = 105 \text{ kNm}$$

Sisma prevalente  
in direzione x

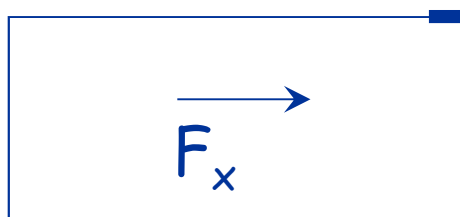
$$M_{d,y} = 280 + 0.3 \times 50 =$$
$$= 295 \text{ kNm}$$

$$M_{d,x} = 45 + 0.3 \times 105 =$$
$$= 77 \text{ kNm}$$

Verifica a presso-  
flessione deviata

# Componenti orizzontali per i pilastri

Stesso criterio,  
ma occorre tener conto  
della direzione del sisma prevalente

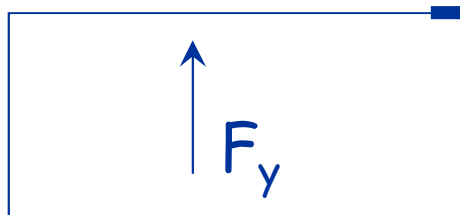


edificio

$$M_y = 280 \text{ kNm}$$

$$M_x = 45 \text{ kNm}$$

causato dalla  
rotazione



edificio

$$M_y = 50 \text{ kNm}$$

causato dalla  
rotazione

$$M_x = 105 \text{ kNm}$$

Sisma prevalente  
in direzione y

$$M_{d,y} = 50 + 0.3 \times 280 = 134 \text{ kNm}$$

$$M_{d,x} = 105 + 0.3 \times 45 = 119 \text{ kNm}$$

Verifica a presso-  
flessione deviata

# Componenti orizzontali per i pilastri

Nota:

Allo SLU, la pressoflessione deviata è molto meno gravosa che alle TA

Se la struttura è ben dimensionata, cioè ha rotazioni non elevate, si può progettare a pressoflessione retta, separatamente per le due direzioni, mantenendosi appena in abbondanza

La verifica a pressoflessione deviata sarà quasi sicuramente soddisfatta

# Analisi strutturale

Nel passato:

- Carichi verticali, col loro valore massimo  $g_k + q_k$  se si usa il metodo delle tensioni ammissibili
- Forze in direzione  $x$ , con analisi statica o modale; masse valutate con  $g_k + s q_k$
- Forze in direzione  $y$

Quindi:

- 3 schemi base
- da combinare in 4 schemi
  - $q \pm F_x$
  - $q \pm F_y$

# Analisi strutturale

Oggi, 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 più 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,  
 $q - F_x + e_{ay} - 0.3 F_y - e_{ax}$  ?)

Inviluppo 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?

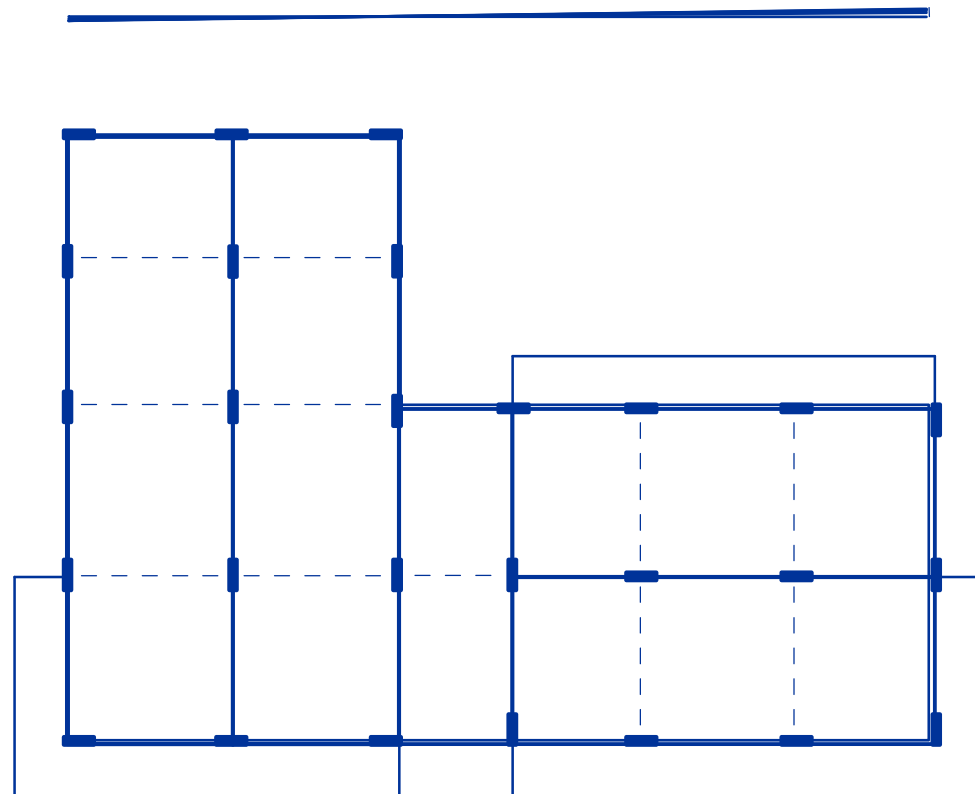
## Analisi statica

- 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?

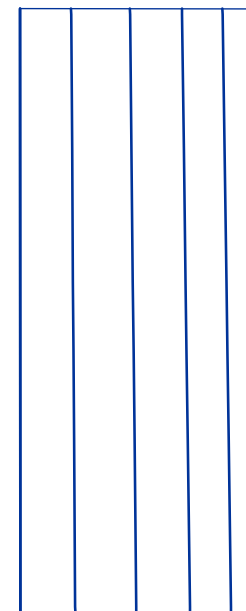
# Spostamenti per $F_x$

0.22 mm

0.36 mm



11.38 mm



11.77 mm

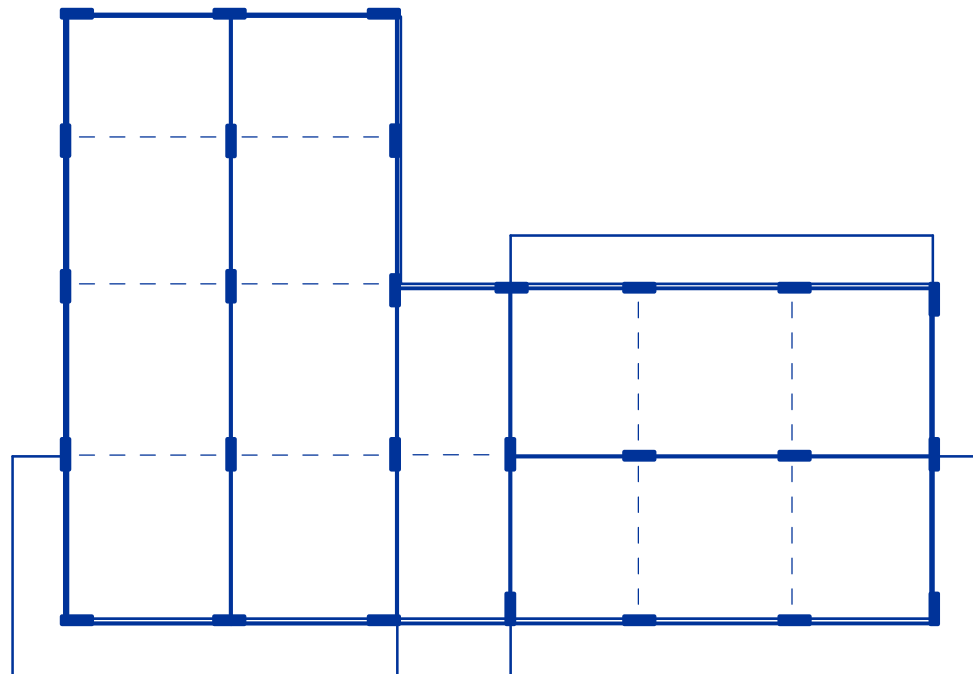
# Spostamenti per $F_y$

8.99 mm



14.91 mm

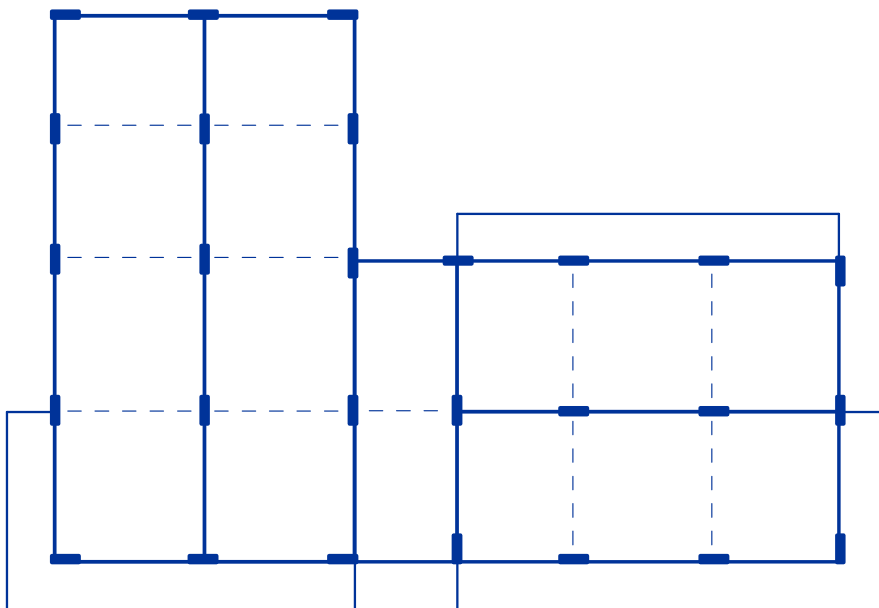
2.67 mm



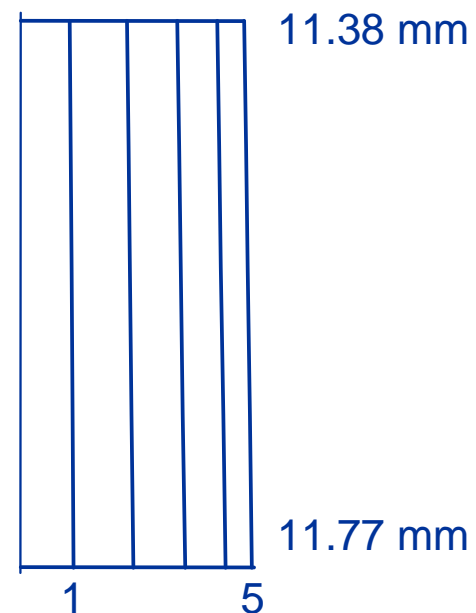
1.54 mm



# Spostamenti



Spostamenti  
per  $F_x$



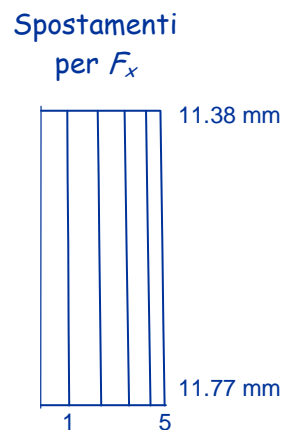
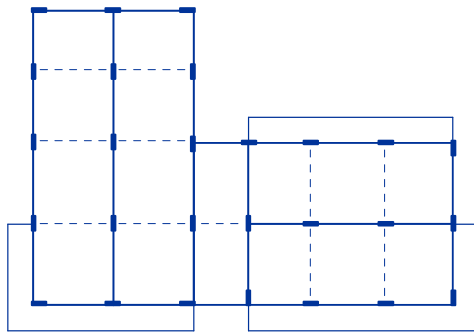
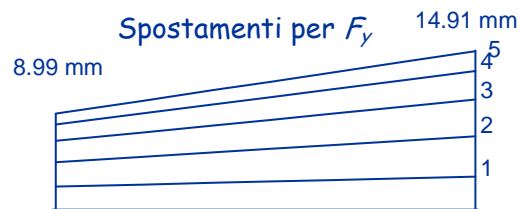
# Spostamenti classe di duttilità "A"

Rotazione non  
trascurabile per forze  
in direzione  $y$



La parte destra  
andrebbe irrigidita

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)

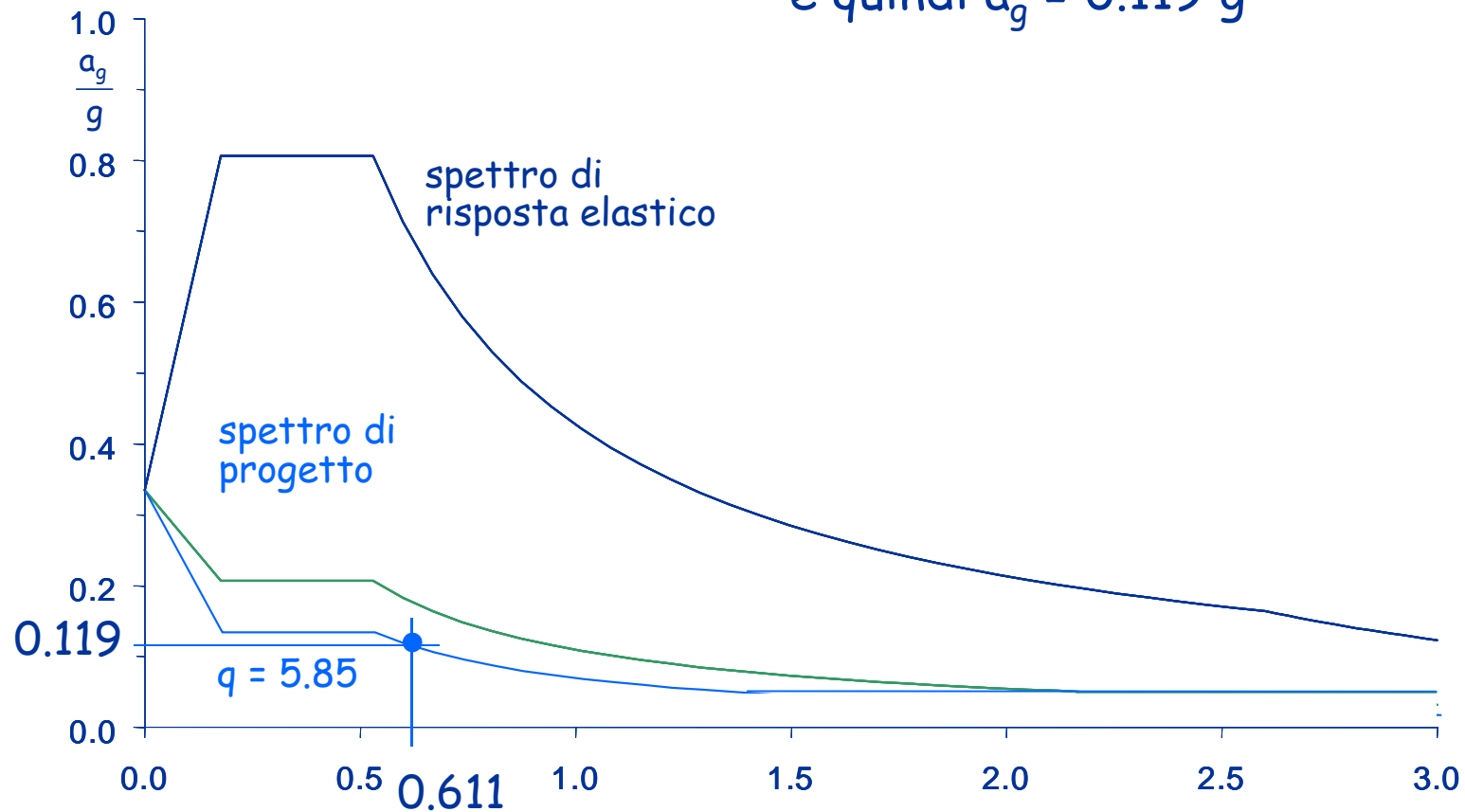
Piano	m (kN s <sup>2</sup> /m)	F <sub>x</sub> (kN)	u <sub>x</sub> (mm)	F <sub>x</sub> u <sub>x</sub> (kN m)	m u <sub>x</sub> <sup>2</sup> (kN m s <sup>2</sup> )
Torrino+V	313.1	506.4	11.628	5888.2	42.34
IV	334.9	435.9	10.307	4492.7	35.58
III	334.9	330.2	8.292	2738.2	23.03
II	334.9	224.6	5.652	1269.2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

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

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

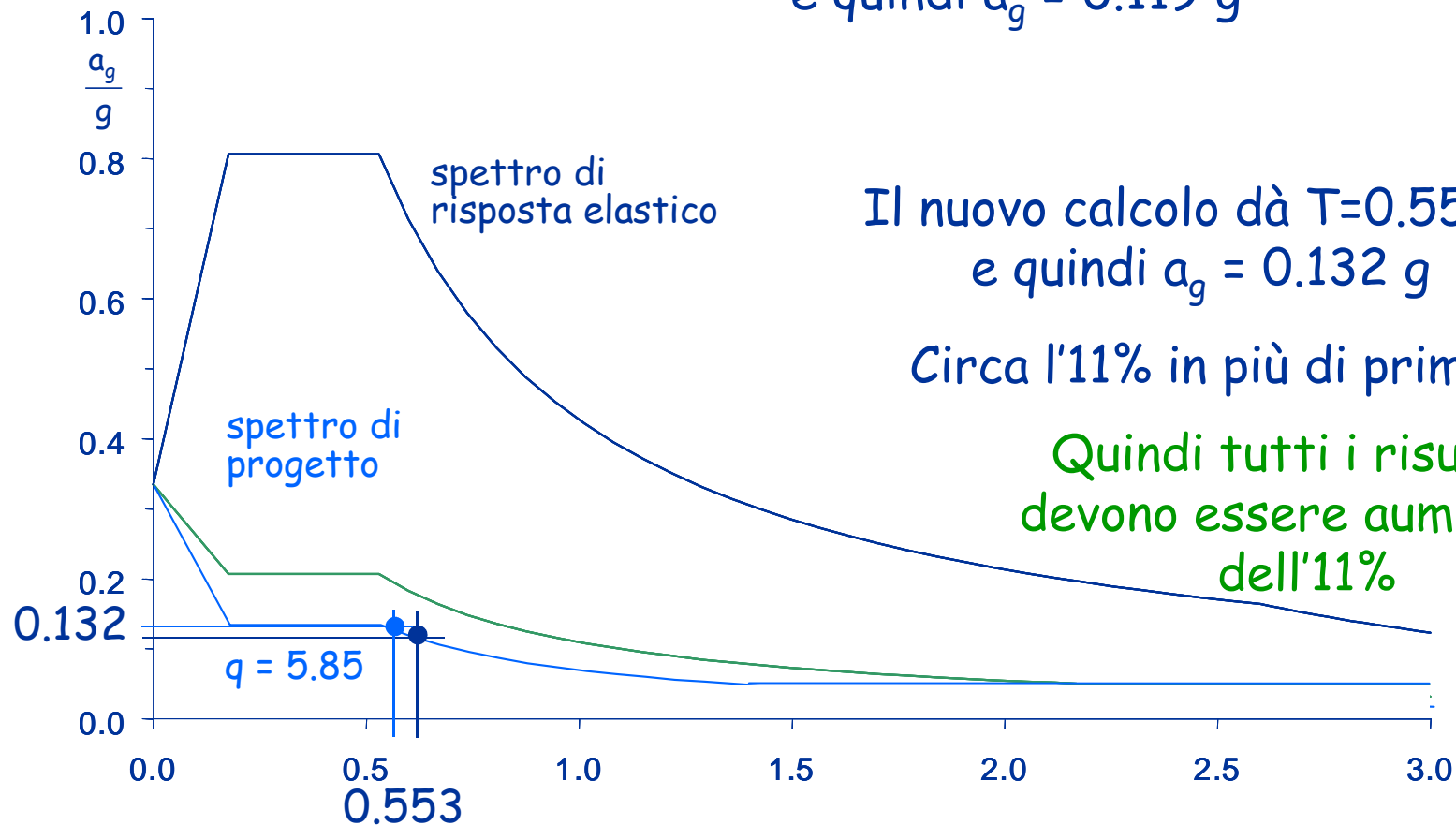
# Esempio - ordinata spettrale

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



# Esempio - ordinata spettrale

Si era ipotizzato  $T=0.611$  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 i periodi dei modi predominanti
  - corrispondono alle previsioni o no?
- Esaminare le masse partecipanti (per ciascuna direzione del sisma) per vedere quali modi danno maggior contributo
  - prevale un solo modo, o più di uno?

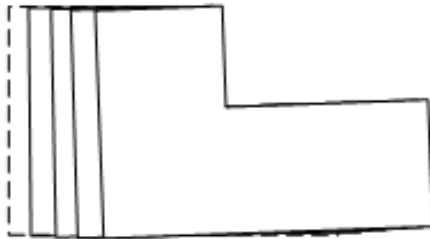


# Un mare di numeri. Come non perdersi?

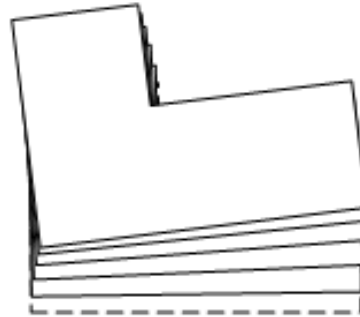
## Analisi modale

- 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?

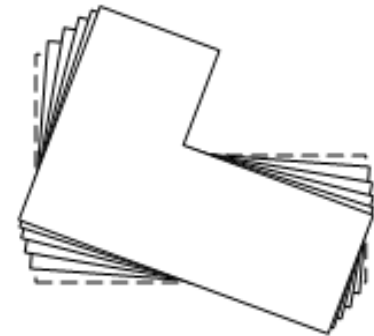
# Deformate modali e relativi periodi



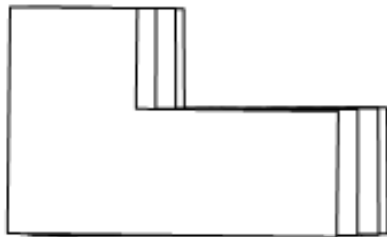
Modo 1  $T = 0.550 \text{ s}$



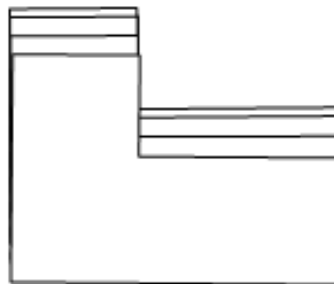
Modo 2  $T = 0.517 \text{ s}$



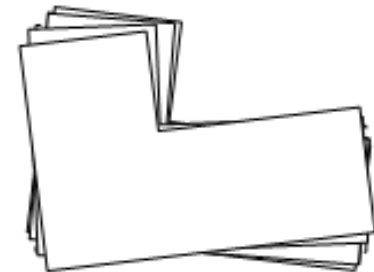
Modo 3  $T = 0.440 \text{ s}$



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



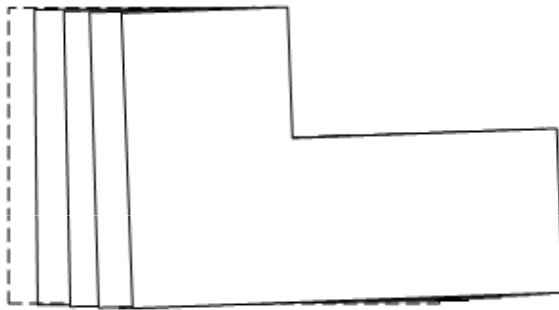
Modo 5  $T = 0.164 \text{ s}$



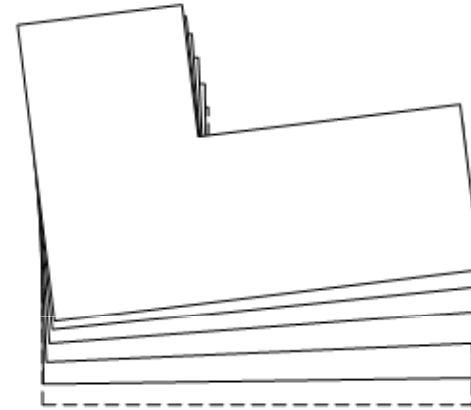
Modo 6  $T = 0.140 \text{ s}$

# Deformate modali

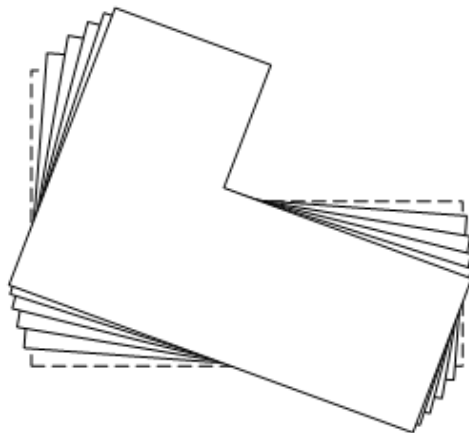
Modo 1  $T = 0.550 \text{ s}$



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



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

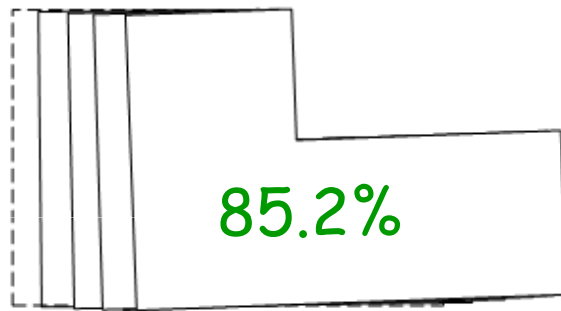


Il modo 1 è sostanzialmente di traslazione secondo x

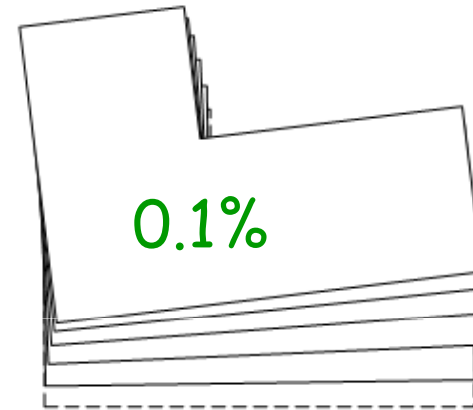
Il modo 2 è di traslazione secondo y accoppiata ad un po' di rotazione

# Masse partecipanti, sisma x

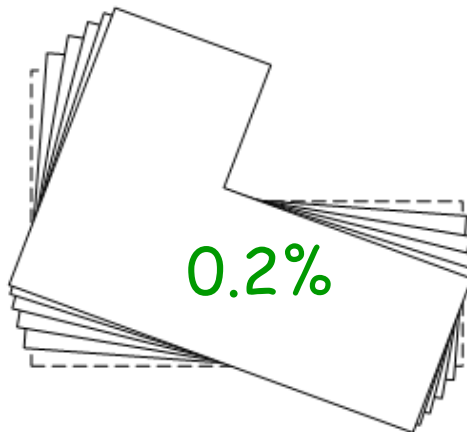
Modo 1  $T = 0.550 \text{ s}$



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



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

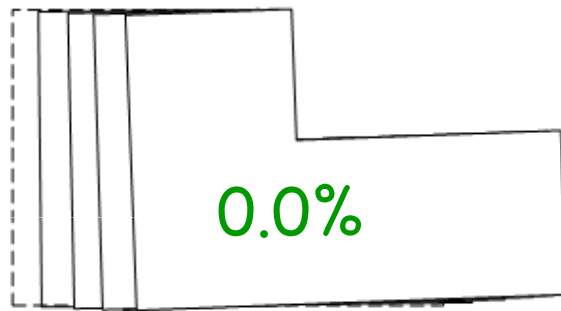


Il modo 1 dà il contributo massimo

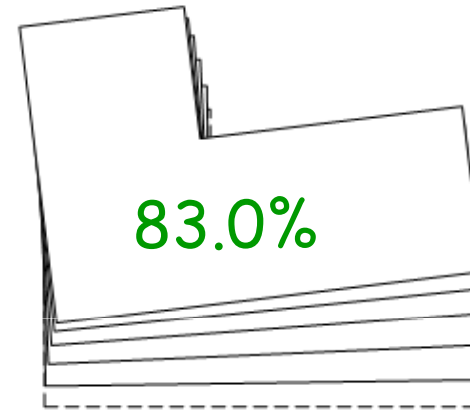
Il modo 4, di traslazione x con spostamenti nei due versi, dà un ulteriore contributo (9.3%)

# Masse partecipanti, sisma y

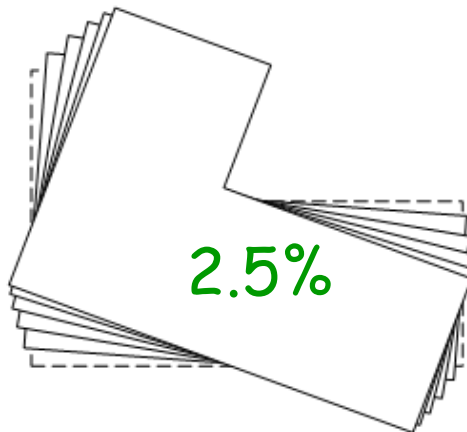
Modo 1  $T = 0.550 \text{ s}$



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



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



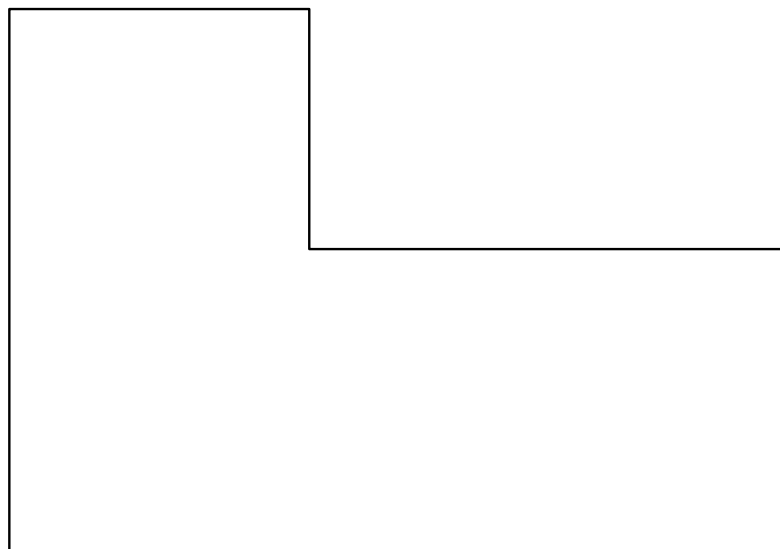
Il modo 2 dà il contributo massimo

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

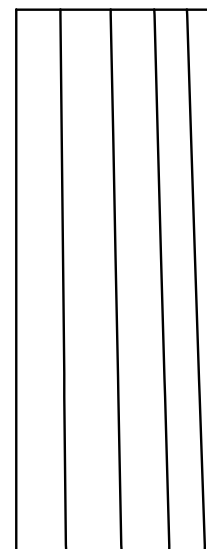
# Inviluppo modale sisma x

0.82

1.34

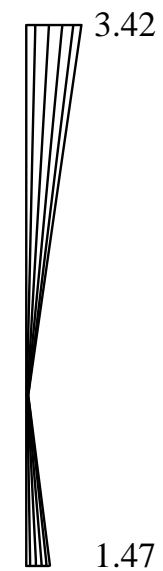
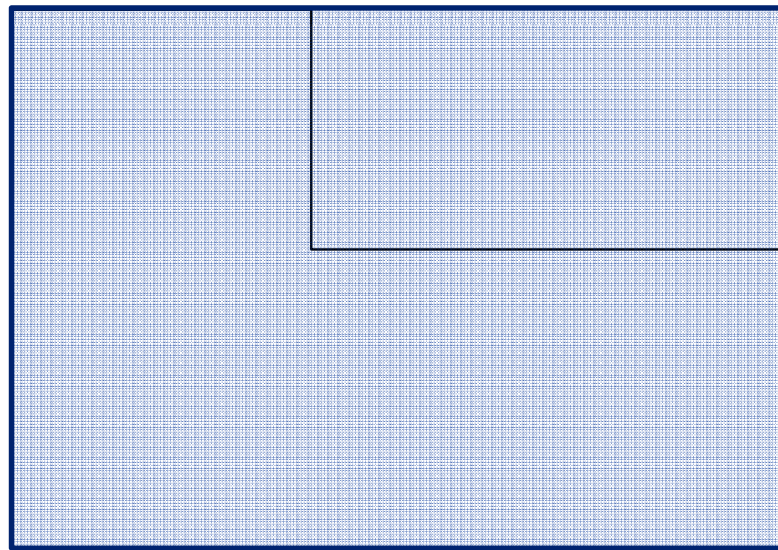
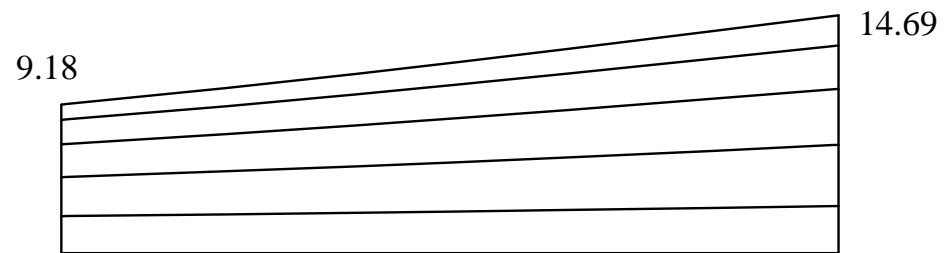


11.94

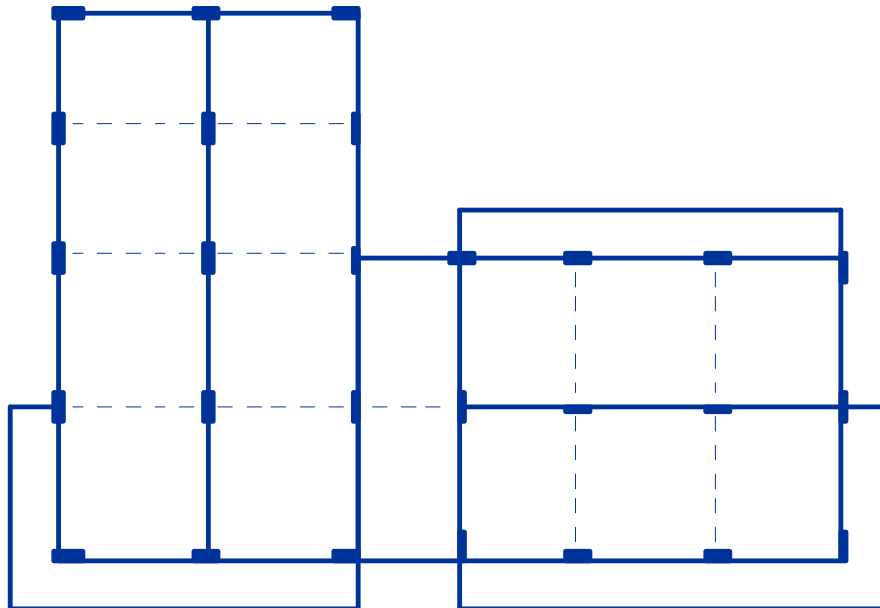
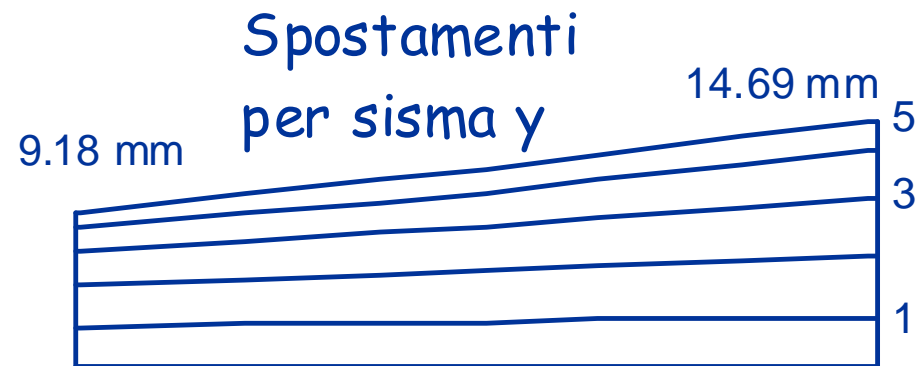


13.13

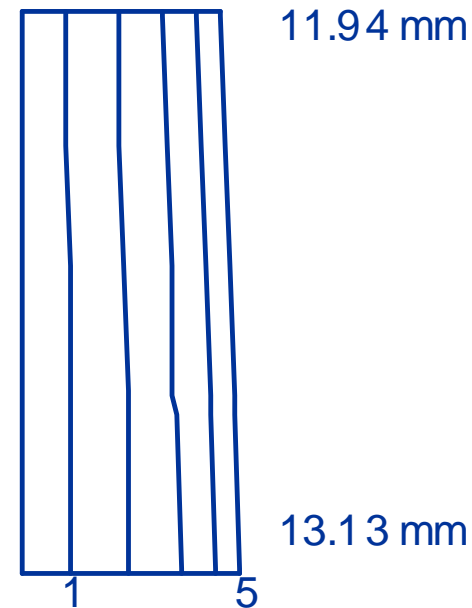
# Inviluppo modale sisma y



# Spostamenti, inviluppo modale



Spostamenti  
per sisma x



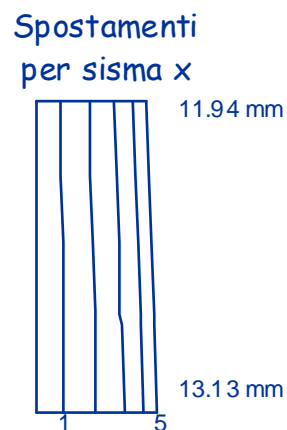
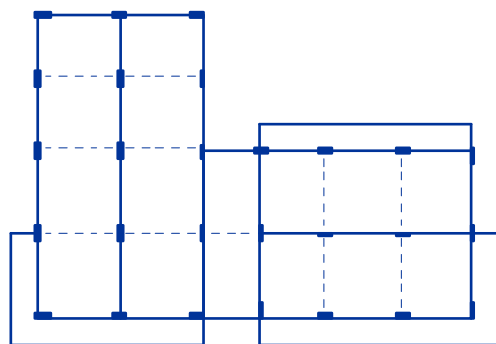


# Spostamenti, inviluppo modale

Rotazione per sisma y  
non trascurabile, ma in  
definitiva accettabile



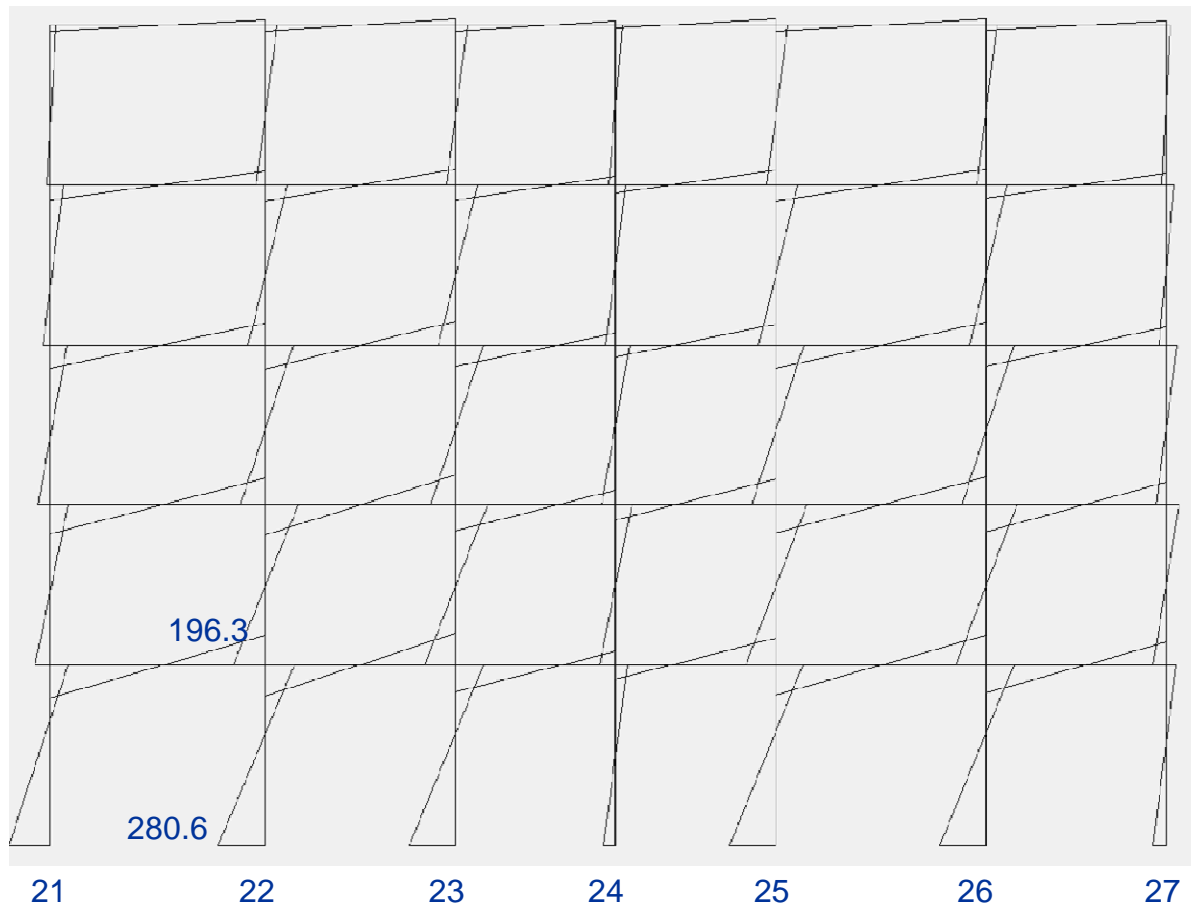
La parte destra  
dovrebbe essere  
ulteriormente irrigidita



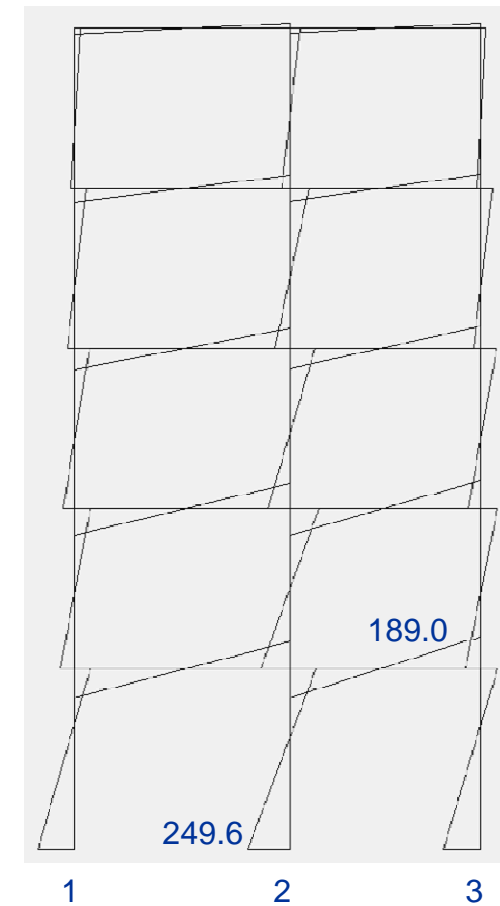
gli spostamenti massimi per  
sisma y sono maggiori di  
quasi il 20% rispetto a  
quelli medi per sisma x

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

# Sollecitazioni per sisma in direzione x



Telaio 1x

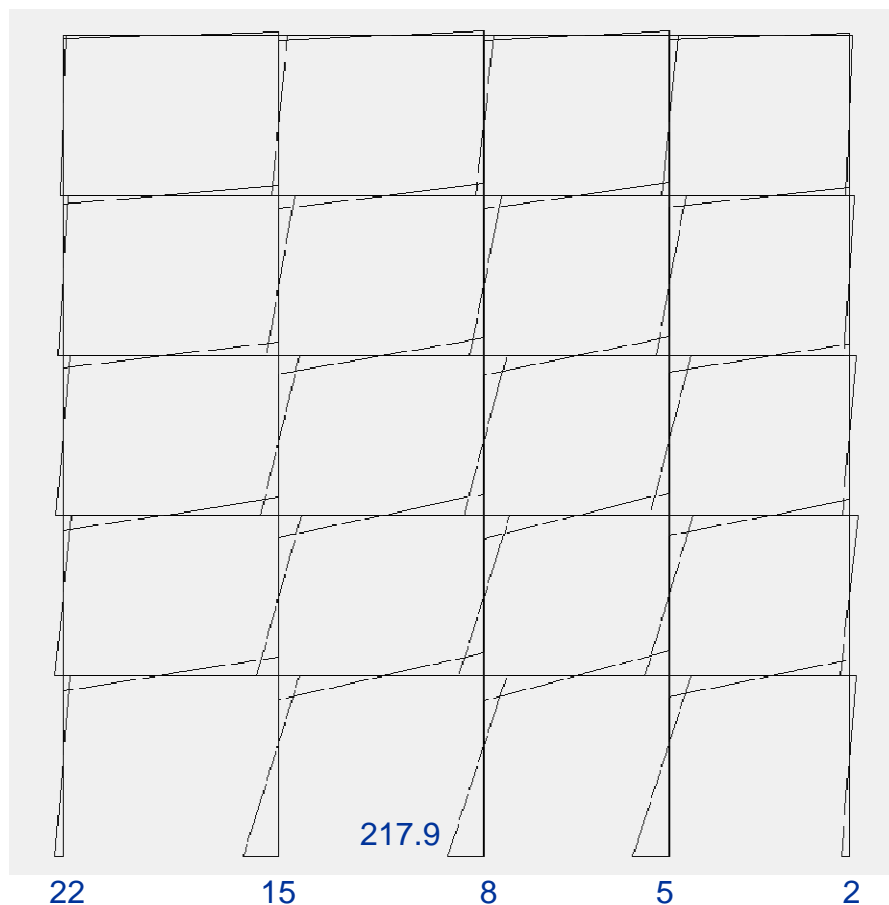


Telaio 5x

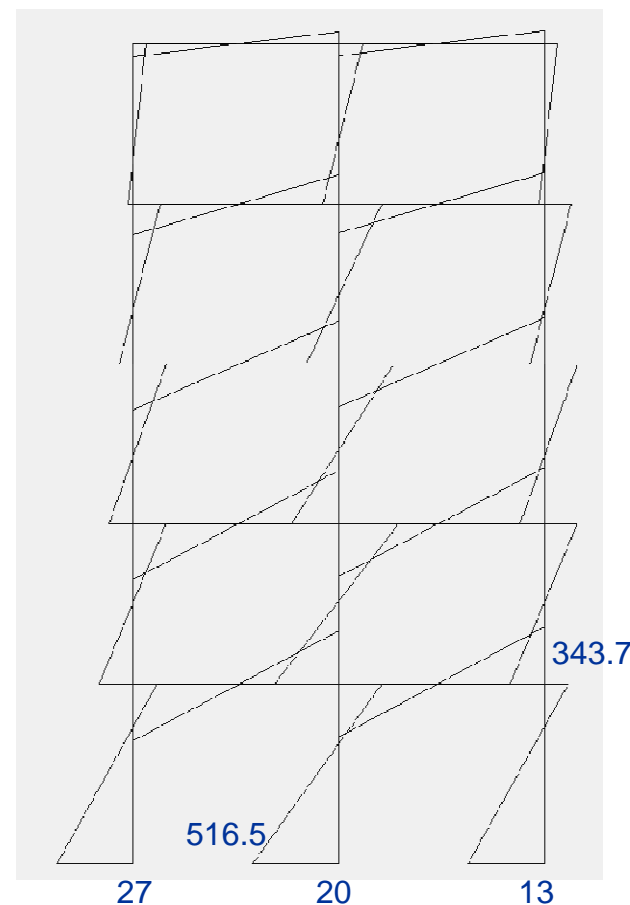
# Sollecitazioni per sisma in direzione x

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				

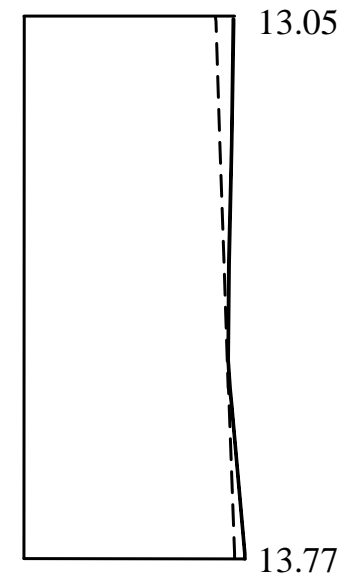
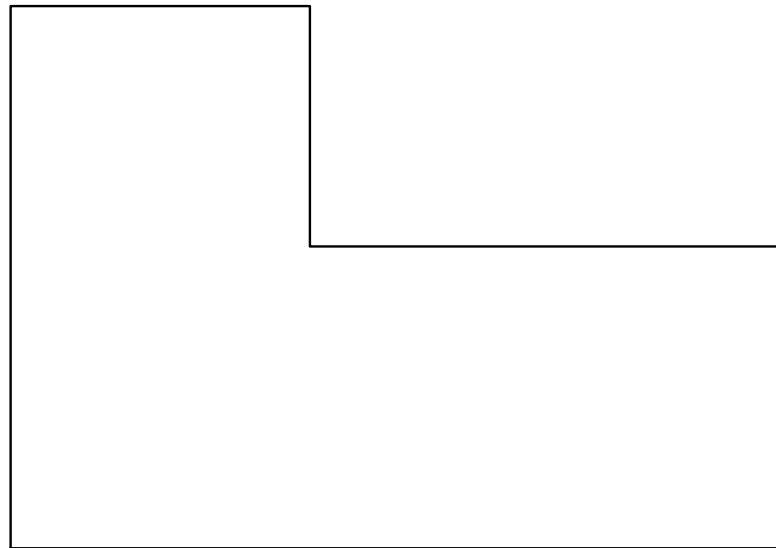
Eccentricità accidentale

# Eccentricità accidentale

## Esame dei risultati

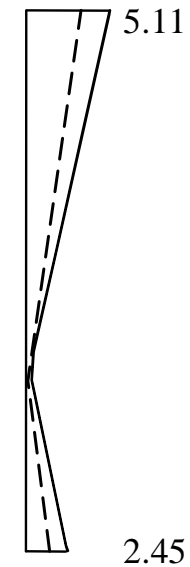
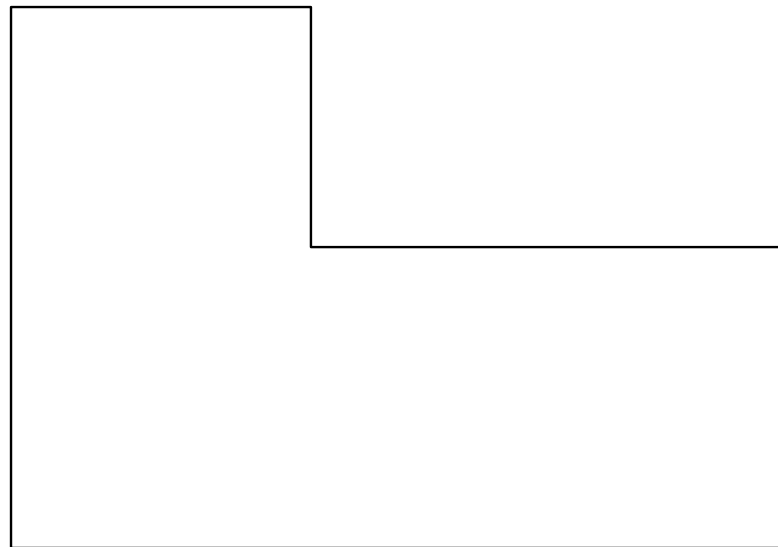
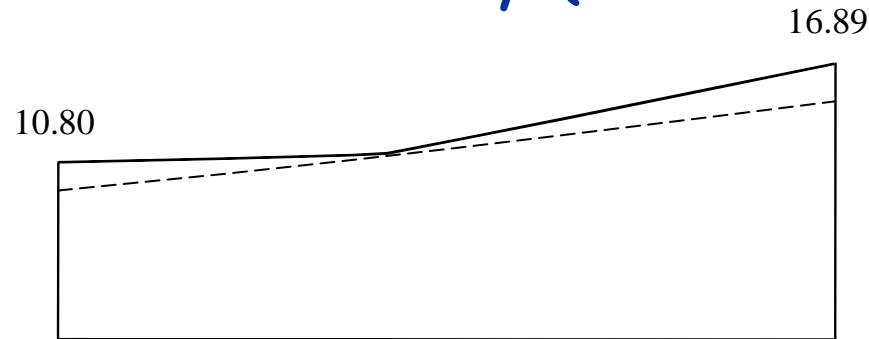
- Esaminare per ciascuna delle due direzioni gli spostamenti prodotti dalle coppie e confrontarli con quelli prodotti dalle forze
  - l'effetto delle coppie è lo stesso a tutti i piani?
  - la sua entità è comparabile con quanto previsto?
- Esaminare i momenti massimi nei pilastri e nelle travi e confrontarli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



Combinazione delle azioni  
nelle due direzioni

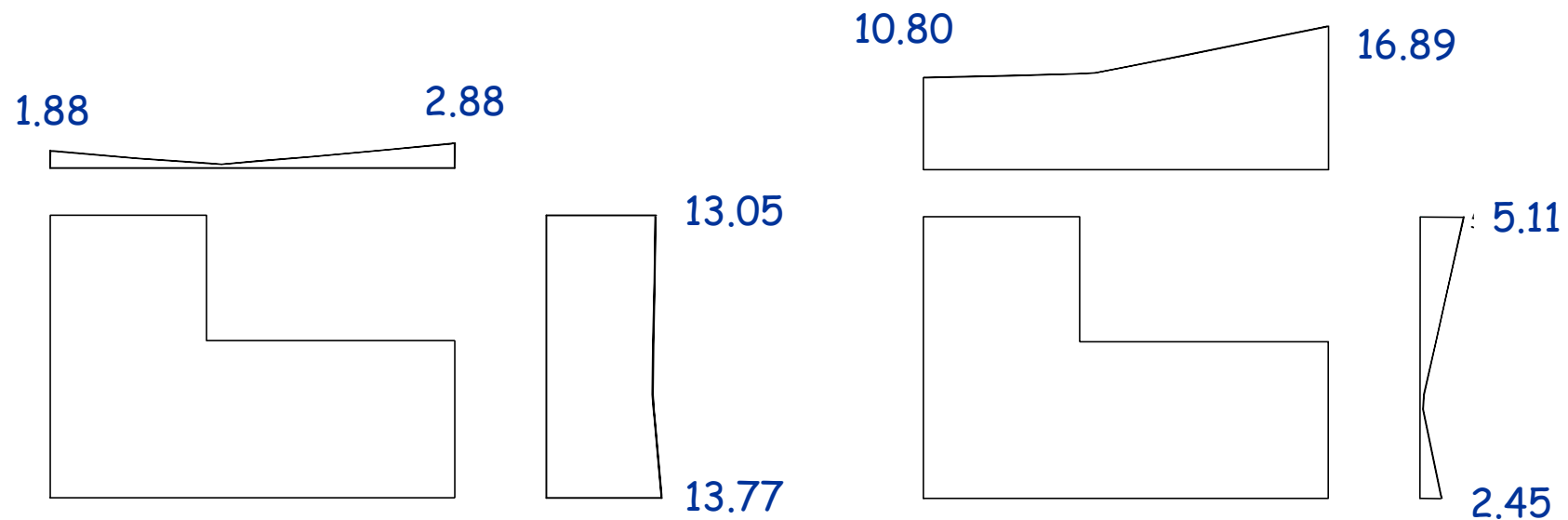
# Le componenti orizzontali

"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

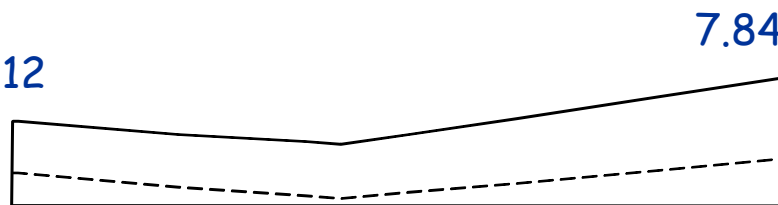
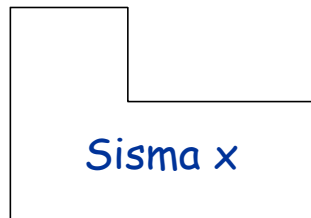


Sisma in  
direzione x

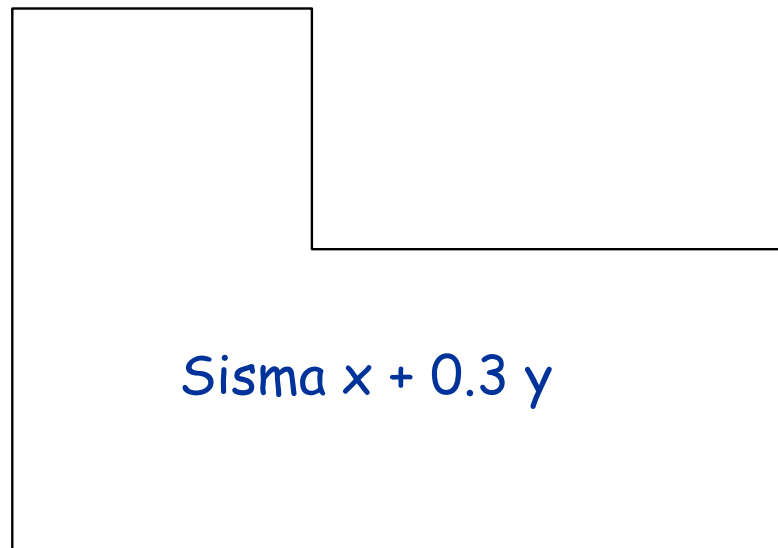
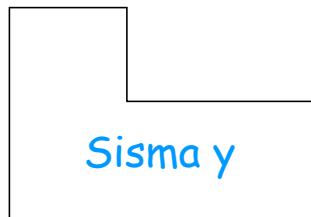
Sisma in  
direzione y

# Inviluppo: sisma x + 0.3 sisma y analisi modale

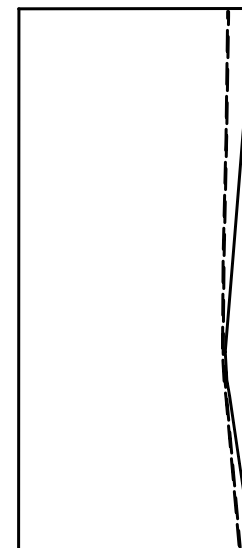
1.88 2.88



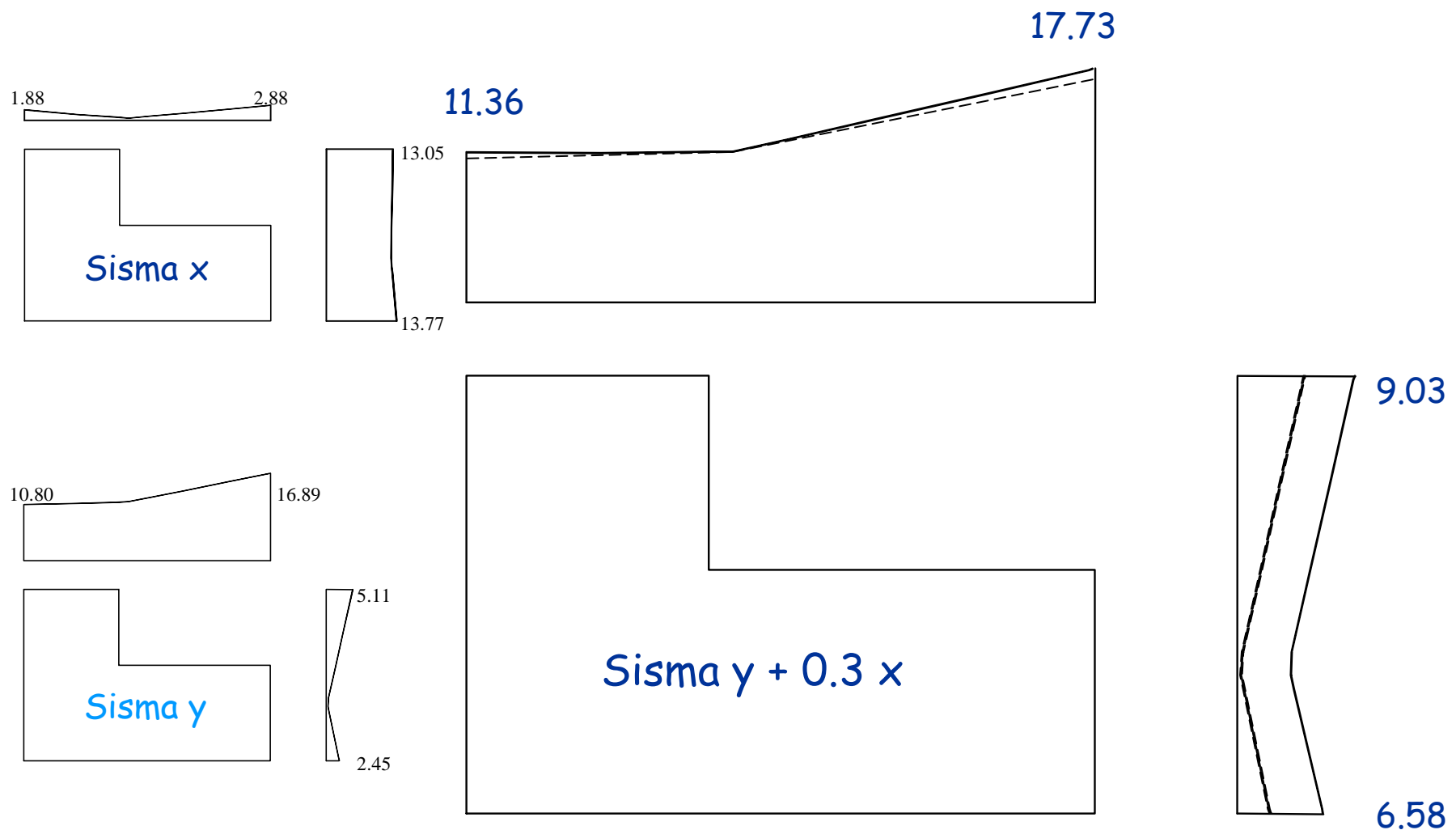
10.80 16.89



14.59



# 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 che arrivano fino al 40%-50% 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 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