

Corso di aggiornamento  
Progettazione strutturale sulla base  
delle normative più recenti

**Progetto e verifica di edifici antisismici in c.a.**

Risoluzione degli schemi base  
Giudizio sulla struttura

Villa Redenta, Spoleto  
6-8 novembre 2008

Aurelio Ghersi

**Processo progettuale**

- ✓ 1. Concezione generale della struttura, nel rispetto di principi base di buona progettazione
- ✓ 2. Impostazione della carpenteria dell'edificio
- ✓ 3. Dimensionamento delle sezioni e verifica di massima della struttura
- in corso 4. Analisi strutturale dettagliata e verifica del comportamento della struttura
5. Definizione delle armature ed elaborati grafici

**4. Analisi strutturale: fasi di lavoro**

- ✓ 4.1. Definizione dei carichi unitari
- ✓ 4.2. Valutazione dei carichi sulle travi
- ✓ 4.3. Valutazione delle masse di piano
- ✓ 4.4. Valutazione delle forze orizzontali (nel caso di analisi statica)
- ✓ 4.5. Definizione del modello della struttura
- 4.6. Risoluzione degli schemi base

**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

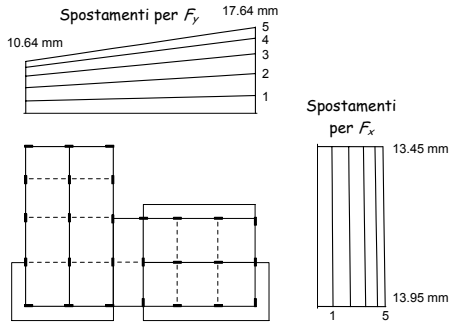
Discutere poi:  
• effetto dell'eccentricità accidentale  
• combinazione delle azioni nelle due direzioni

**Discussione dei risultati:  
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

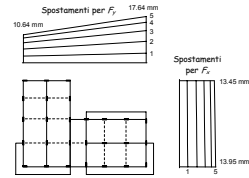


## Spostamenti

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 forza  $F_i$ )

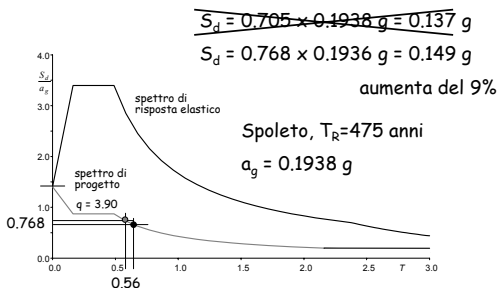
## Periodo proprio della struttura (direzione x)

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	311.55	580.3	13.77	7.988	0.0590
IV	327.27	490.6	12.19	5.983	0.0487
III	327.27	371.7	9.80	3.644	0.0314
II	327.27	252.7	6.68	1.688	0.0146
I	296.97	121.4	3.12	0.379	0.0029
somma				19.682	0.1567

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

$$T_x = 0.561 \text{ s}$$

## Esempio - ordinata spettrale



## Forze per analisi statica

Piano	Peso W (kN)	Quota z (m)	Wz (kNm)	Forza F (kN)	Taglio V (kN)
Torrino+V	3056.3	16.40	50123	580.3	580.3
IV	3210.5	13.20	42379	490.6	1070.9
III	3210.5	10.00	32105	371.7	1442.6
II	3210.5	6.80	21831	252.7	1695.3
I	2913.3	3.60	10488	121.4	1816.7
somma	15601.1		156926		

## Forze per analisi statica

Piano	Peso W (kN)	Quota z (m)	Wz (kNm)	Forza F (kN)	Taglio V (kN)
Torrino+V	3056.3	16.40	50123	631.1	631.1
IV	3210.5	13.20	42379	533.6	1164.7
III	3210.5	10.00	32105	404.2	1568.9
II	3210.5	6.80	21831	274.9	1843.8
I	2913.3	3.60	10488	132.1	1975.9
somma	15601.1		156926		

$$\times \frac{0.149 \text{ g}}{0.137 \text{ g}}$$

## 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	48.7	44.7
4	85.7	78.8
3	113.8	104.3
2	132.9	123.3
1	141.1	126.1

Il taglio massimo è abbastanza uniforme

Nota:

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

I valori sono leggermente minori rispetto alle previsioni

Nota: i valori devono essere aumentati del rapporto 0.149/0.137 (circa 9%)

## Sollecitazioni per forze in direzione x senza incremento per rotazione

Pilastri allungati in questa direzione

Piano	Momento previsto (kNm)	Momento max (kNm)
5	84.7	81.0
4	149.2	139.3
3	198.1	176.6
2	231.3	198.1
1 testa	221.1	174.1
piede	386.8	279.9

Il momento massimo è abbastanza uniforme

Nota:

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

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

## 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	42.4	42.9
4	117.0	102.5
3	173.6	151.6
2	214.7	188.9
1	226.2	197.7

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

$$\text{si trova } T_y = 2\pi \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N m_i u_i^2}{\sum_{i=1}^N F_i u_i}}$$

$$T_y = 0.560 \text{ s}$$

Si ha anche per questa direzione un modesto incremento dell'accelerazione

## 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	48.7	31.3	51.4
4	85.7	57.9	94.1
3	113.8	77.4	127.2
2	132.9	91.2	153.7
1	141.1	102.0	139.3

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)

## Sollecitazioni per forze in direzione y

Pilastri allungati in questa direzione

Piano	Momento previsto (kNm)	Momento max, sin (kNm)	Momento max, des (kNm)
5	84.7	57.6	94.0
4	149.2	103.3	166.9
3	198.1	131.7	215.31
2	231.3	148.6	250.0
1 testa	221.1	142.6	187.3
piede	386.8	224.5	314.1

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	42.4	28.3	50.7
4	117.0	73.1	127.2
3	173.6	108.7	188.4
2	214.7	135.3	232.7
1	226.2	148.4	240.1

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 T = 0.569 s



Modo 3 T = 0.362 s



Modo 2 T = 0.560 s

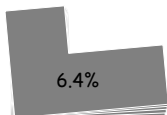


Il modo 2 è sostanzialmente di traslazione secondo x

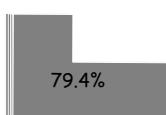
I modi 1 e 3 sono accoppiati (traslazione secondo y e rotazione)

## Masse partecipanti, sisma x

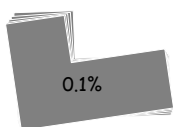
Modo 1  $T = 0.569$  s



Modo 2  $T = 0.560$  s



Modo 3  $T = 0.362$  s

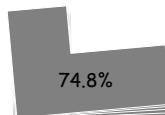


Il modo 2 dà il contributo massimo

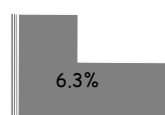
Il modo 5, di traslazione x con spostamenti nei due versi, dà un ulteriore contributo (7.0%)

## Masse partecipanti, sisma y

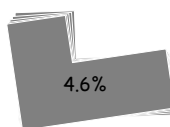
Modo 1  $T = 0.569$  s



Modo 2  $T = 0.560$  s



Modo 3  $T = 0.362$  s



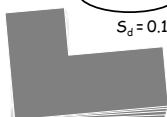
Il modo 1 e 3 danno il contributo massimo

Il modo 4, di traslazione y e rotazione con spostamenti nei due versi, dà un ulteriore contributo (6.6%)

## Periodi dei modi predominanti

Modo 1  $T = 0.569$  s

$S_d = 0.147$  g



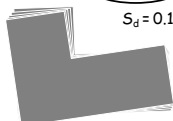
Modo 2  $T = 0.560$  s

$S_d = 0.149$  g



Modo 3  $T = 0.362$  s

$S_d = 0.171$  g

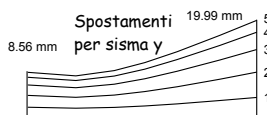


Periodi stimati: ~~0.641 s~~  
 $T_x = 0.561$  s  $S_d = 0.149$  g  
 $T_y = 0.560$  s  $S_d = 0.149$  g

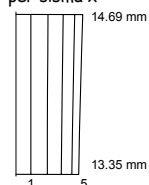
I periodi sono analoghi

Le ordinate spettrali sono quindi analoghe

## Spostamenti, involucro modale



Spostamenti per sisma x

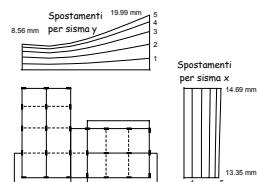


## Spostamenti, involucro modale

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



La parte destra andrebbe irrigidita

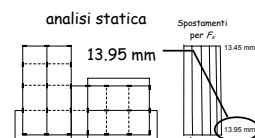
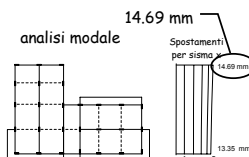


gli spostamenti massimi per sisma y sono maggiori di circa il 50% rispetto a quelli per sisma x

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

## Spostamenti confronto tra analisi modale e statica

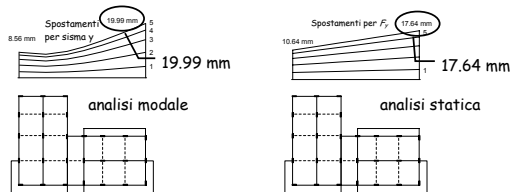
Sisma x: analisi modale - spostamenti uguali



## Spostamenti confronto tra analisi modale e statica

Sisma y: l'analisi modale accentua la rotazione

lato destro - spostamenti maggiori (15%)  
lato sinistro - spostamenti minori



## Sollecitazioni per sisma in direzione x

Nota: valori da aggiornare  
col nuovo spettro e con il  
modulo E delle NTC 08  
La sostanza però non cambia

Pilastri allungati in questa direzione

Piano	Taglio An. statica (kN)	Taglio An. modale (kN)
5	61.3	58.6
4	107.2	104.1
3	141.6	139.8
2	167.2	167.3
1	171.0	165.1

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

Nota: valori da aggiornare  
col nuovo spettro e con il  
modulo E delle NTC 08  
La sostanza però non cambia

Pilastri allungati in questa direzione

Piano	Momento An. statica (kNm)	Momento An. modale (kNm)
5	104.8	105.9
4	183.0	184.4
3	231.5	237.5
2	262.6	269.3
1 testa	235.9	229.6
piede	379.4	364.8

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

Nota: valori da aggiornare  
col nuovo spettro e con il  
modulo E delle NTC 08  
La sostanza però non cambia

Travi emergenti dei telai in direzione x

Piano	Momento An. statica (kNm)	Momento An. modale (kNm)
5	58.7	56.0
4	139.7	134.3
3	206.1	201.3
2	256.3	256.3
1	267.5	278.8

Il momento massimo è  
abbastanza uniforme,

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

Analisi statica e modale  
forniscono valori  
sostanzialmente uguali

## Sollecitazioni per sisma in direzione y (max, des)

Nota: valori da aggiornare  
col nuovo spettro e con il  
modulo E delle NTC 08  
La sostanza però non cambia

Pilastri allungati in questa direzione

Piano	Taglio An. statica (kN)	Taglio An. modale (kN)
5	70.5	77.9
4	128.0	144.6
3	172.6	198.6
2	208.5	242.6
1	188.8	219.2

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)

## Sollecitazioni per sisma in direzione y (max, des)

Nota: valori da aggiornare  
col nuovo spettro e con il  
modulo E delle NTC 08  
La sostanza però non cambia

Pilastri allungati in questa direzione

Piano	Momento An. statica (kNm)	Momento An. modale (kNm)
5	128.5	142.3
4	227.0	257.5
3	292.1	337.5
2	339.0	393.8
1 testa	253.9	295.2
piede	425.7	493.9

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)

Nota: valori da aggiornare  
col nuovo spettro e con il  
modulo E delle NTC 08  
La sostanza però non cambia

Travi emergenti dei telai in direzione y

Piano	Momento An. statica (kNm)	Momento An. modale (kNm)
5	69.4	76.7
4	173.5	193.7
3	256.0	291.0
2	315.7	364.2
1	325.6	377.7

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 (min, sin)

Nota: valori da aggiornare  
col nuovo spettro e con il  
modulo E delle NTC 08  
La sostanza però non cambia

Pilastri allungati in questa direzione

Piano	Taglio An. statica (kN)	Taglio An. modale (kN)
5	43.0	33.0
4	78.9	60.6
3	105.1	82.5
2	123.7	98.6
1	138.1	106.4

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%)

## Sollecitazioni per sisma in direzione y (min, sin)

Nota: valori da aggiornare  
col nuovo spettro e con il  
modulo E delle NTC 08  
La sostanza però non cambia

Pilastri allungati in questa direzione

Piano	Momento An. statica (kNm)	Momento An. modale (kNm)
5	78.9	60.2
4	140.4	108.4
3	178.8	140.8
2	201.5	160.3
1 testa	193.2	148.3
piede	304.3	234.7

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)

Nota: valori da aggiornare  
col nuovo spettro e con il  
modulo E delle NTC 08  
La sostanza però non cambia

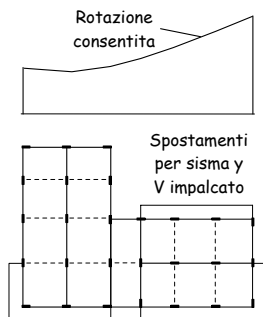
Travi emergenti dei telai in direzione y

Piano	Momento An. statica (kNm)	Momento An. modale (kNm)
5	40.9	31.6
4	102.3	78.2
3	147.8	114.5
2	183.6	144.5
1	201.1	157.1

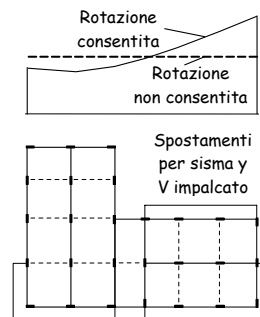
Il momento varia in base  
alla posizione in pianta a  
causa della rotazione

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

## Suggerimento



## Suggerimento



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

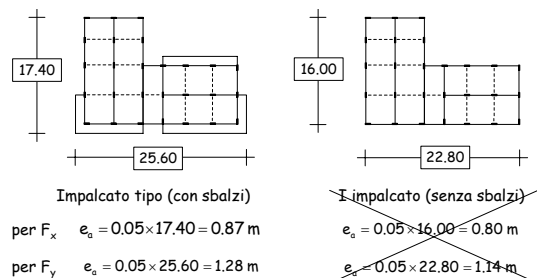
Meglio non ridurre le  
sollecitazioni di progetto  
rispetto al caso di  
traslazione pura

Secondo:

- Comunità scientifica internazionale
- Normativa americana

## Eccentricità accidentale

## Eccentricità accidentale Nell'esempio



## 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  $e_a$

## Eccentricità accidentale Coppie da considerare

Piano	Forze in direzione x			Forze in direzione y		
	F (kN)	$e_a$ (m)	M (kNm)	F (kN)	$e_a$ (m)	M (kNm)
Torrino+V	784.9	0.87	682.9	797.4	1.28	1020.7
IV	668.0	0.87	581.1	678.6	1.28	868.7
III	506.0	0.87	440.3	514.1	1.28	658.1
II	344.1	0.87	299.4	349.6	1.28	447.5
I	165.2	0.80	132.1	167.8	1.14	191.3

Nota: le forze sono calcolate col periodo aggiornato, separatamente per direzione x e direzione y

## 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

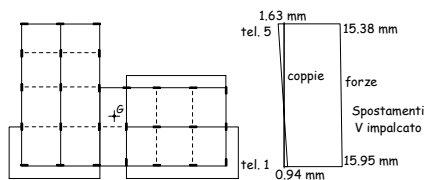


## Spostamenti per forze e coppie direzione x

	telaio 1	telaio 5
piano 5	0.0590	0.1063
piano 4	0.0587	0.1054
piano 3	0.0584	0.1045
piano 2	0.0578	0.1029
piano 1	0.0570	0.0999

rapporto tra  
spostamenti  
prodotti da  
coppie e  
forze

non dipende  
(quasi)  
dal piano



## Spostamenti per forze e coppie direzione x

	telaio 1	telaio 5
piano 5	0.0590	0.1063
piano 4	0.0587	0.1054
piano 3	0.0584	0.1045
piano 2	0.0578	0.1029
piano 1	0.0570	0.0999

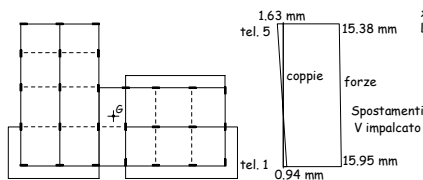
rapporto tra  
spostamenti  
prodotti da  
coppie e  
forze

può essere  
stimato con  
l'espressione

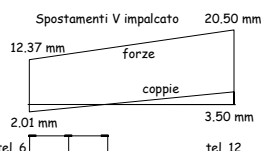
$$\delta = k \frac{x}{L_e}$$

con  $k = 0.16$

$x$  distanza da  $G$   
 $L_e$  dimensione  $\perp x$



## Spostamenti per forze e coppie direzione y

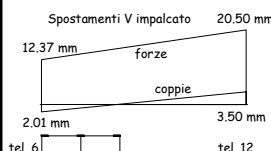


	telaio 6	telaio 12
piano 5	0.1628	0.1708
piano 4	0.1616	0.1704
piano 3	0.1603	0.1700
piano 2	0.1578	0.1696
piano 1	0.1528	0.1688

rapporto tra  
spostamenti prodotti  
da coppie e forze

non dipende  
(quasi)  
dal piano

## Spostamenti per forze e coppie direzione y



	telaio 6	telaio 12
piano 5	0.1628	0.1708
piano 4	0.1616	0.1704
piano 3	0.1603	0.1700
piano 2	0.1578	0.1696
piano 1	0.1528	0.1688

rapporto tra  
spostamenti prodotti  
da coppie e forze

può essere  
stimato con  
l'espressione

$$\delta = k \frac{x}{L_e}$$

con  $k \approx 0.33$

$x$  distanza da  $G$   
 $L_e$  dimensione  $\perp y$

## 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  $k$
- Nel caso in esame:  $k=0.16$  per dir.x,  $k=0.33$  per dir.y  $\delta = k \frac{x}{L_e}$
- 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

## Combinazione delle componenti del sisma

"Le componenti orizzontali e verticali dell'azione sismica saranno prese come agenti simultaneamente e dovranno essere opportunamente combinate"

D.M. 14/9/05, punto 5.7.4.3

## La componente verticale

"L'azione sismica verticale dovrà essere obbligatoriamente considerata nei casi seguenti:  
presenza di elementi a mensola ...

L'analisi sotto azione sismica verticale potrà essere limitata a modelli parziali comprendenti gli elementi indicati "

Si noti però che l'accelerazione verticale massima di calcolo (allo SLU) sarà pari a  $1.8 \times 0.25 \text{ g}$ , cioè porta ad incrementare del 45% i carichi verticali  $g_k + \psi_2 q_k$  ottenendo valori inferiori a  $g_d + q_d$  di solito trascurabile !

Ordinanza 3431, punto 4.6

## Le componenti orizzontali

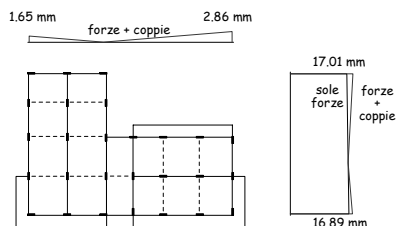
"I valori massimi della risposta ottenuti da ciascuna delle due azioni orizzontali applicate separatamente potranno essere combinati sommando, ai massimi ottenuti per l'azione applicata in una direzione, il 30% dei massimi ottenuti per l'azione applicata nell'altra direzione"

In che modo capire quanta importanza ha questa combinazione?

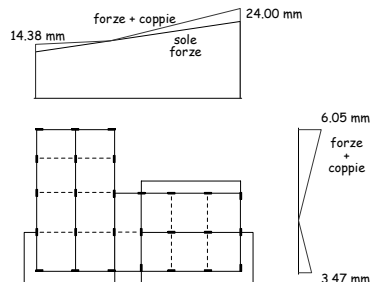
Ragioniamo ancora esaminando gli spostamenti

Ordinanza 3431, punto 4.6

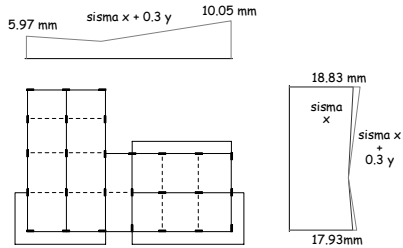
## Spostamenti per sisma x (involuppo forze + coppie)



## Spostamenti per sisma y (involuppo forze + coppie)



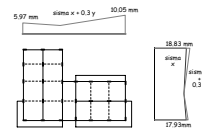
### Inviluppo: sisma x + 0.3 sisma y



### Inviluppo: sisma x + 0.3 sisma y

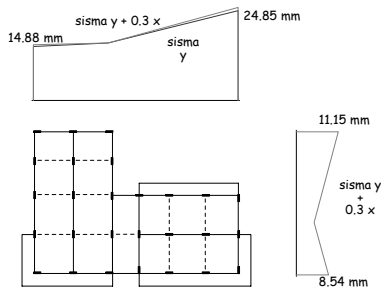
Si noti che:

- gli spostamenti in direzione x sono cresciuti di un ulteriore 6% (inf) e 11% (sup) - in totale un incremento del 12% (inf) e 22% (sup) rispetto allo schema con sole forze in direzione x (ma incremento nullo nella parte centrale)



- contemporaneamente sono presenti spostamenti non trascurabili in direzione y (pari al 30-40% degli spostamenti massimi per solo sisma y)

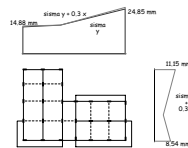
### Inviluppo: sisma y + 0.3 sisma x



### Inviluppo: sisma y + 0.3 sisma x

Si noti che:

- gli spostamenti in direzione y sono cresciuti di un ulteriore 3% (des e sin) - in totale un incremento del 21% (des) e 22% (sin) rispetto allo schema con sole forze in direzione y (ma incremento nullo nella parte centrale)



- contemporaneamente sono presenti spostamenti non trascurabili in direzione x (dal 30% al 60% degli spostamenti massimi per solo sisma x)

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

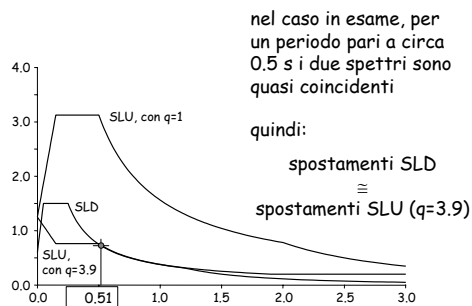
## Stato limite di danno

## 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



## 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: 6.4 mm  
(tra II e I impalcato)

La verifica è soddisfatta