

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
($g_k + \psi_2 q_k$)

NTC 08, punto 3.2.4

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

	ψ_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	0.3
Categoria F. Rimesse e parcheggi (per autoveicoli di peso ≤ 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 ≤ 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

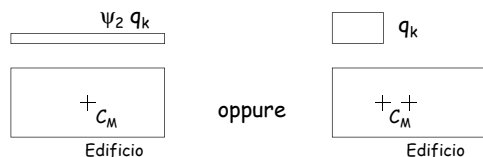
"Per tenere conto della variabilità spaziale del moto
sismico, nonché di eventuali incertezze nella
localizzazione delle masse, al centro di massa deve
essere attribuita una eccentricità accidentale rispetto
alla sua posizione quale deriva dal calcolo"

"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"

NTC08, punto 7.2.6

Distribuzione effettiva delle masse

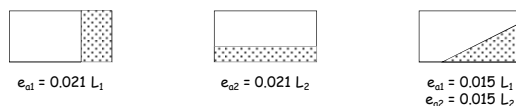
L'aliquota di carichi variabili presente in occasione del sisma potrebbe non essere uniformemente distribuita nell'edificio



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

Eccentricità accidentale Perché il 5% ?

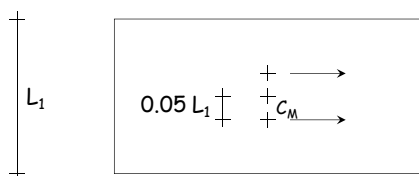
Se si applica il carico variabile massimo su un'area pari a $\psi_2 \times$ area totale si ottiene un'eccentricità nettamente minore



Il valore 0.05 è maggiore, per tener conto di:

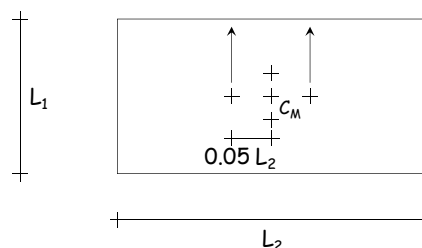
- amplificazione della rotazione per effetti dinamici
- rotazione per lo sfasamento dell'onda sismica da un estremo all'altro dell'edificio

Eccentricità accidentale



NTC 08, punto 7.2.6

Eccentricità accidentale



Aumentano, di molto, le combinazioni di carico

NTC 08, punto 7.2.6

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

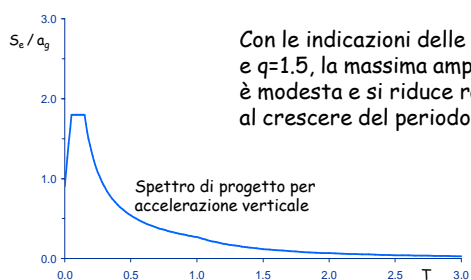
NTC 08, punto 7.2.1

Componente verticale

considerazioni

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

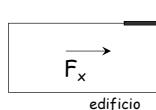
Con le indicazioni delle NTC08, e $q=1.5$, la massima amplificazione è modesta e si riduce rapidamente al crescere del periodo



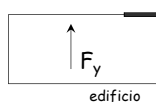
Componenti orizzontali

per le travi

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



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



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

causato dalla rotazione

$$M_d = 230 + 0.3 \times 50 = 245 \text{ kNm}$$

Componenti orizzontali

per i pilastri

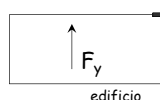
Stesso criterio, ma occorre tener conto della direzione del sisma prevalente



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

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

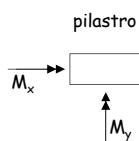
causato dalla rotazione



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

causato dalla rotazione

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

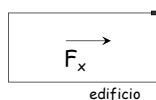


Componenti orizzontali

per i pilastri

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

Sisma prevalente in direzione x



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

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

causato dalla rotazione

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



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

causato dalla rotazione

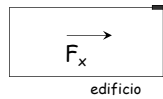
$$M_x = 105 \text{ kNm}$$

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

Verifica a pressoflessione deviata

Componenti orizzontali per i pilastri

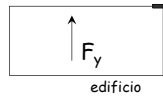
Stesso criterio,
ma occorre tener conto
della direzione del sisma prevalente



$M_y = 280 \text{ kNm}$
 $M_x = 45 \text{ kNm}$
causato dalla
rotazione

Sisma prevalente
in direzione y

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



$M_y = 50 \text{ kNm}$
causato dalla
rotazione
 $M_x = 105 \text{ kNm}$

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

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
			$-0.3 E_y$	$-e_x$	2
		$-e_y$	$+0.3 E_y$	$+e_x$	3
			$-0.3 E_y$	$-e_x$	4
	-	$+e_y$	$+0.3 E_y$	$+e_x$	5
			$-0.3 E_y$	$-e_x$	6
		$-e_y$	$+0.3 E_y$	$+e_x$	7
			$-0.3 E_y$	$-e_x$	8
E_y	+	$+e_x$	$+0.3 E_x$	$+e_y$	9
			$-0.3 E_x$	$-e_y$	10
			$+0.3 E_x$	$+e_y$	11
			$-0.3 E_x$	$-e_y$	12
		$-e_x$	$+0.3 E_x$	$+e_y$	13
			$-0.3 E_x$	$-e_y$	14
			$+0.3 E_x$	$+e_y$	15
			$-0.3 E_x$	$-e_y$	16
	-	$+e_x$	$+0.3 E_x$	$+e_y$	17
			$-0.3 E_x$	$-e_y$	18
			$+0.3 E_x$	$+e_y$	19
			$-0.3 E_x$	$-e_y$	20
		$-e_x$	$+0.3 E_x$	$+e_y$	21
			$-0.3 E_x$	$-e_y$	22
			$+0.3 E_x$	$+e_y$	23
			$-0.3 E_x$	$-e_y$	24
	+	$+e_x$	$+0.3 E_x$	$+e_y$	25
			$-0.3 E_x$	$-e_y$	26
		$-e_x$	$+0.3 E_x$	$+e_y$	27
			$-0.3 E_x$	$-e_y$	28
	-	$+e_x$	$+0.3 E_x$	$+e_y$	29
			$-0.3 E_x$	$-e_y$	30
		$-e_x$	$+0.3 E_x$	$+e_y$	31
			$-0.3 E_x$	$-e_y$	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 involuppo dei risultati di tutte le combinazioni di carico?

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

L'involuppo 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)
- coppie (statiche) ⇐
5. eccentricità accidentale per forze in dir. x
 6. eccentricità accidentale per forze in dir. y

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:

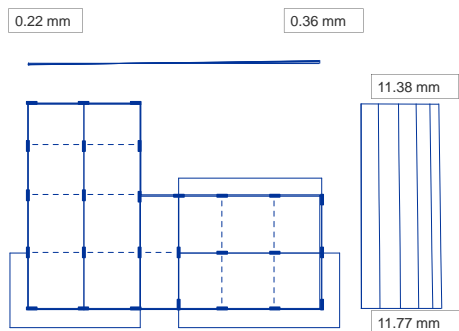
- effetto dell'eccentricità accidentale
- combinazione delle azioni nelle due direzioni

Discussione dei risultati: sisma - analisi statica

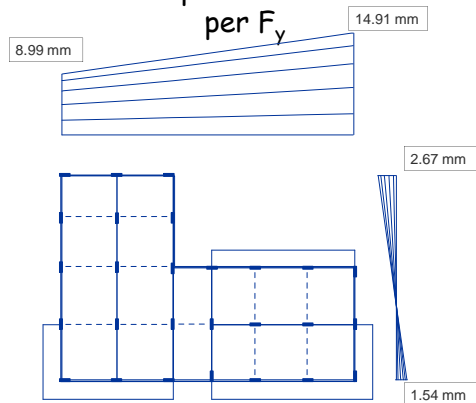
Un mare di numeri. Come non perdersi? Analisi statica

- 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?

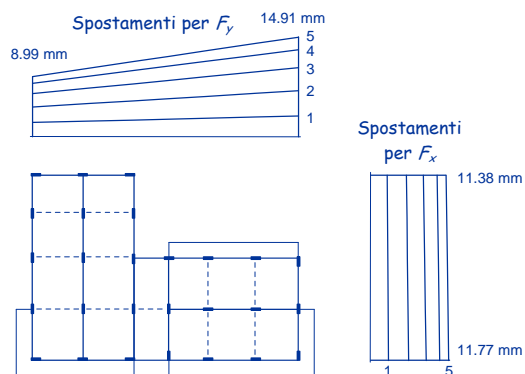
Spostamenti per F_x



Spostamenti per F_y



Spostamenti



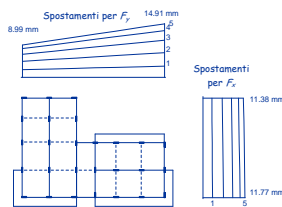
Spostamenti classe di duttilità "A"

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)

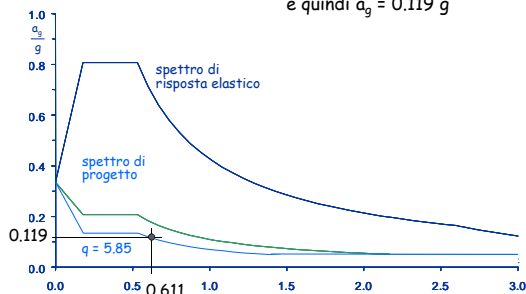
Piano	m (kN s ² /m)	F_x (kN)	u_x (mm)	$F_x u_x$ (kN m)	$m u_x^2$ (kN m s ²)
Torrino+V	313.1	506.4	11.628	5888.2	42.34
IV	334.9	435.9	10.307	4492.7	35.58
III	334.9	330.2	8.292	2738.2	23.03
II	334.9	224.6	5.652	1269.2	10.70
I	297.2	105.5	2.646	279.2	2.08
somma				14667.4	113.72

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

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

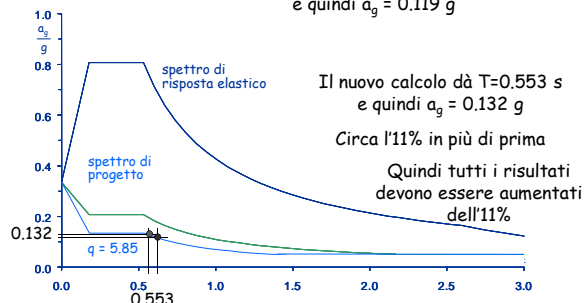
Esempio - ordinata spettrale

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



Esempio - ordinata spettrale

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



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

Circa l'11% in più di prima

Quindi tutti i risultati
devono essere aumentati
dell'11%

Sollecitazioni per forze in direzione x senza incremento per rotazione

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

Sollecitazioni per forze in direzione x senza incremento per rotazione

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

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

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

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

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

Sollecitazioni per forze in direzione x senza incremento per rotazione

Pilastri allungati in questa direzione

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

Il momento massimo è
abbastanza uniforme
I valori corrispondono alle
previsioni ai piani superiori,
sono abbastanza più piccoli
a quelli inferiori

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

Sollecitazioni per forze in direzione x senza incremento per rotazione

Travi emergenti dei telai in direzione x

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

Il momento massimo è
abbastanza uniforme,
sia come distribuzione in pianta
che in base alla posizione nel
telaio (incluse campate di
estremità)

I valori corrispondono
bene alle previsioni

Periodo proprio della struttura (direzione y)

Applicando la formula di Rayleigh

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

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

Quasi identico all'altra direzione

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

Sollecitazioni per forze in direzione y senza incremento per rotazione

Pilastri allungati in questa direzione

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

Il taglio varia in base alla posizione in pianta a causa della rotazione
I valori massimi sono leggermente maggiori rispetto alle previsioni, tranne al I ordine
(5-15% a seconda dei piani)

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

Sollecitazioni per forze in direzione y

Pilastri allungati in questa direzione

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

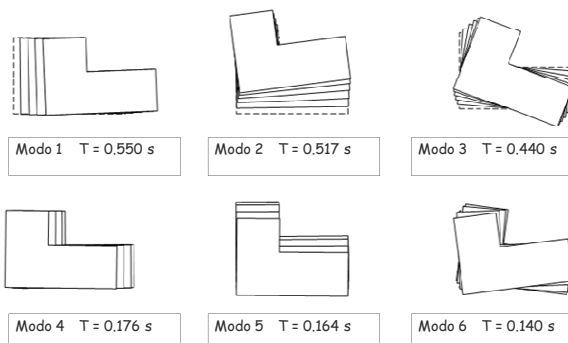
Un mare di numeri. Come non perdersi? Analisi modale

- 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

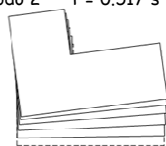


Deformate modali

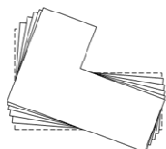
Modo 1 T = 0.550 s



Modo 2 T = 0.517 s



Modo 3 T = 0.440 s

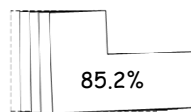


Il modo 1 è sostanzialmente di traslazione secondo x

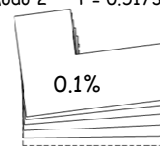
Il modo 2 è di traslazione secondo y accoppiata ad un po' di rotazione

Masse partecipanti, sisma x

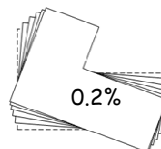
Modo 1 T = 0.550 s



Modo 2 T = 0.5173 s



Modo 3 T = 0.440 s

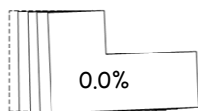


Il modo 1 dà il contributo massimo

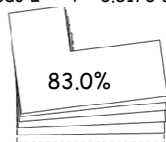
Il modo 4, di traslazione x con spostamenti nei due versi, dà un ulteriore contributo (9.3%)

Masse partecipanti, sisma y

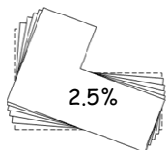
Modo 1 T = 0.550 s



Modo 2 T = 0.5173 s



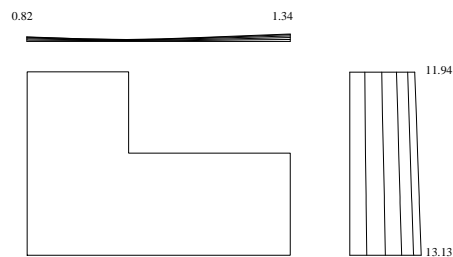
Modo 3 T = 0.440 s



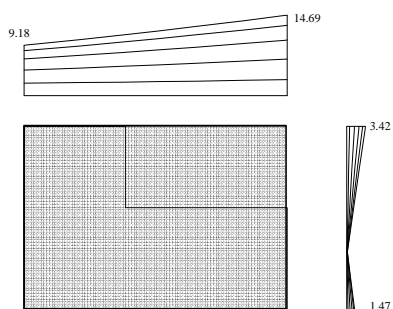
Il modo 2 dà il contributo massimo

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

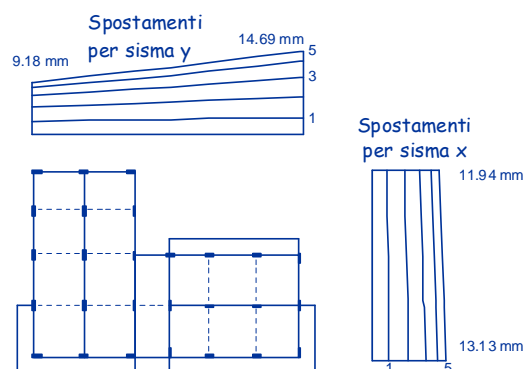
Involuppo modale sisma x



Inviluppo modale sisma y



Spostamenti, inviluppo modale

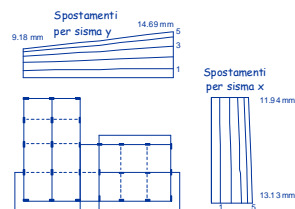


Spostamenti, inviluppo modale

Rotazione per sisma y
non trascurabile, ma in
definitiva accettabile



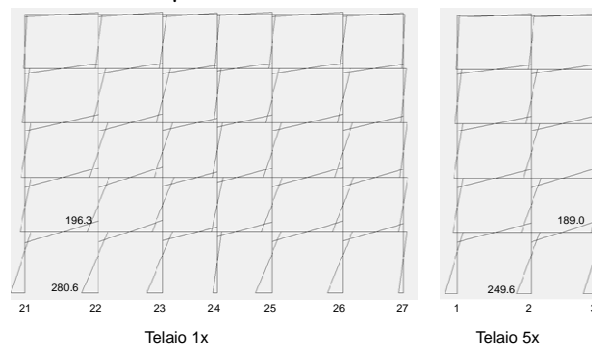
La parte destra
dovrebbe essere
ulteriormente irrigidita



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)

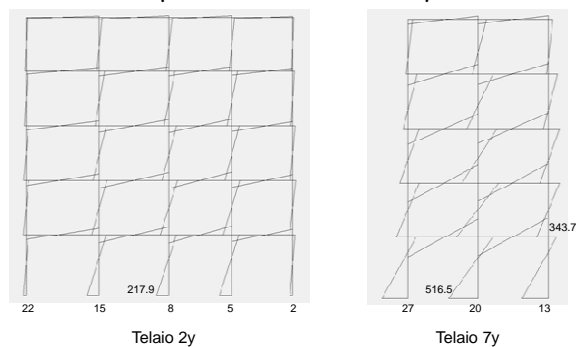
Sollecitazioni per sisma in direzione x



Sollecitazioni per sisma in direzione x

pieno	pilastri			travi		
	previsto	telaio 1x	telaio 5x	previsto	telaio 1x	telaio 5x
5	57.6	74.1	61.1	53.8	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	141.5	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



Sollecitazioni per sisma in direzione y

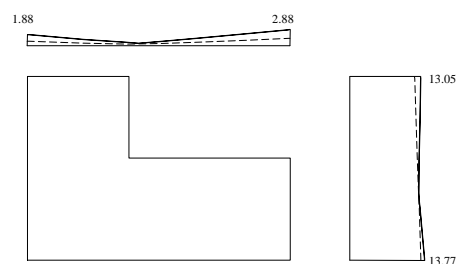
piano	pilastri telaio 2y		pilastri telaio 7y		travi telaio 2y		travi telaio 7y	
	previsto	calcolato	previsto	calcolato	previsto	calcolato	previsto	calcolato
5	57.5	61.1	115.0	146.1	28.7	31.1	57.5	78.0
4	101.3	105.6	202.6	255.4	79.4	70.9	158.8	185.7
3	134.5	135.7	268.0	329.5	117.0	112.7	235.8	273.3
2	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

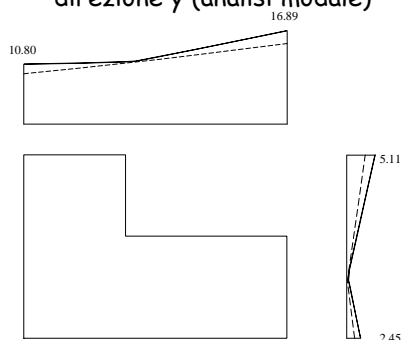
Eccentricità accidentale Esame dei risultati

- 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

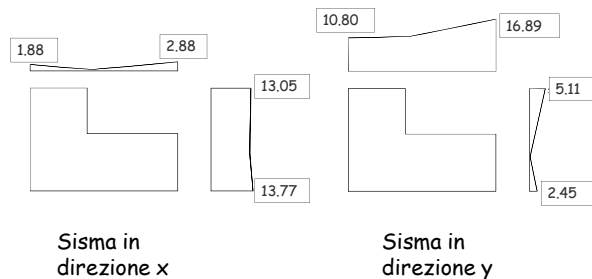
"I valori massimi della risposta ottenuti da ciascuna delle due azioni orizzontali applicate separatamente potranno essere combinati sommando, ai massimi ottenuti per l'azione applicata in una direzione, il 30% dei massimi ottenuti per l'azione applicata nell'altra direzione"

In che modo capire quanta importanza ha questa combinazione?

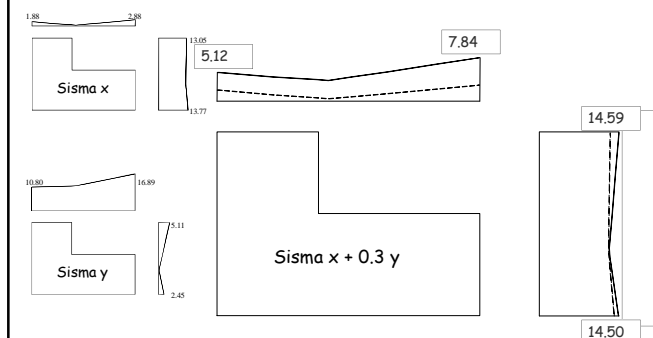
Ragioniamo ancora esaminando gli spostamenti

Ordinanza 3431, punto 4.6

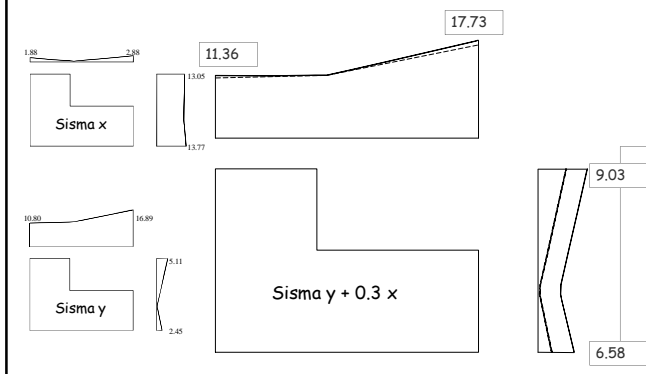
Effetto complessivo del sisma separatamente nelle due direzioni



Involuppo: sisma x + 0.3 sisma y analisi modale



Involuppo: 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