

Corso

Progetto di strutture in zona sismica

Catania

ottobre 2017 - gennaio 2018

24 - Giudizio sulla struttura - analisi statica

6 dicembre 2017

Aurelio Ghersi

Analisi statica

- L'analisi statica è stata usata per prevedere le caratteristiche di sollecitazione della struttura e quindi dimensionare le sezioni
- È quindi opportuno iniziare il calcolo effettuando l'analisi statica, con le stesse forze usate per prevedere le caratteristiche di sollecitazione della struttura

Analisi statica

Tanti numeri. Come non perdersi?

- 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?

Suggerimenti operativi

Suggerimenti operativi

Calcolo

- Preparate il file dati per TelSpa
- Per ora date solo due condizioni di carico, forze in direzione x e forze in direzione y
- Mandate in esecuzione il programma Tel, indicate il nome del file dati, eseguitelo
- Salvate i risultati e fate anche Salva per Excel

Suggerimenti operativi

Visualizzazione risultati

- Esamine gli spostamenti
- Aprite in Excel in file .SPO (leggete le istruzioni che ho messo in Dropbox)

Telaio		Traverso	CondCar 1	CondCar 2
1		5	-0.209	10.707
1		4	-0.209	10.052
1		3	-0.195	8.787
1		2	-0.159	6.641
1		1	-0.091	3.484
2		5	-0.072	11.701
2		4	-0.078	10.970
2		3	-0.078	9.571
2		2	-0.067	7.207
2		1	-0.041	3.744
3		5	0.037	12.496
3		4	0.027	11.705
~		3	0.016	10.199
		2	0.006	7.660
		1	0.000	3.951
		5	0.164	13.417
		4	0.148	12.556

Nota: ho allineato al centro ed ho imposto tre decimali ai valori di spostamento

Suggerimenti operativi

Visualizzazione risultati

- Salvatelo con un opportuno nome in formato foglio di calcolo Excel
 - Esempio: file Risultati, foglio SPO

Telaio		Traverso	CondCar 1	CondCar 2
1		5	-0.209	10.707
1		4	-0.209	10.052
1		3	-0.195	8.787
1		2	-0.159	6.641
1		1	-0.091	3.484
2		5	-0.072	11.701
2		4	-0.078	10.970
2		3	-0.078	9.571
2		2	-0.067	7.207
2		1	-0.041	3.744
3		5	0.037	12.496
3		4	0.027	11.705
3		3	0.016	10.199
3		2	0.006	7.660
3		1	0.000	3.951
4		5	0.164	13.417
4		4	0.148	12.556

Suggerimenti operativi

Visualizzazione risultati

- Usate Filtro per selezionare i valori che vi interessano (ad esempio solo quelli dell'ultimo impalcato)

Telaio			Traver: <input type="checkbox"/>	CondCar 1	CondCar 2
1			5	-0.209	10.707
2			5	-0.072	11.701
3			5	0.037	12.496
4			5	0.164	13.417
5			5	0.284	14.294
6			5	0.387	15.043
7			5	10.424	-1.054
8			5	10.476	-0.674
9			5	10.556	-0.096
10			5	10.692	0.897

- Così potete vedere gli spostamenti dei telai all'ultimo impalcato e capire se c'è traslazione o rotazione

Suggerimenti operativi

Visualizzazione risultati

- Usate Filtro per selezionare i valori che vi interessano (ad esempio solo quelli dell'ultimo impalcato)

F x

Telaio		Traver: <input type="checkbox"/>	CondCar 1	CondCar 2
1		5	-0.209	10.707
2		5	-0.072	11.701
3		5	0.037	12.496
4		5	0.164	13.417
5		5	0.284	14.294
6		5	0.387	15.043
7		5	10.424	-1.054
8		5	10.476	-0.674
9		5	10.556	-0.096
10		5	10.692	0.897

Questo è per forze x (chi ha preparato i dati ha messo prima i telai in y)

Sostanziale traslazione

- Così potete vedere gli spostamenti dei telai all'ultimo impalcato e capire se c'è traslazione o rotazione

Suggerimenti operativi

Visualizzazione risultati

- Usate Filtro per selezionare i valori che vi interessano (ad esempio solo quelli dell'ultimo impalcato)

F_y

Telaio		Traver.	CondCar 1	CondCar 2
1		5	-0.209	10.707
2		5	-0.072	11.701
3		5	0.037	12.496
4		5	0.164	13.417
5		5	0.284	14.294
6		5	0.387	15.043
7		5	10.424	-1.054
8		5	10.476	-0.674
9		5	10.556	-0.096
10		5	10.692	0.897

Forte
rotazione

O sono sbagliati i
dati di Tel o la
struttura va male

- Così potete vedere gli spostamenti dei telai all'ultimo impalcato e capire se c'è traslazione o rotazione

Suggerimenti operativi

Visualizzazione grafica dei risultati

- Potete usare il file Excel
Deformate (vers 1.2c, dic 2017)
 - Nota: il file è pensato per l'analisi modale
- Aprite il file e salvatelo con un vostro nome, es.
Deformate (vers 1.2c, dic 2017) - an sta
- Incollate nel foglio SPO i vostri valori (dopo aver tolto il filtro); prima di farlo, spostate i risultati dalle colonne FG a quelle HI
- Cancellate i valori del file SPI

Suggerimenti operativi

Visualizzazione grafica dei risultati

- Nel foglio Dati indicate il numero di telai in direzione x

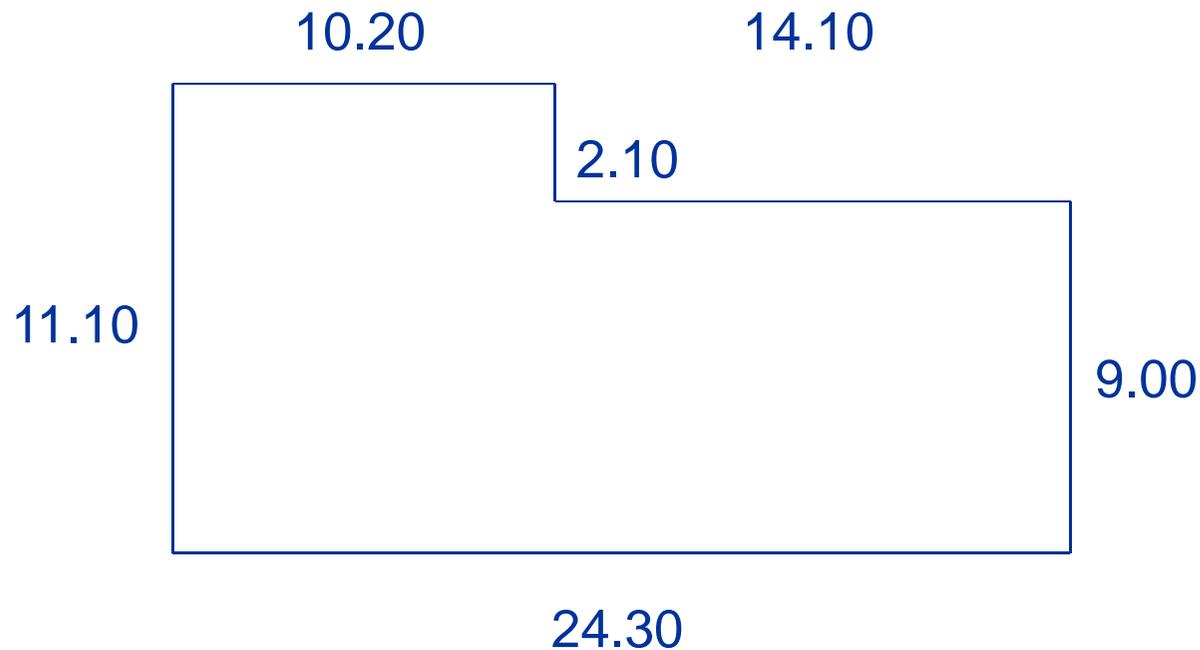
n piani	5									telai in direzione x	4
	letto nel file SPO									dedotto dal file SPO:	1
n telai	10									telai in direzione y	6
	letto nel file SPO										

- Il numero dei piani dovrebbe essere giusto (ma controllate che lo sia)
- Nota: io avevo dato per scontato che i primi telai fossero quelli in x, in questo caso non è così
Occorre correggere il file dati (basta spostare blocchi di valori)

Suggerimenti operativi

Visualizzazione grafica dei risultati

- Guardate il contorno del vostro edificio



Suggerimenti operativi

Visualizzazione grafica dei risultati

- Guardate il contorno del vostro edificio

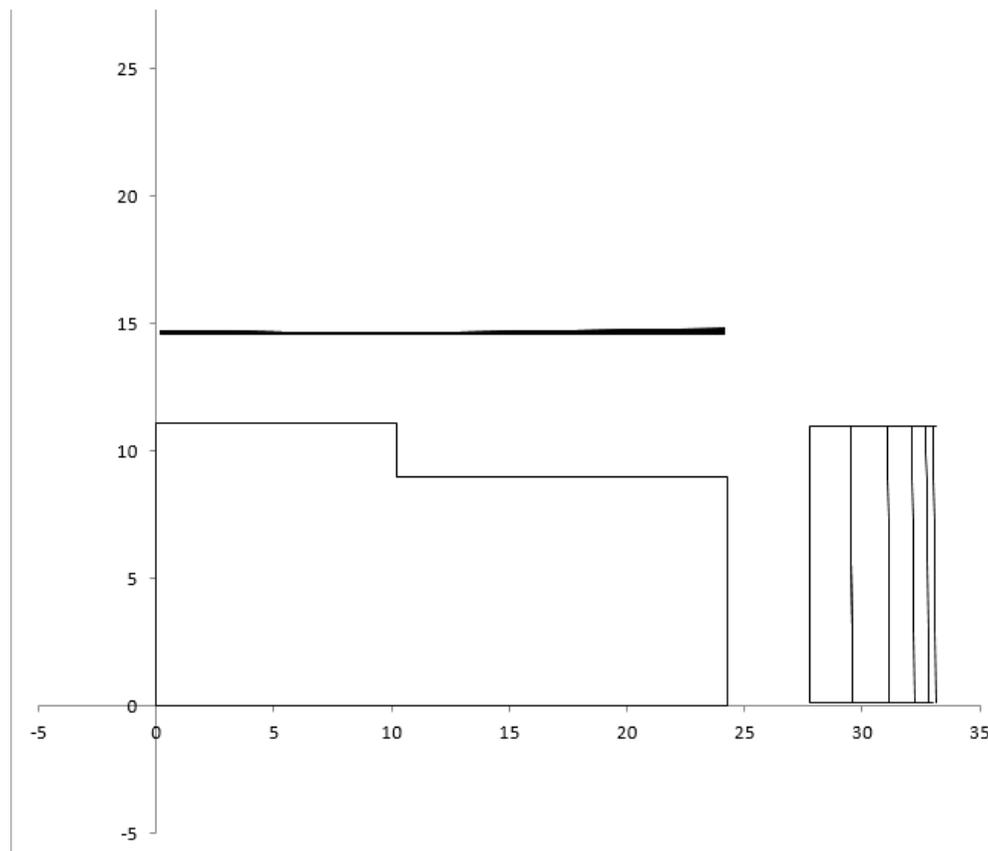


- Definite le coordinate dei vertici (in questo caso 6) rispetto alla vostra origine di riferimento

Suggerimenti operativi

Visualizzazione grafica dei risultati

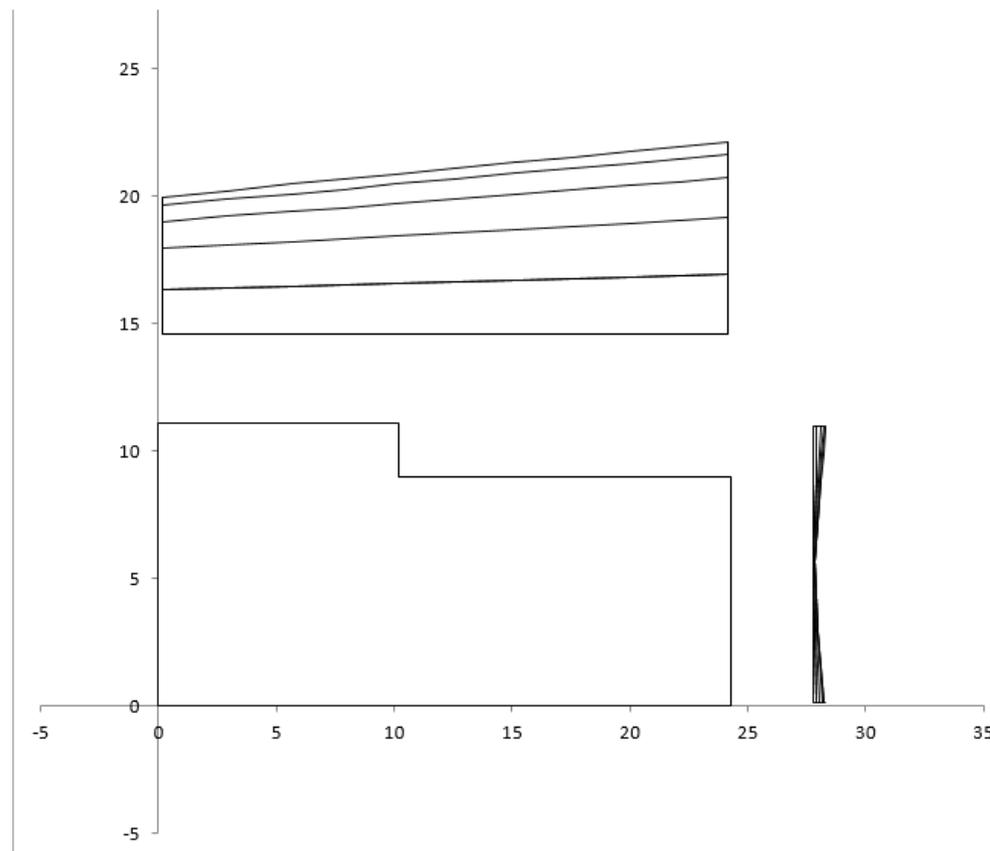
- Guardate il foglio Invil.mod.x
Il riferimento è all'inviluppo modale per sisma x, in questo caso avrete la deformata per forze x (vista dall'alto)



Suggerimenti operativi

Visualizzazione grafica dei risultati

- Guardate il foglio Invil.mod.y
Il riferimento è all'inviluppo modale per sisma y, in questo caso avrete la deformatata per forze y (vista dall'alto)



Fine suggerimenti operativi

Analisi statica

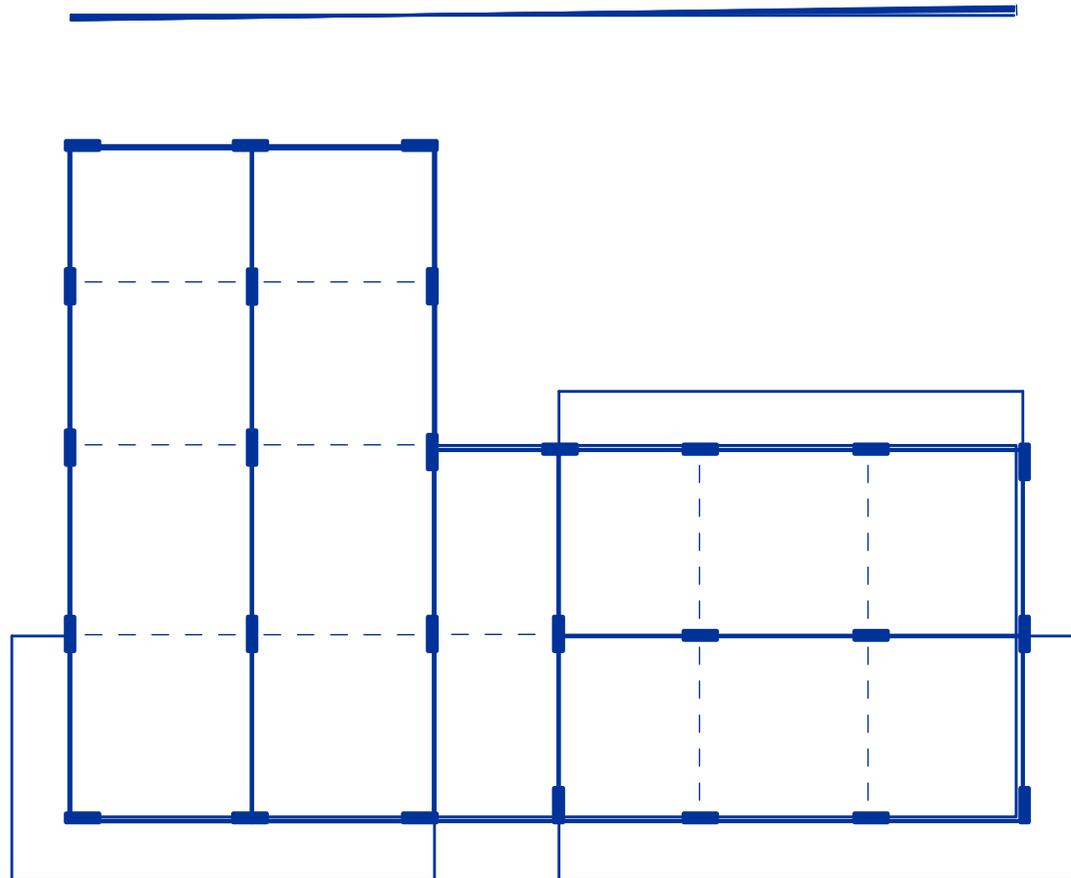
Tanti numeri. Come non perdersi?

- 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?

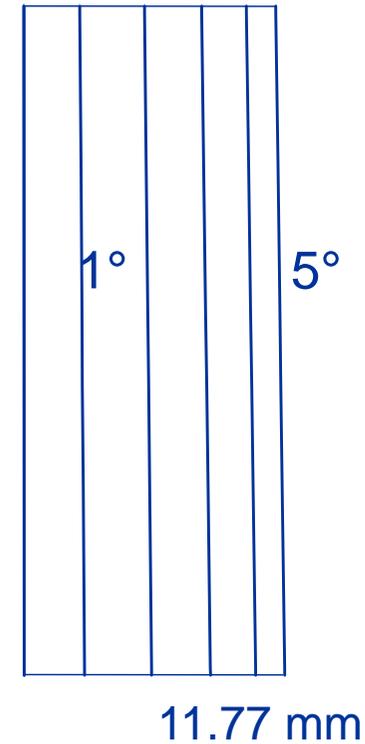
Spostamenti per forze in direzione x

0.22 mm

0.36 mm



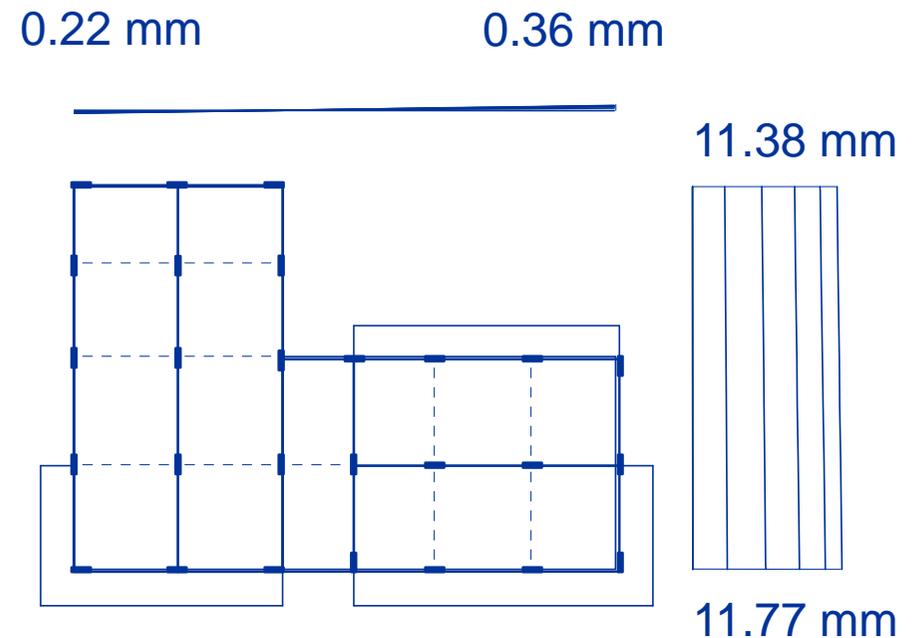
spostamento
5° impalcato
11.38 mm



Spostamenti per forze in direzione x

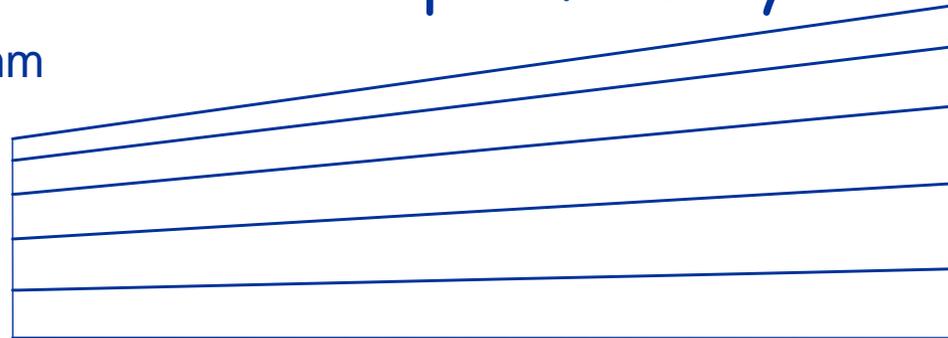
Commento:

- La struttura trasla in direzione x, con rotazioni trascurabili (differenza tra spostamento degli estremi nettamente inferiore al 5% del valore medio)
- La previsione degli spostamenti (usata per stimare il periodo con la formula di Rayleigh) forniva un valore in testa pari a 12.49 mm. I valori ora ottenuti sono molto vicini a quelli previsti

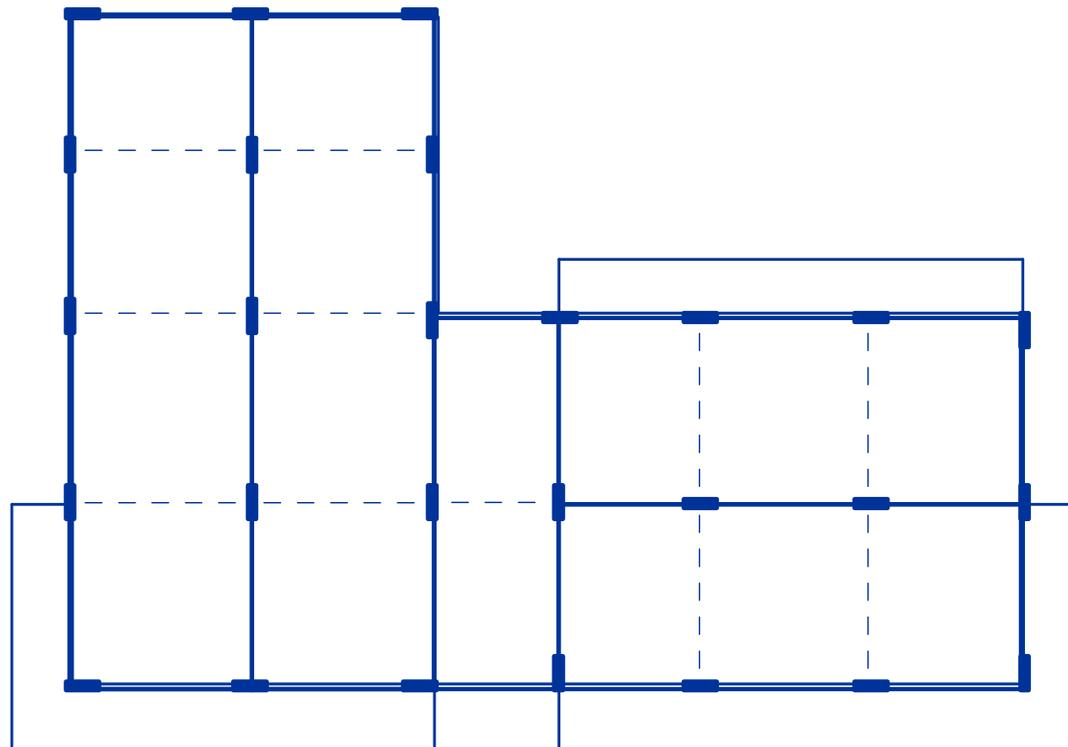


Spostamenti per forze y

8.99 mm



14.91 mm

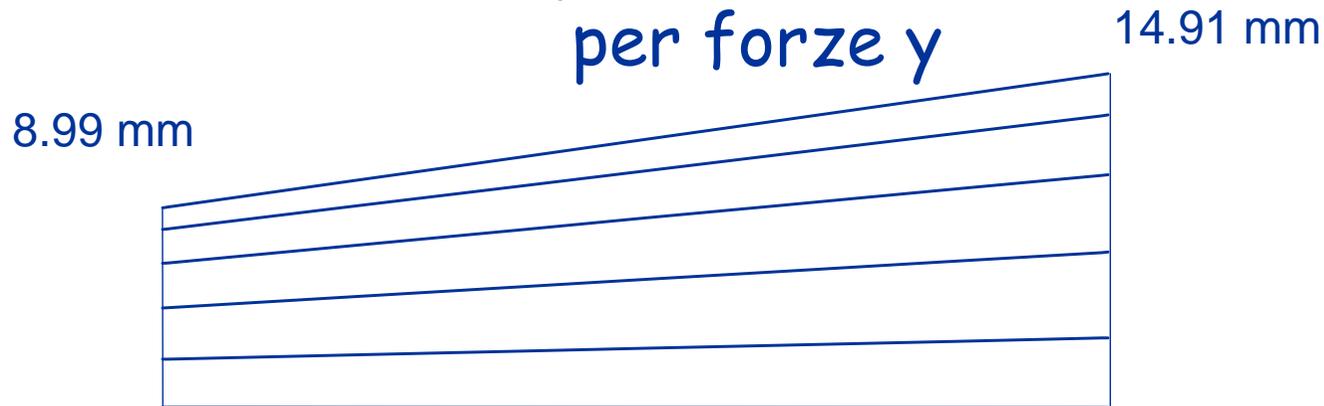


2.67 mm

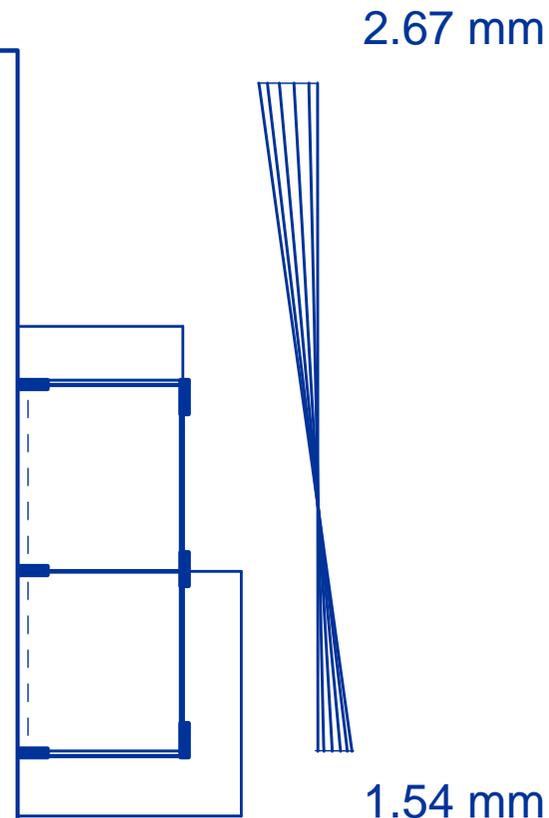


1.54 mm

Spostamenti per forze y



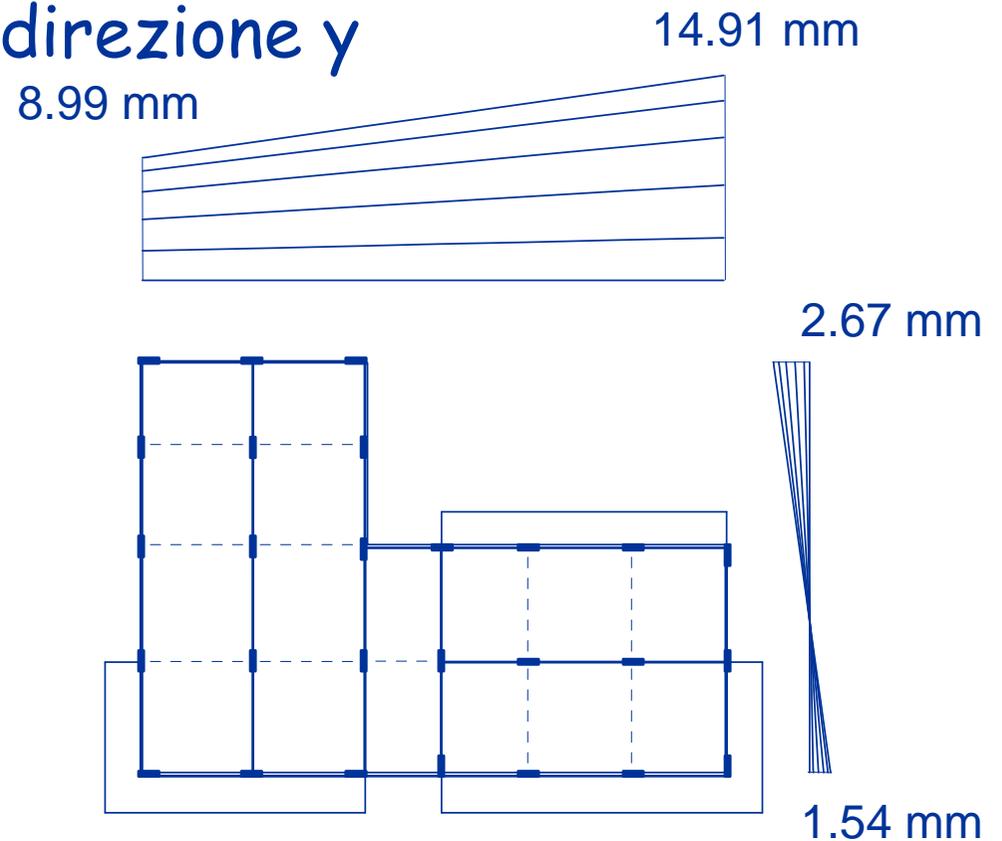
Nota:
Il calcolo è riferito al
primo dimensionamento,
con tutti pilastri 30x70.
Si è già notato che questa
soluzione non va bene
perché vi è forte distanza
tra centro di masse e
centro di rigidità



Spostamenti per forze in direzione y

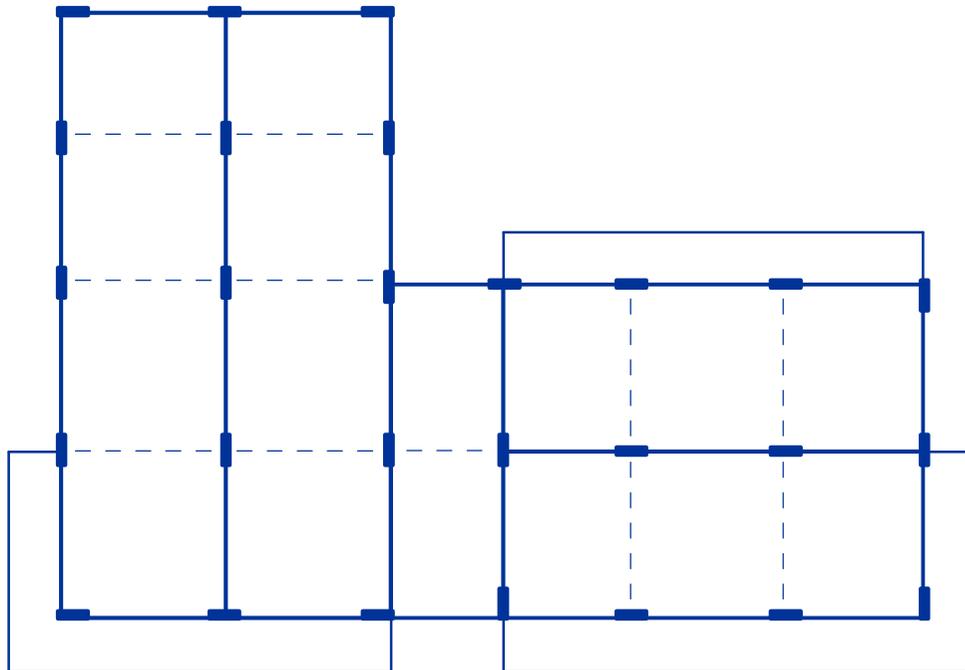
Commento:

- La struttura trasla in direzione y, ma ha rotazioni rilevanti (differenza tra spostamento degli estremi pari a quasi il 50% del valore medio)

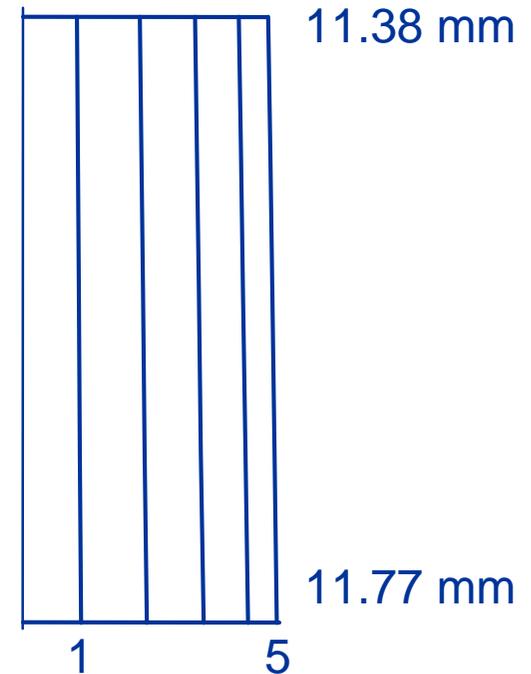


- La previsione degli spostamenti (usata per stimare il periodo con la formula di Rayleigh) forniva un valore in testa pari a 11.66 mm. Il valore medio ora ottenuto (11.95 mm) è molto vicino a quelli previsto

Spostamenti

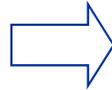


Spostamenti
per F_x

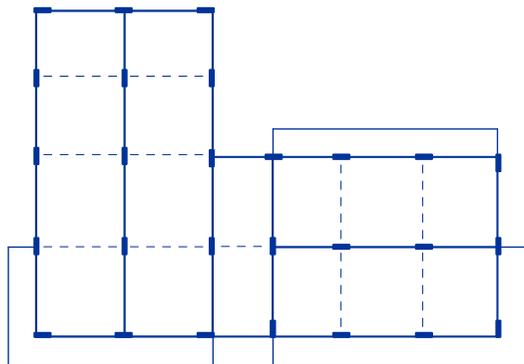
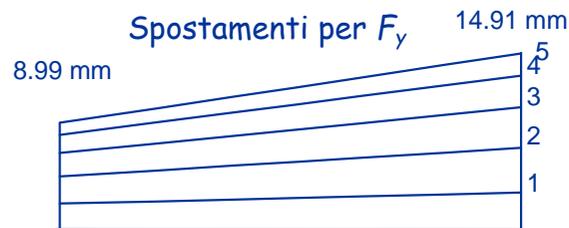


Spostamenti

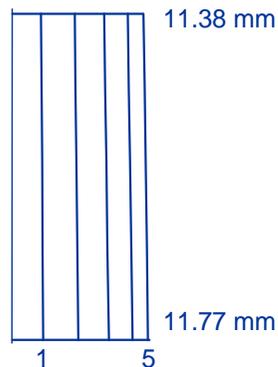
Rotazione non trascurabile per forze in direzione y



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% rispetto al valore medio)

Spostamenti per forze in direzione x uniformi

Analisi statica

Tanti numeri. Come non perdersi?

- 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?

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)

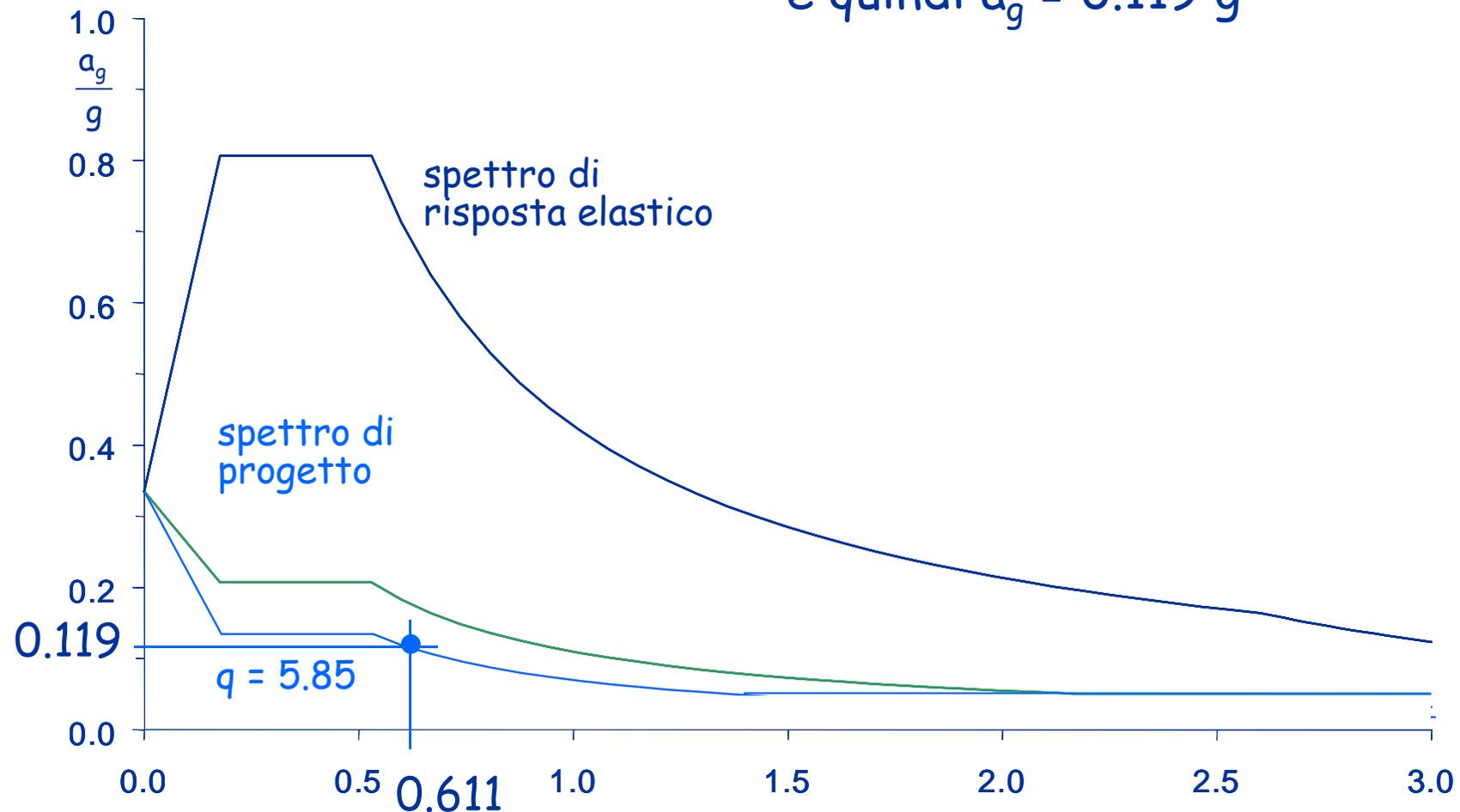
Piano	m (kN s ² /m)	F _x (kN)	u _x (mm)	F _x u _x (kN m)	m u _x ² (kN m s ²)
Torrino+V	313.1	506.4	11.628	5888.2	42.34
IV	334.9	435.9	10.307	4492.7	35.58
III	334.9	330.2	8.292	2738.2	23.03
II	334.9	224.6	5.652	1269.2	10.70
I	297.2	105.5	2.646	279.2	2.08
somma				14667.4	113.72

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

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

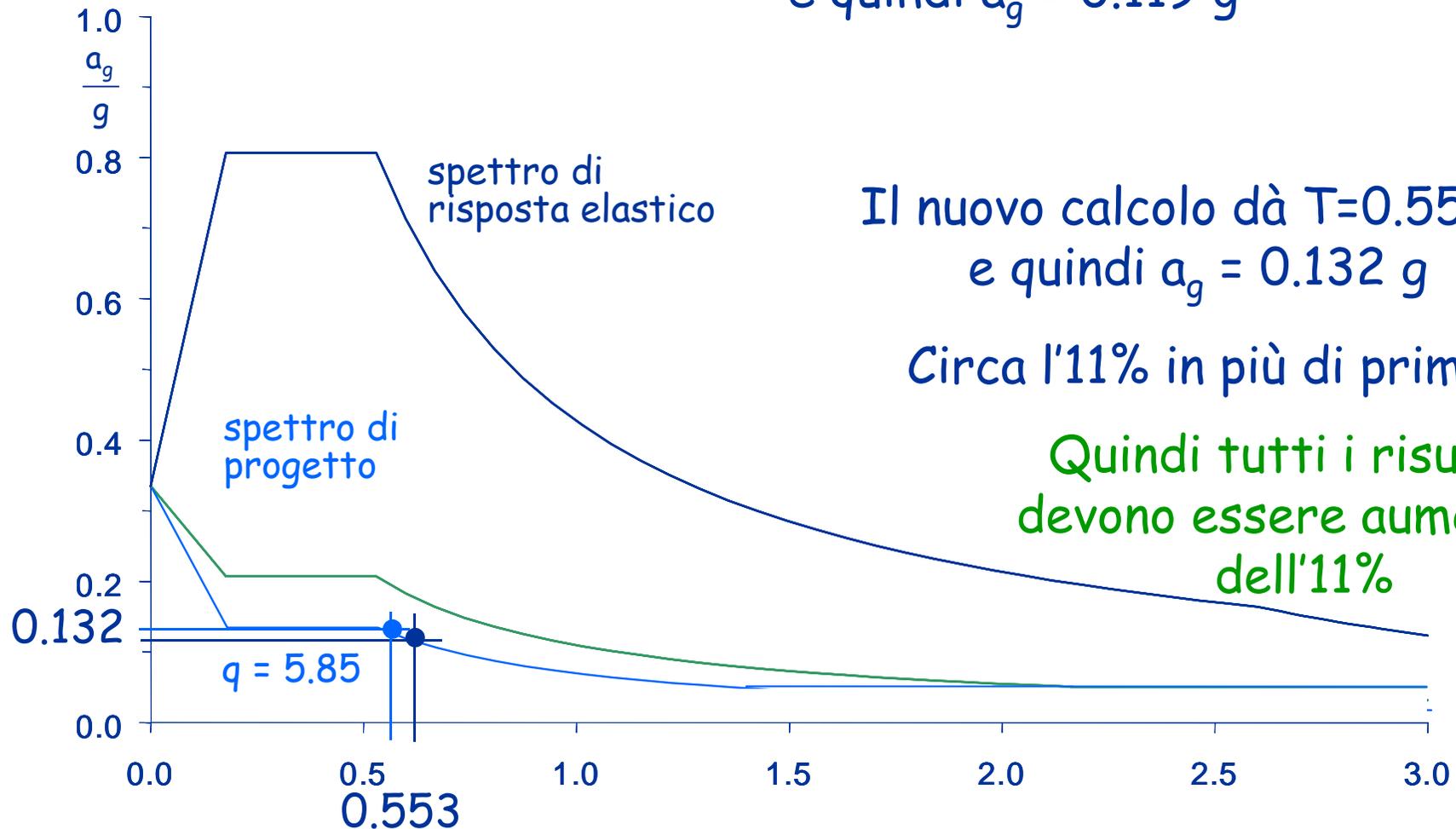
Esempio - ordinata spettrale

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



Esempio - ordinata spettrale

Si era ipotizzato $T=0.611\text{ s}$
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%

Analisi statica

Tanti numeri. Come non perdersi?

- 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?

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

Sollecitazioni per forze in direzione x senza incremento per rotazione

- I valori innanzi indicati si riferiscono ai pilastri più sollecitati (quelli con due travi emergenti) ed alle travi adiacenti
- Poiché avete valutato le rigidezze (per tipologia) sapete quanto sono rigidi gli altri pilastri rispetto ai primi. Il taglio e le caratteristiche di sollecitazione devono variare in proporzione.
Controllate che ci sia corrispondenza con le vostre previsioni relative a singoli pilastri
- Fate lo stesso anche per le travi diverse da quelle prima citate (adiacenti a pilastro più rigido)

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)