PROGETTO DI EDIFICI ANTISISMICI IN CEMENTO ARMATO

Ascoli Piceno, 17-18 maggio 2019

07c – Analisi strutturale

Docente del corso

AURELIO GHERSI

Corso organizzato da: FONDAZIONE DELL'ORDINE DEGLI INGEGNERI
DELLA PROVINCIA DI ASCOLI PICENO

Giudizio sulla struttura – analisi statica

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
  - In modo da controllare la propria capacità di previsione dei risultati
  - In modo da vedere se il comportamento della struttura corrisponde con gli obiettivi posti

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

- Esaminate gli spostamenti
- Aprite in Excel in file .SPO (leggete le istruzioni che ho messo in Dropbox: Tel2008-salva per Excel)

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:		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		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, ma voi mettete prima x)

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 1.3b, mag 2018)
  - Nota: il file è pensato per l'analisi modale
- Aprite il file e salvatelo con un vostro nome, es.
  Deformate (vers 1.3b, mag 2018) – 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
- Inserite nel foglio SPI i valori del vostro file SPI; anche in questo caso prima di farlo, spostate i risultati dalle colonne FG a quelle HI

Suggerimenti operativi

Visualizzazione grafica dei risultati

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

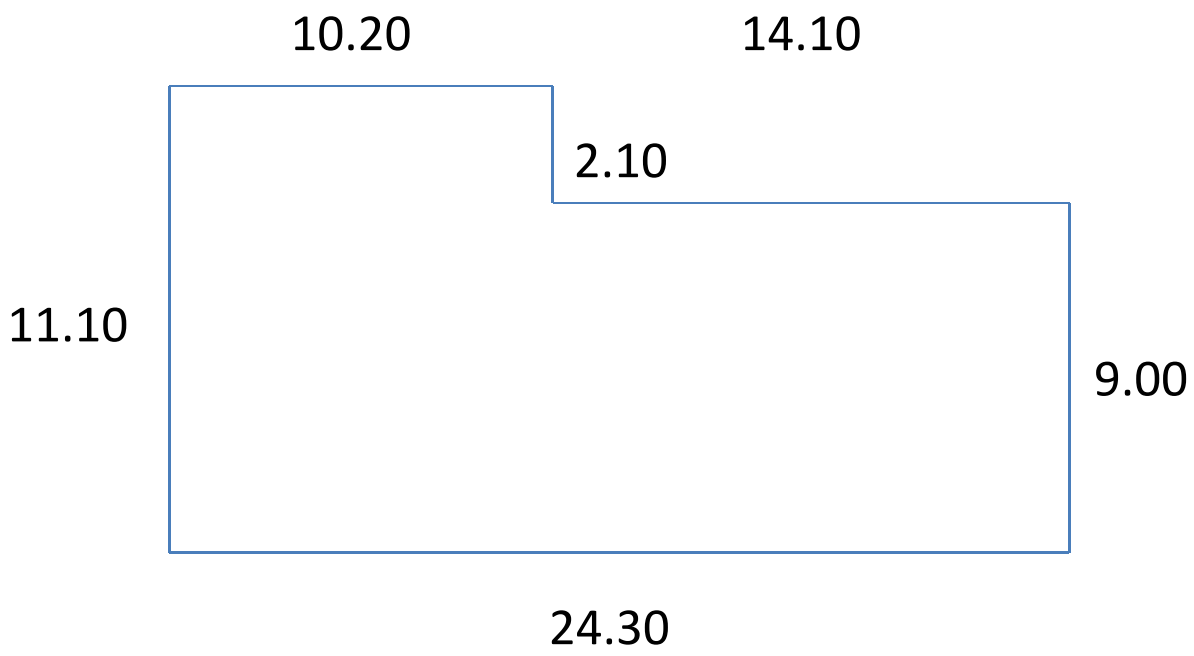
n piani	5	telai in direzione x	4
letto nel file SPO		dedotto dal file SPO:	1
n telai	10	telai in direzione y	6
letto nel file SPO			

- 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. Se non è così, occorre correggere il file dati (basta spostare blocchi di valori)

Suggerimenti operativi

Visualizzazione grafica dei risultati

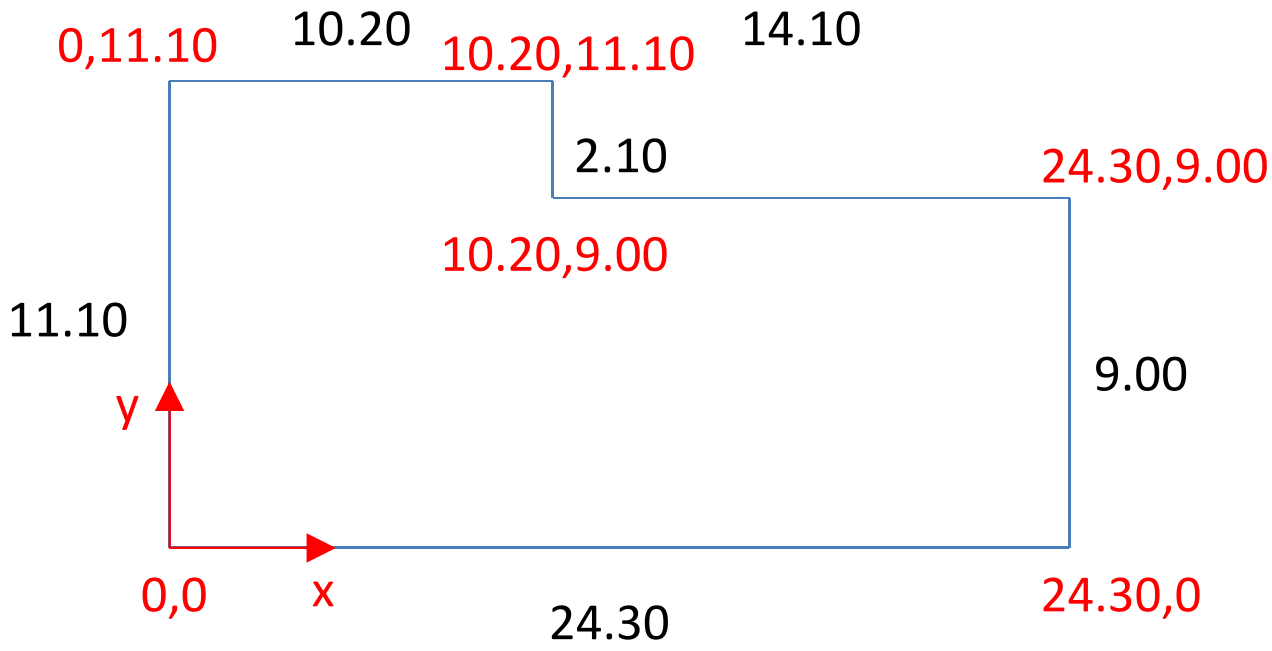
- Guardate il contorno del vostro edificio



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

- Indicate nel foglio Dati il vostro contorno

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										
Contorno dell'impalcato				**Dimensione crocetta**						
n punti	6			0.03	(rispetto a dimensione max)					
coordinate dei punti del contorno										
	1	2	3	4	5	6				
x	0.00	24.30	24.30	10.20	10.20	0.00				
y	0.00	0.00	9.00	9.00	11.10	11.10				

Suggerimenti operativi

Visualizzazione grafica dei risultati

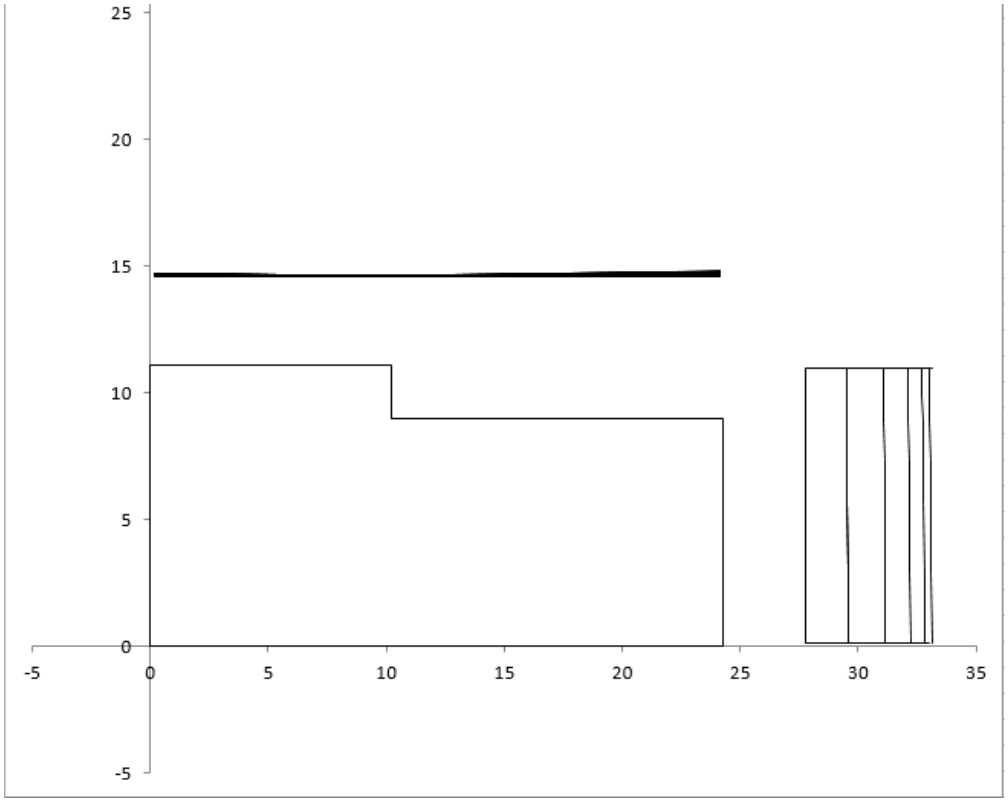
- Aggiungete nel foglio Dati la posizione dei vostri telai

Posizione dei telai in direzione x			Posizione dei telai in direzione x		
telaio	y	stima da SPO	telaio	x	stima da SPO
1	10.95	10.95	1	0.15	0.15
2	8.85	8.85	2	5.65	5.65
3	5.65	5.65	3	10.05	10.05
4	0.15	0.15	4	15.15	15.15
			5	20.00	20.00
			6	24.15	24.15

Suggerimenti operativi

Visualizzazione grafica dei risultati

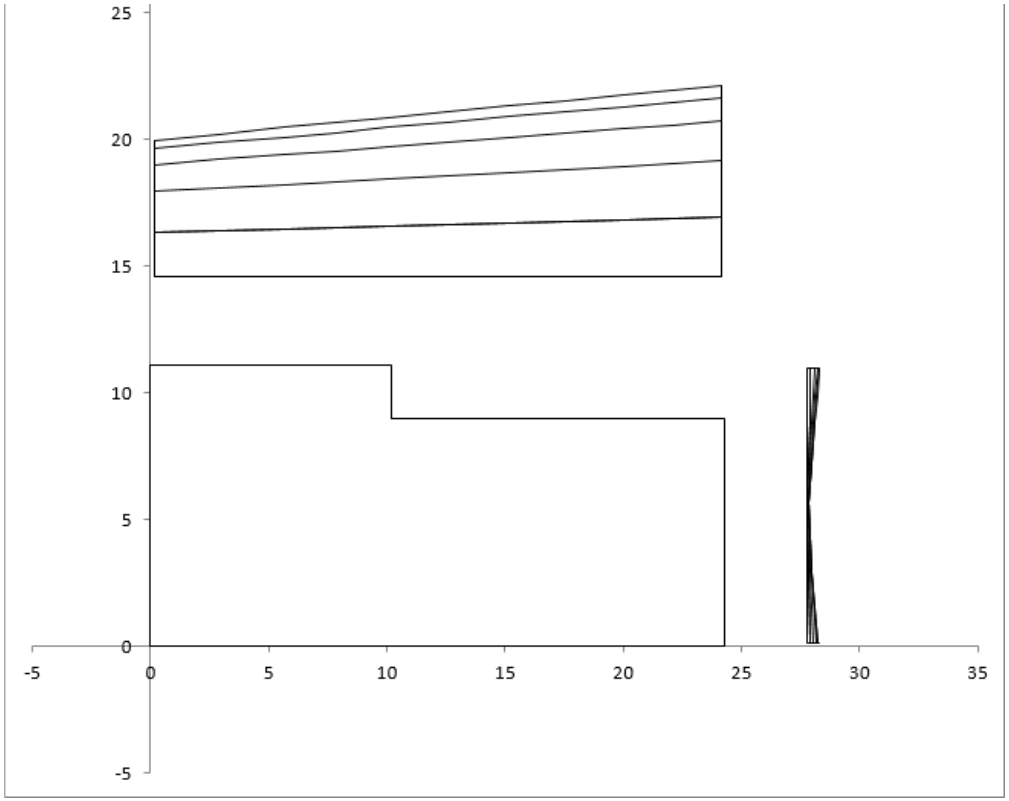
- Guardate il foglio Fx (sta-mod)
  Se avete svolto una analisi statica, avrete la deformata per forze x (vista dall'alto). In caso di analisi modale avrete l'inviluppo modale per sisma x



Suggerimenti operativi

Visualizzazione grafica dei risultati

- Guardate il foglio Fy (sta-mod)
  Se avete svolto una analisi statica, avrete la deformata per forze y (vista dall'alto). In caso di analisi modale avrete l'inviluppo modale per sisma y



Fine suggerimenti operativi

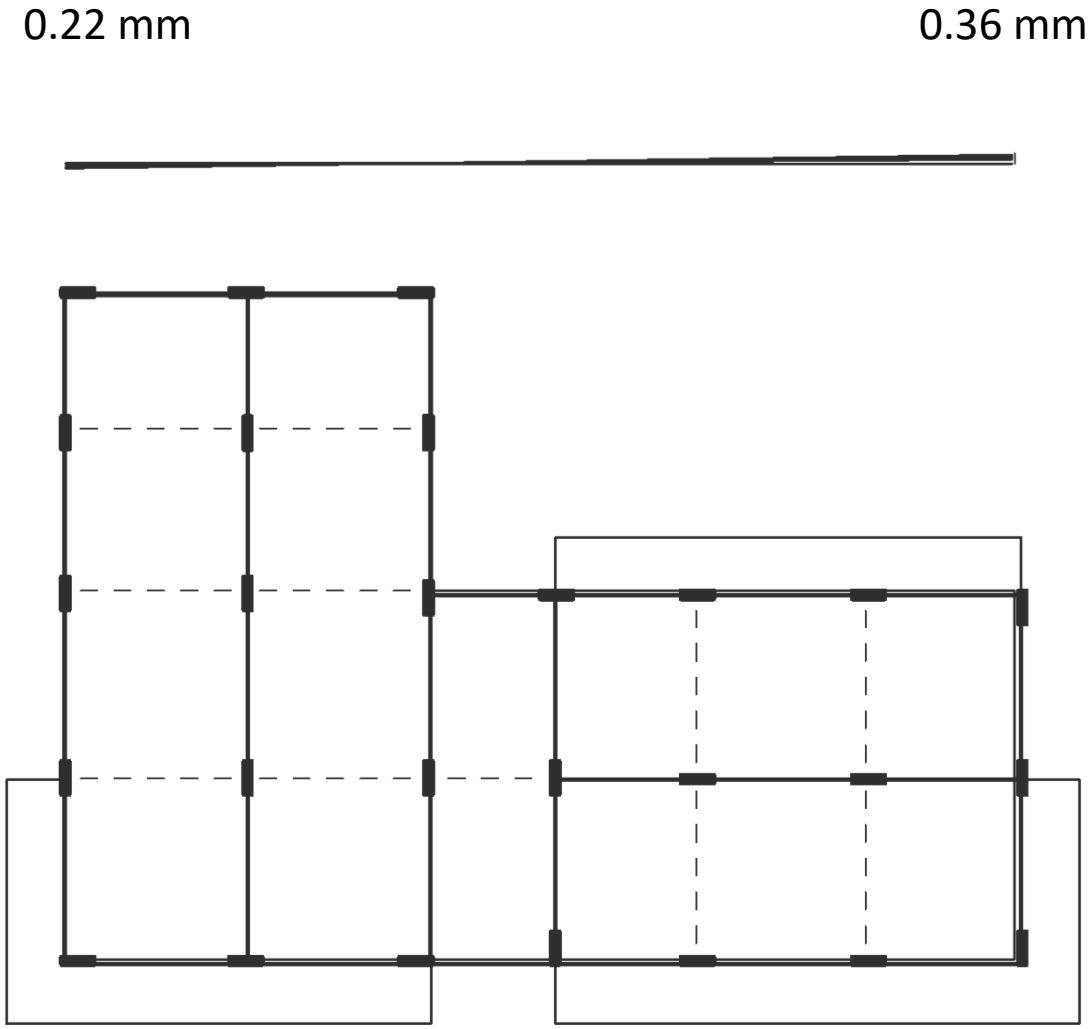
Analisi statica

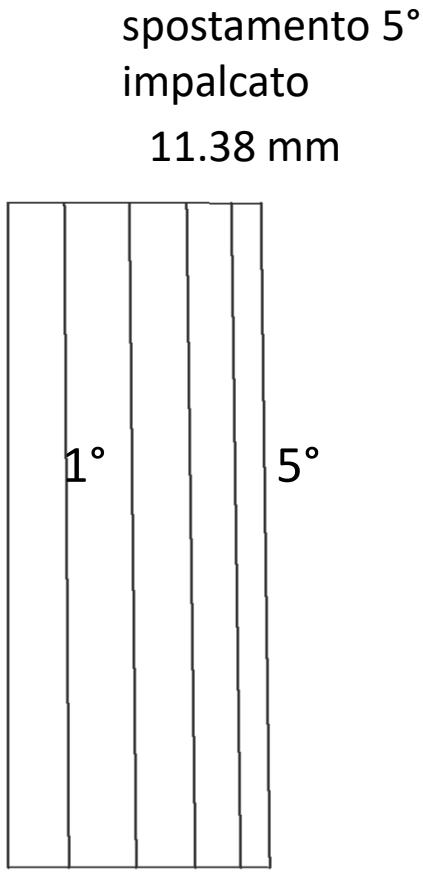
Tanti numeri. Come non perdersi?

- 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



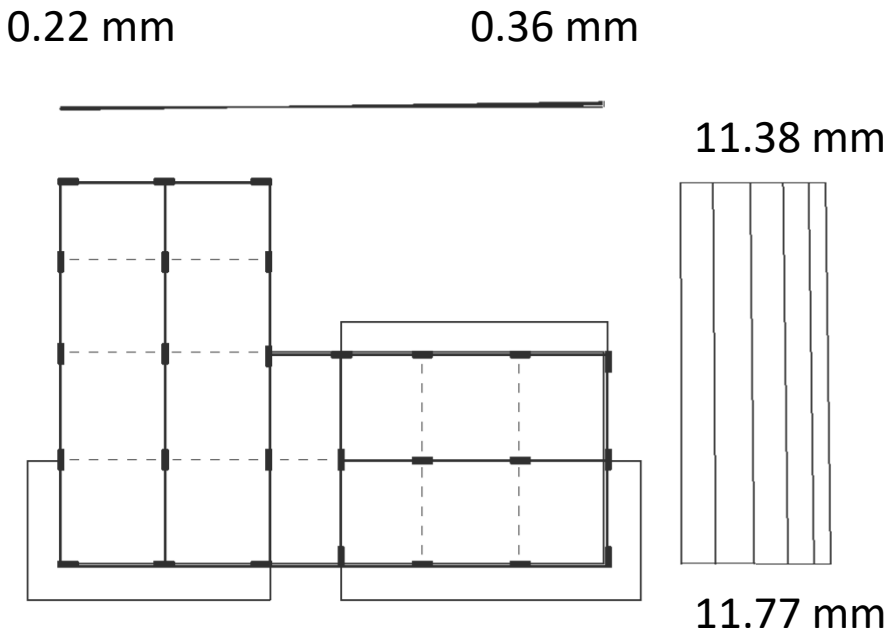


Spostamenti

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)



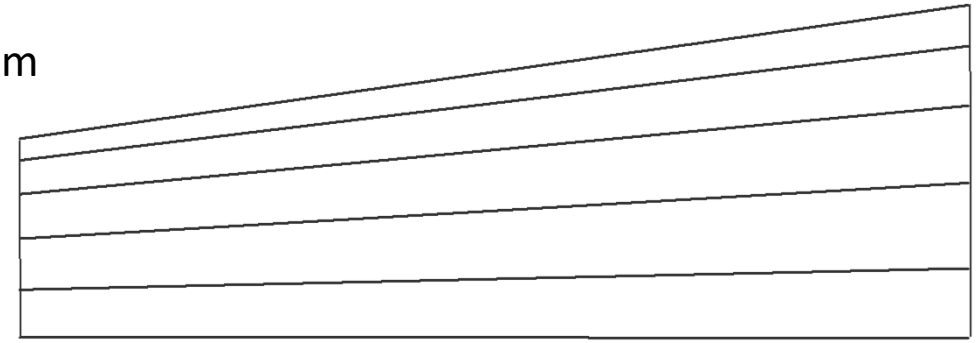
- La previsione degli spostamenti (usata per stimare il periodo con la formula di Rayleigh) forniva un valore in testa pari a 12.49 mm. I valori ora ottenuti sono molto vicini a quelli previsti

Spostamenti

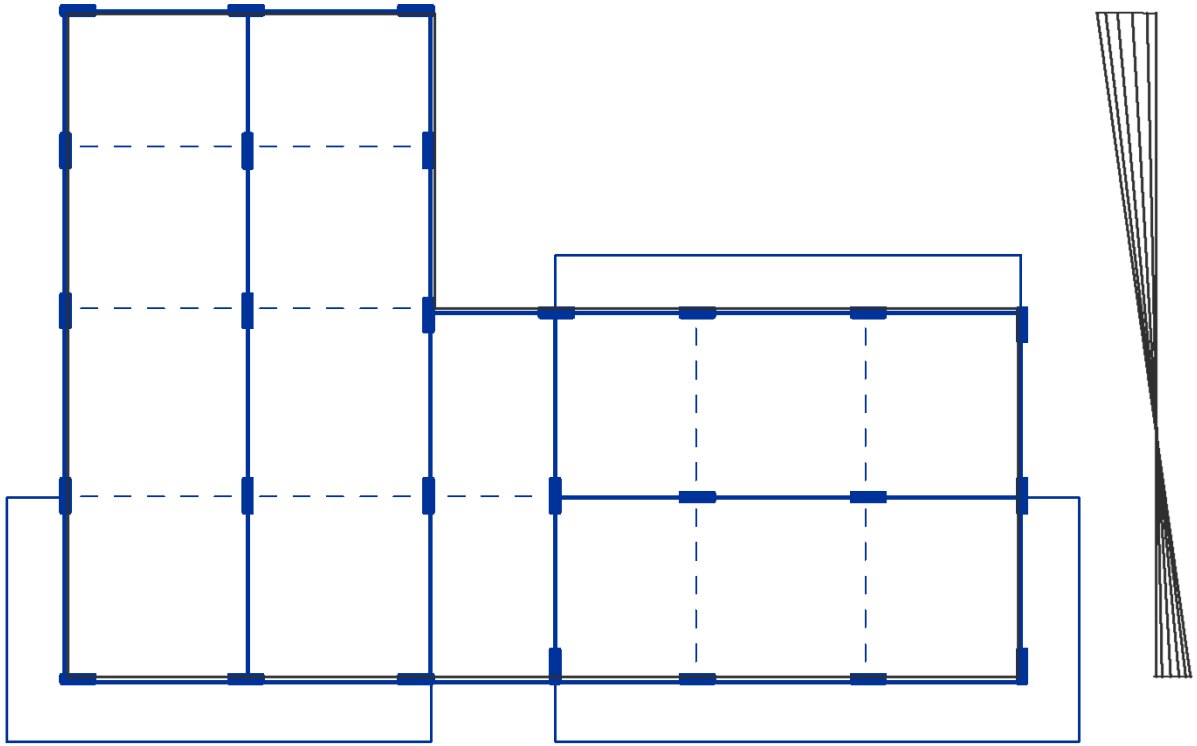
per forze y

14.91 mm

8.99 mm



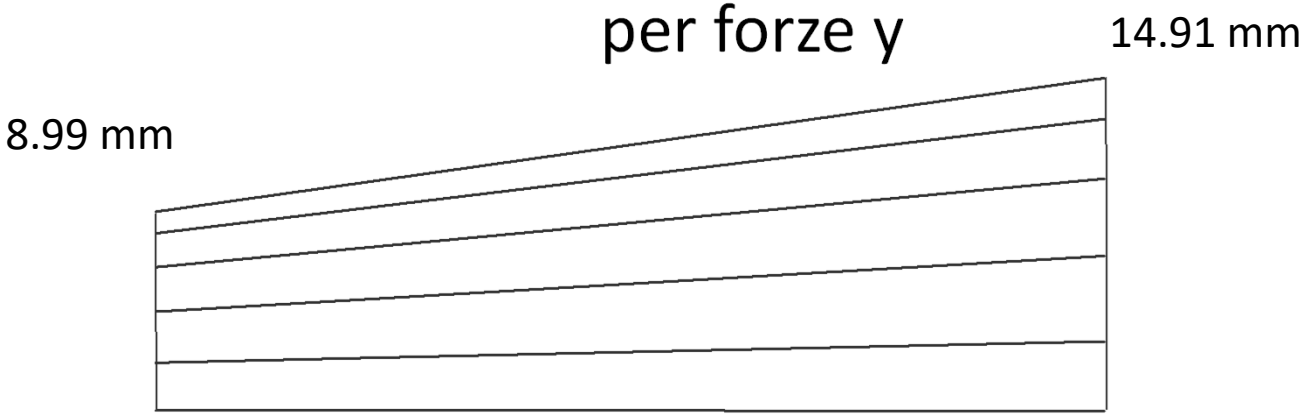
2.67 mm



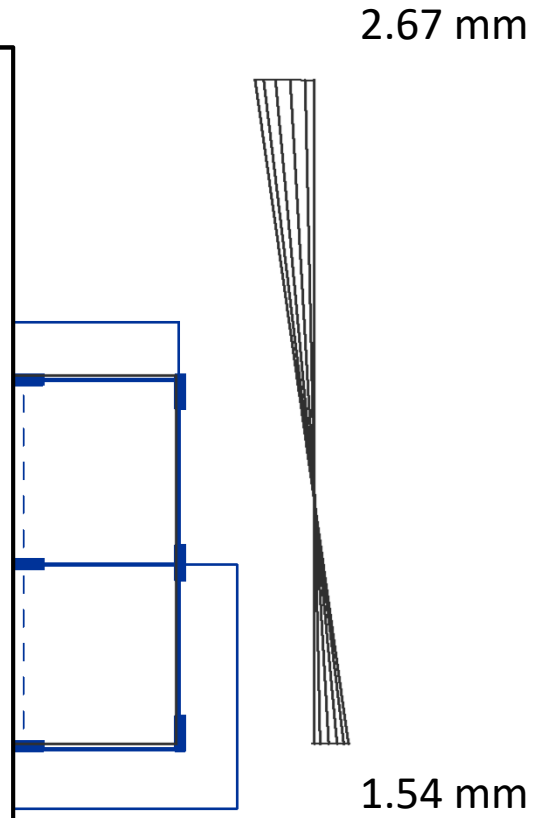
1.54 mm

Spostamenti

per forze y

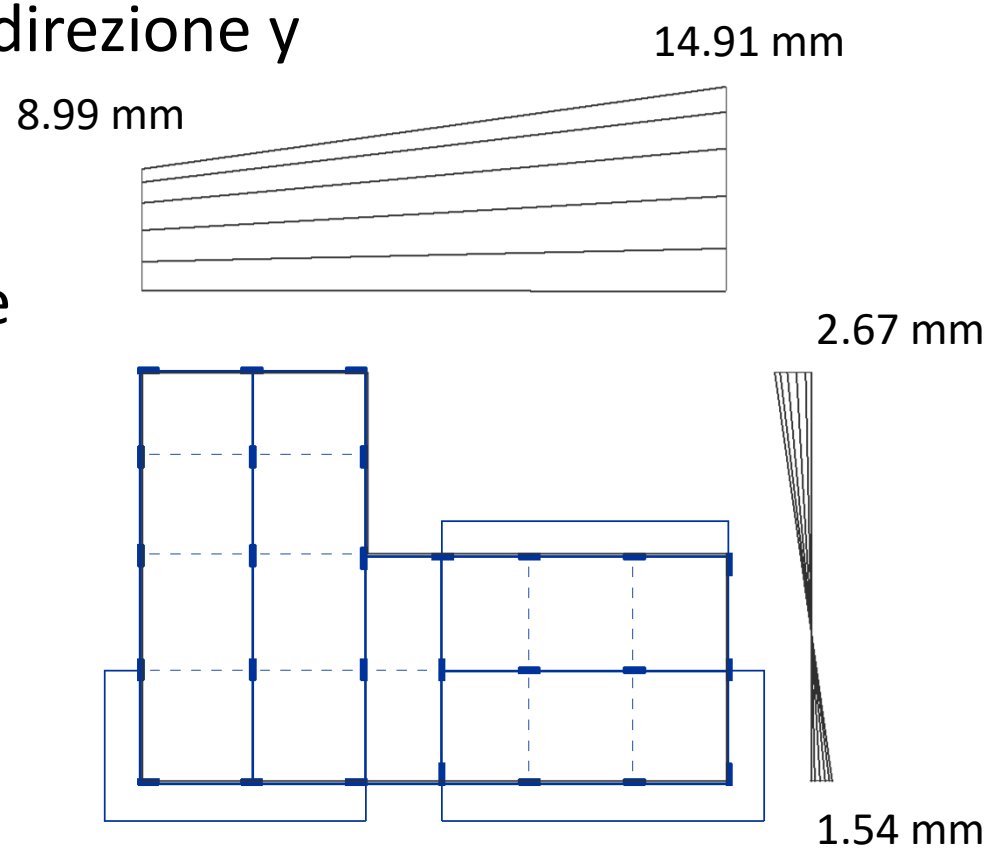


Nota:
Il calcolo è riferito al primo dimensionamento, con tutti pilastri 30x70.
Si è già notato che questa soluzione non va bene perché vi è forte distanza tra centro di masse e centro di rigidezza



Spostamenti

per forze in direzione y

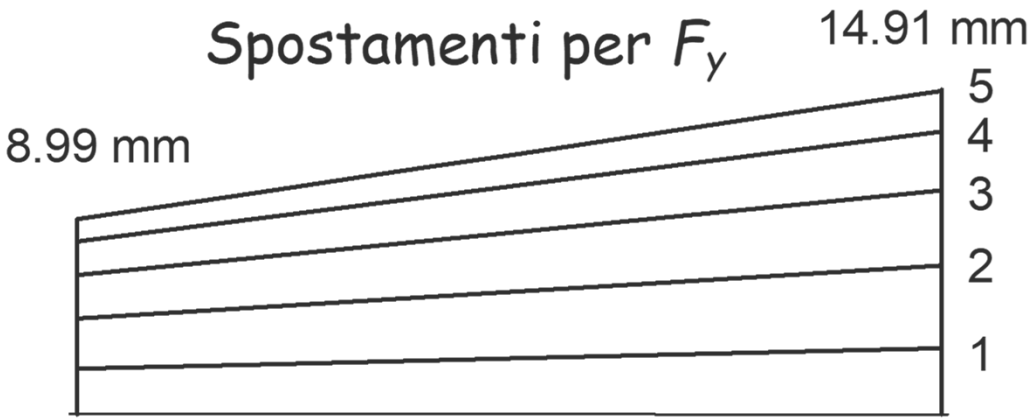


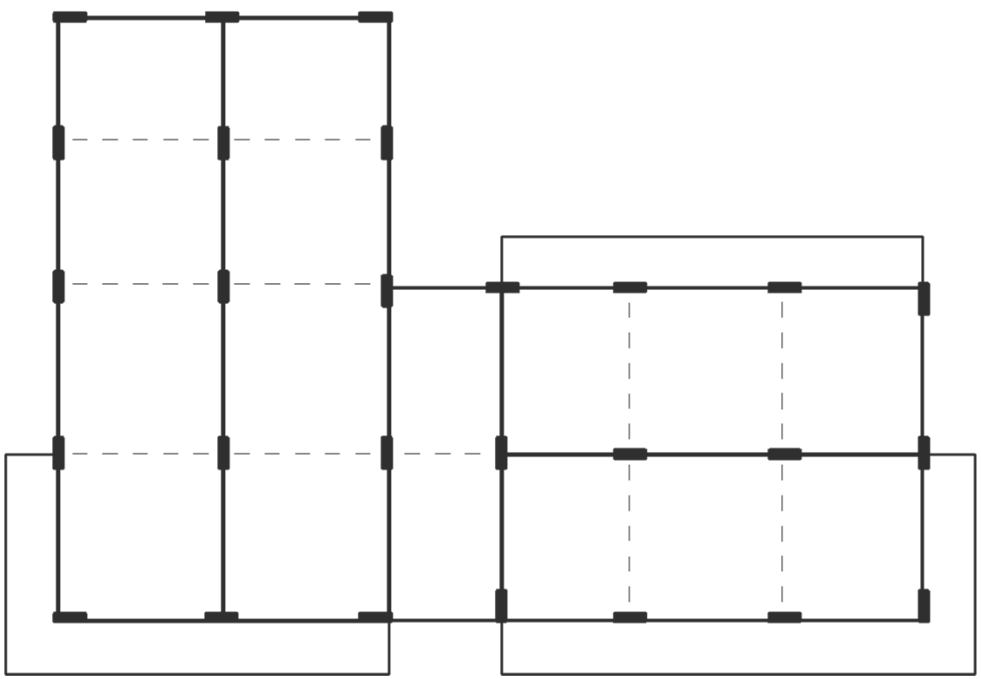
Commento:

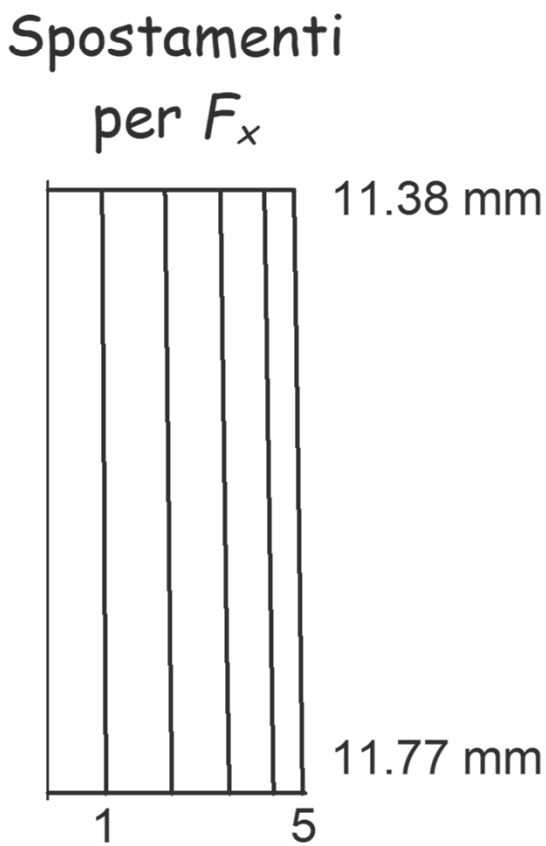
- La struttura trasla in direzione y, ma ha rotazioni rilevanti (differenza tra spostamento degli estremi pari a quasi il 50% del valore medio)

- 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



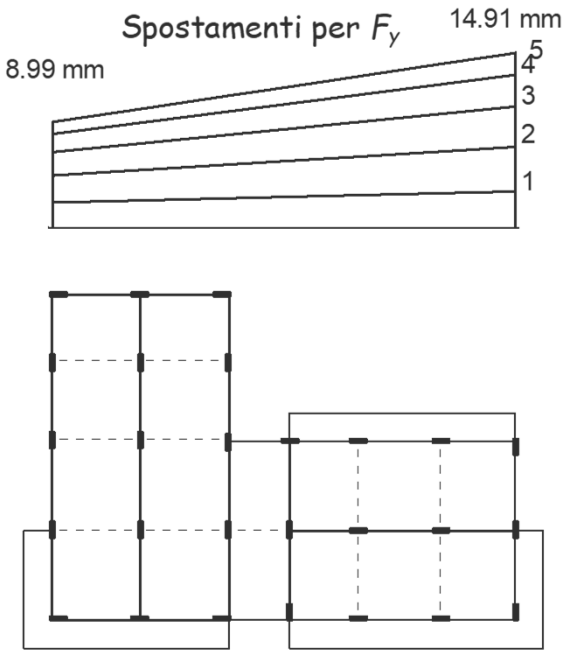


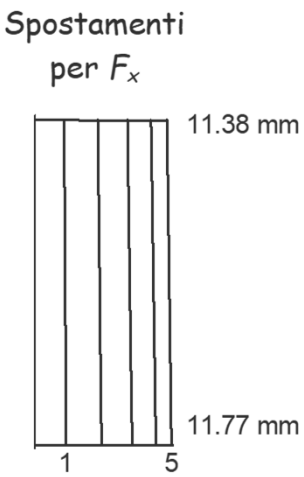


Spostamenti

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% 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)

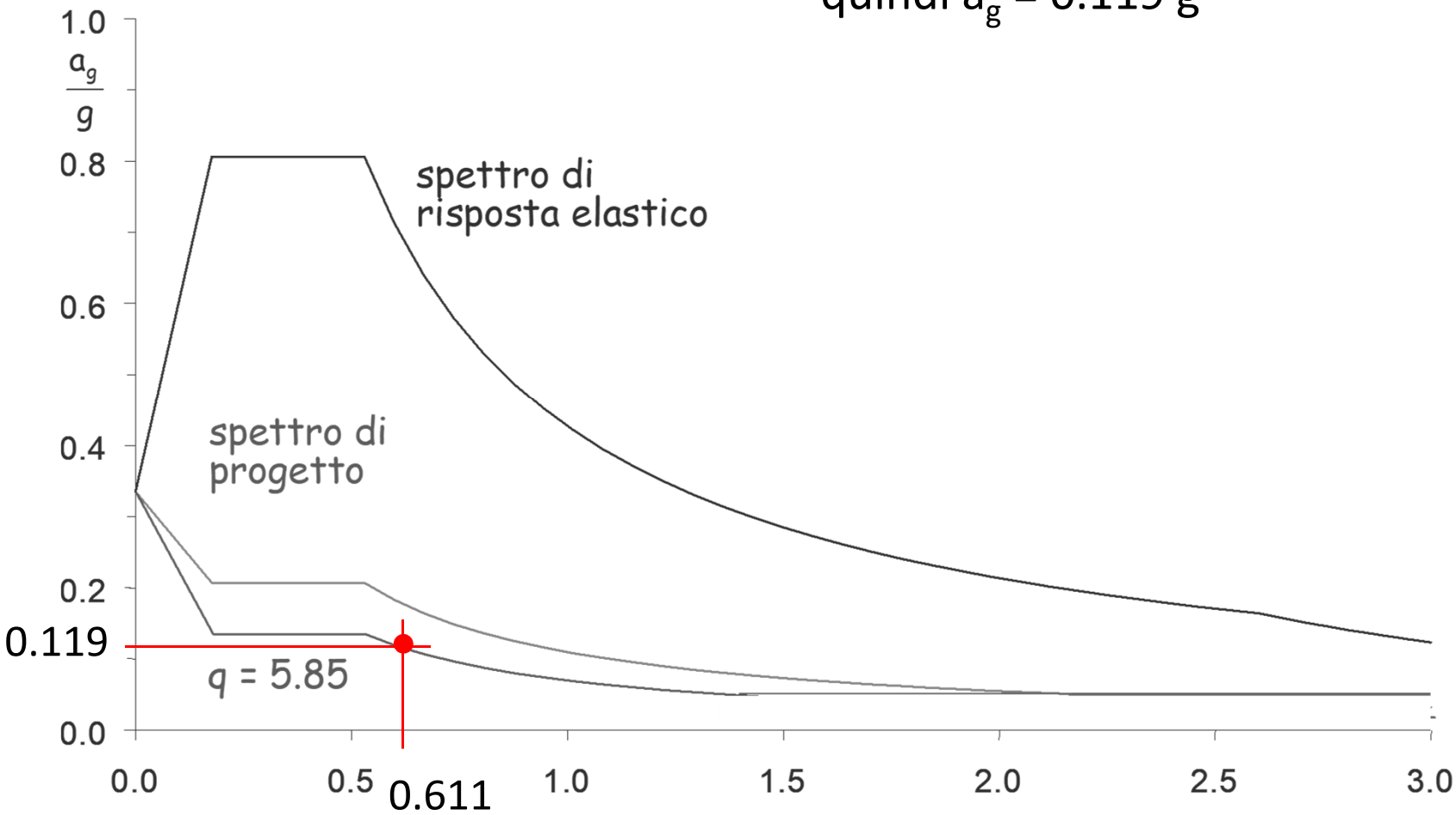
Piano	m (kN s^2/m)	F_x (kN)	u_x (mm)	$F_x\ u_x$ (kN m)	$m\ u_x^2$ (kN m s^2)
Torrino+V	313.1	506.4	11.628	5888.2	42.34
IV	334.9	435.9	10.307	4492.7	35.58
III	334.9	330.2	8.292	2738.2	23.03
II	334.9	224.6	5.652	1269.2	10.70
I	297.2	105.5	2.646	279.2	2.08
somma				14667.4	113.72

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{N} m_i\ u_i^2}{\sum_{i=1}^{N} F_i\ u_i}}$$

$T_x = 0.553$ s

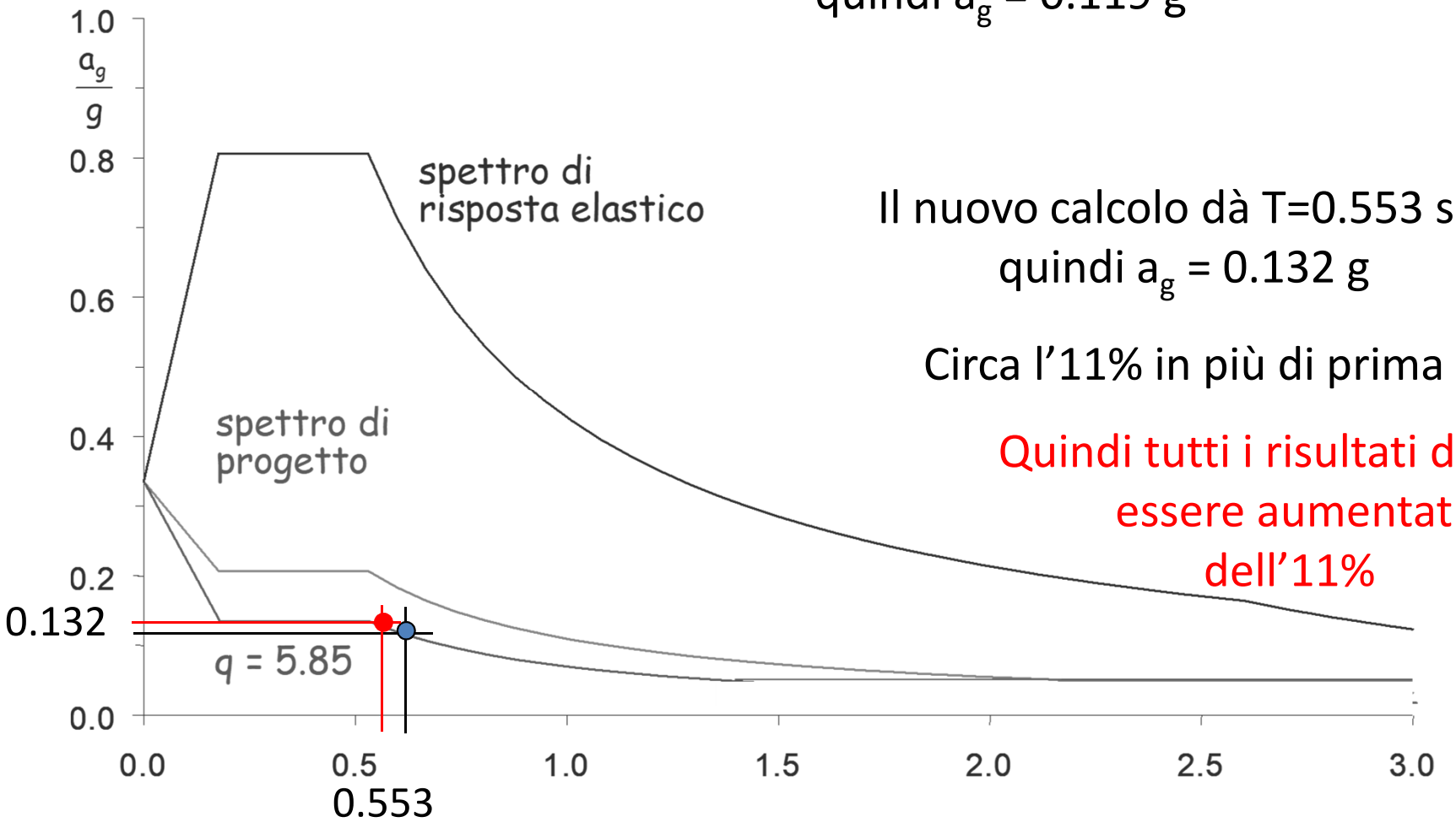
Esempio – ordinata spettrale

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%

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

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{N} m_i \, u_i^2}{\sum_{i=1}^{N} F_i \, u_i}}$$

si trova

$T_y = 0.552$ 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)

Ulteriore controllo

rigidezze

- Se mandate in esecuzione il programma Tel settando in Impostazioni calcolo la voce Stampa rigidezze quando fate Salva per Excel viene creato anche un file .RIG che contiene le rigidezze dei singoli pilastri
- Importate in Excel i valori del file .RIG con la procedura generale descritta
- Potete utilizzare il file Excel RigTel per ordinare automaticamente i valori delle rigidezze in una tabella (piano per piano)
- I valori ottenuti possono essere confrontati con quelli stimati