

Ordine degli ingegneri della provincia di Lecce



Progetto di edifici antisismici in cemento armato con particolare riferimento alle zone con sismicità medio-bassa

Arthotel & Park Lecce, Via Giorgio De Chirico 1, Lecce

6 novembre 2025

Influenza della sismicità del sito sulla progettazione di edifici

Aurelio Gheresi

Pericolosità sismica della regione Puglia

- La Puglia è una regione che si estende molto in lunghezza, da sud a nord, con pericolosità sismica molto variabile
 - Valori estremamente bassi, come $a_g = 0.05$ g per SLV, si trovano nelle province di Lecce, Taranto e Brindisi
 - I valori crescono di poco nei dintorni di Bari (0.07 g) anche se in alcuni comuni della sua provincia, come Altamura, raggiungono 0.10 g
 - La pericolosità aumenta andando verso la zona di Barletta, Andria e Trani con valori intorno ai 0.15 – 0.17 g
 - Molto variabili sono i valori nella provincia di Foggia, dove oscilla tra lo 0.14 g del capoluogo e lo 0.20 g del Gargano
- Si consideri che buona parte della Sicilia Orientale e della Calabria ha valori intorno ai 0.25 – 0.27 g

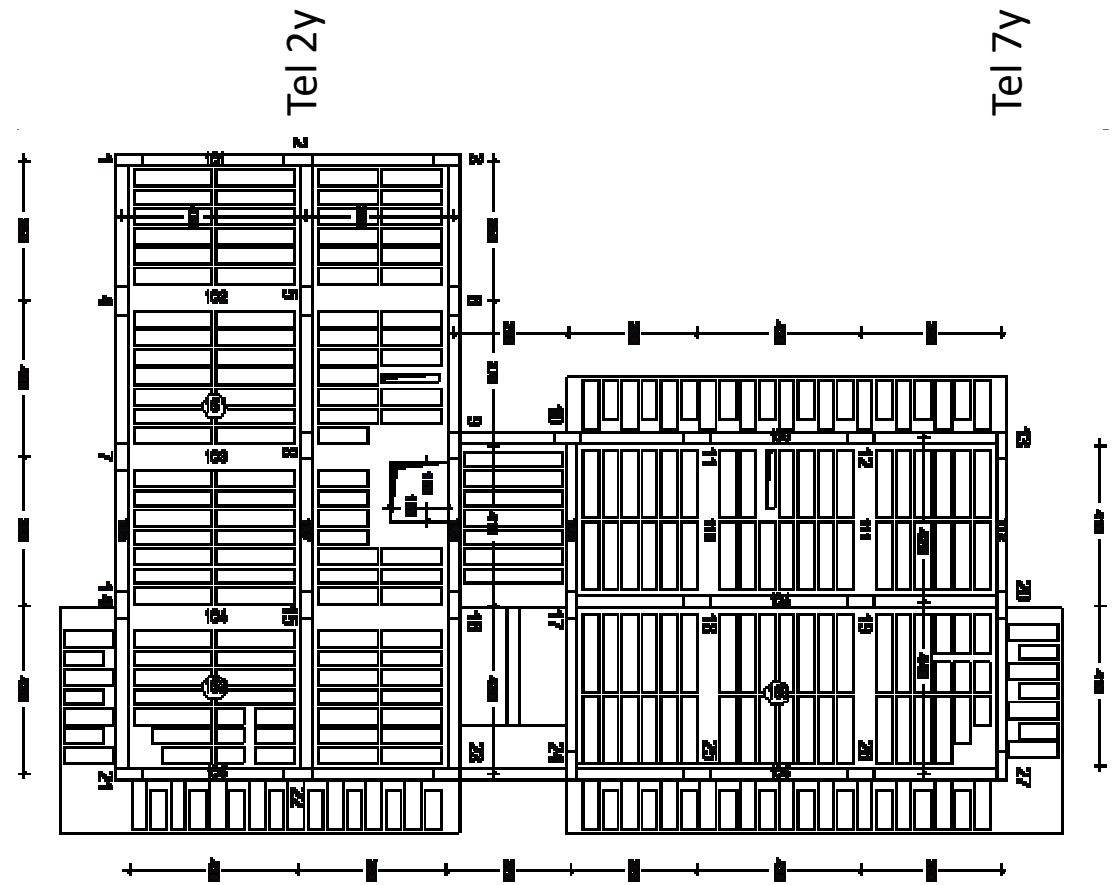
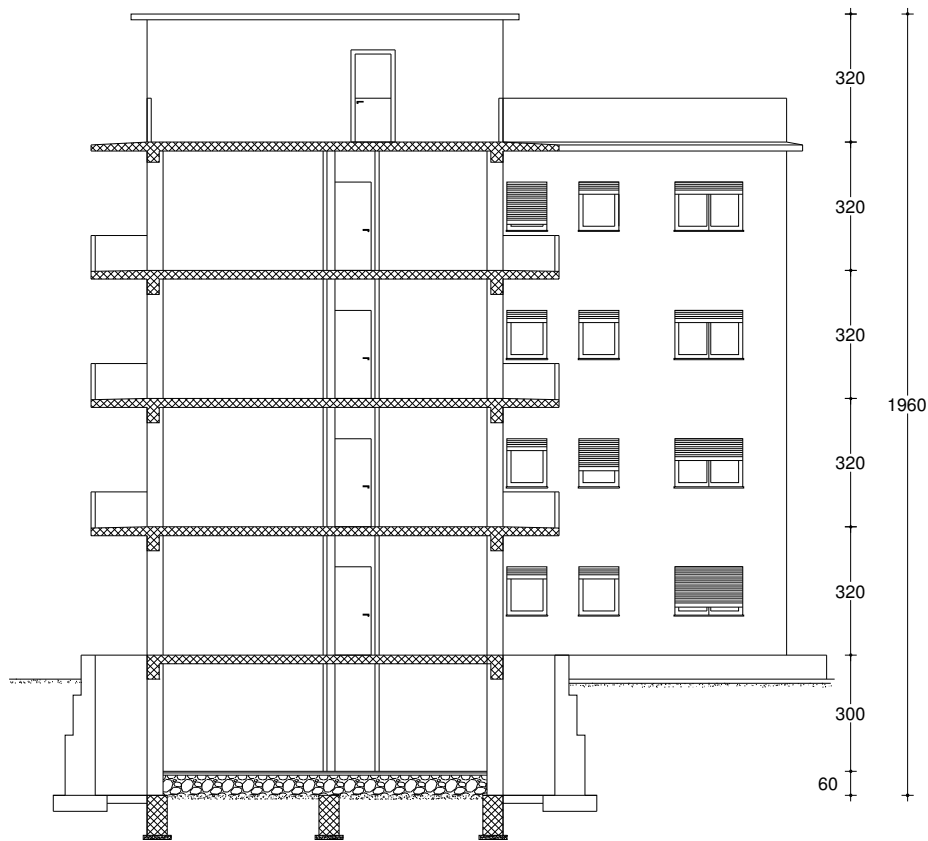
Siti considerati per il confronto

- Per fare un confronto, ho usato il mio esempio del libro che (anche se non l'ho esplicitamente scritto) è pensato come ubicato a Messina, con 0.250 g con suolo tipo C, e lo stesso edificio in due siti differenti:
 - Gagliano del Capo (LE), con 0.071 g con suolo tipo C
 - Andria (BAT), con 0.172 g con suolo tipo B

Ho anche effettuato, preliminarmente, una valutazione dell'effetto del vento, per confrontare anche questo con l'effetto del sisma

Edificio in esame

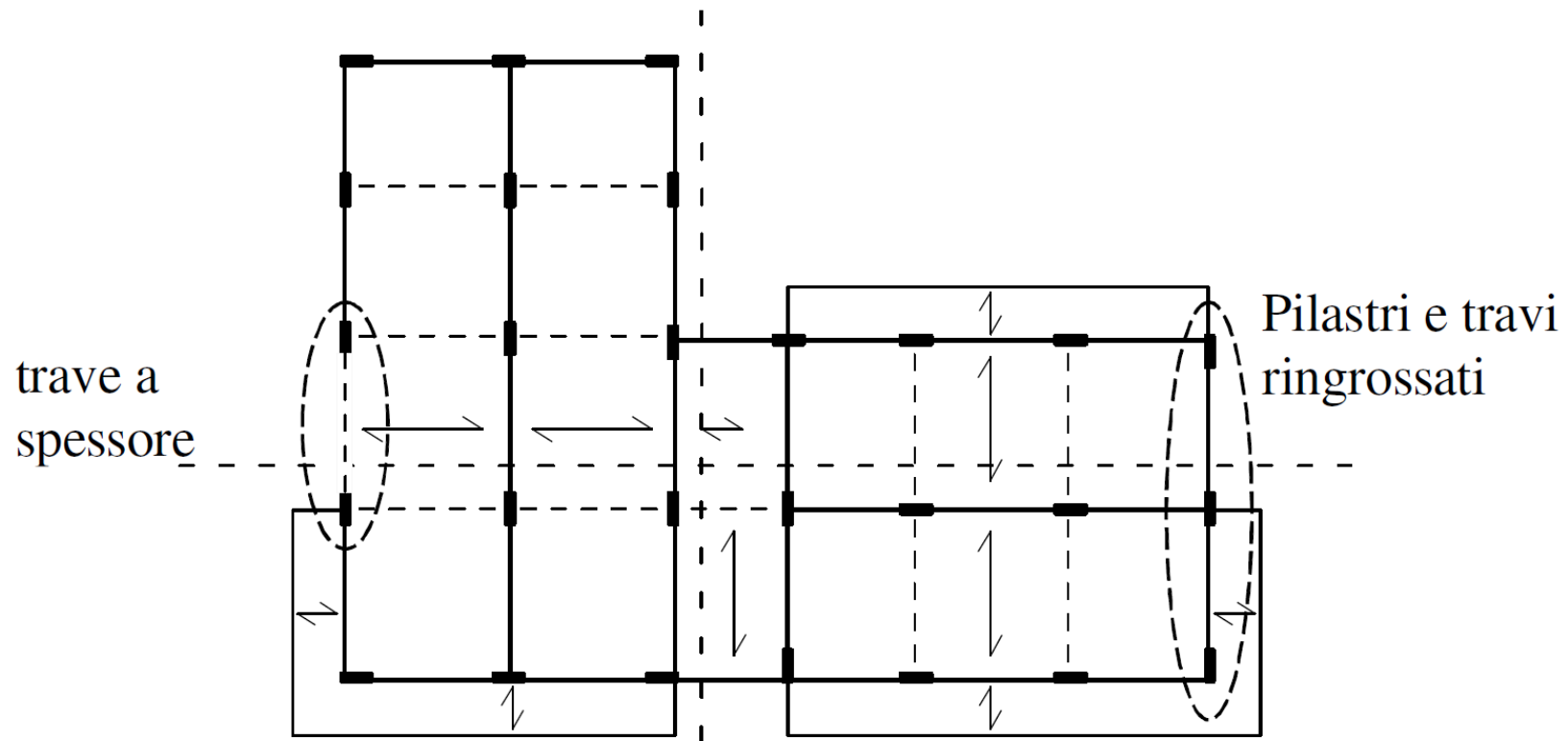
- Sezione e carpenteria dell'edificio



Nota: interasse pilastri pari a circa 4.00 m

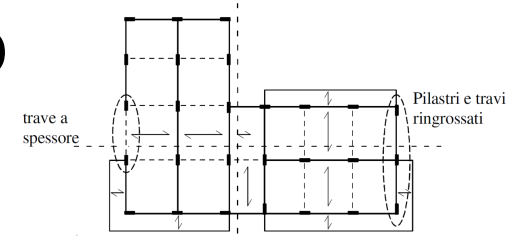
Edificio in esame

- La struttura non è ben bilanciata per forze orizzontali in direzione y

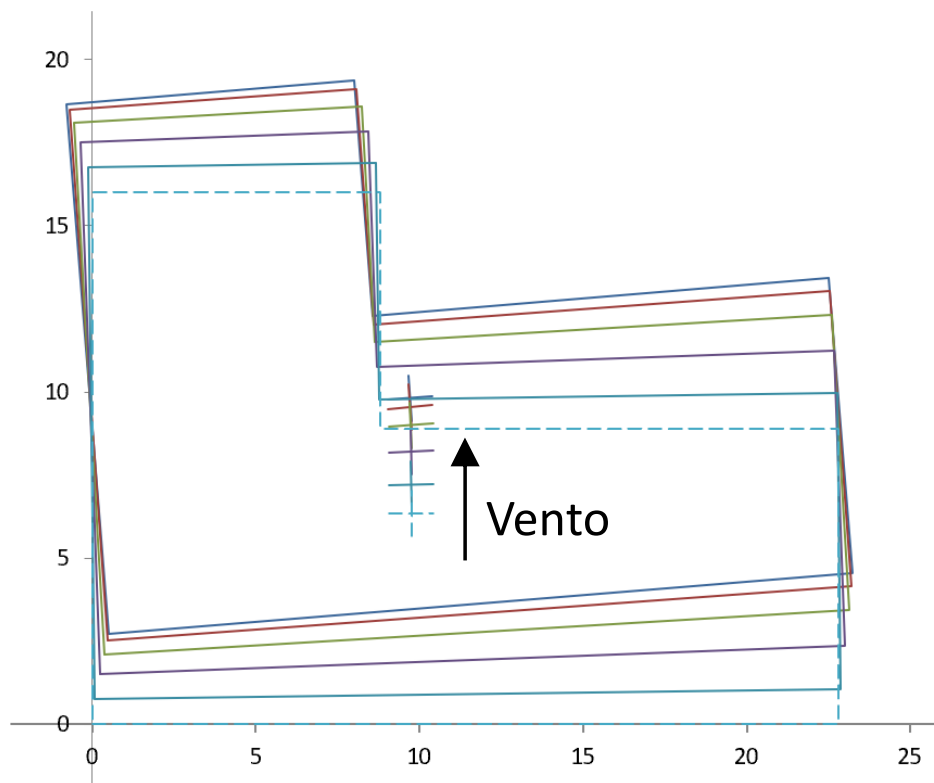


Possibili modifiche per un bilanciamento della struttura

Effetto di carichi verticali e vento spostamenti



- Si è calcolato l'effetto del vento in direzione y perché è la facciata più ampia



Spostamento dovuto al vento
La struttura è più rigida nel lato sinistro, quindi si ha uno spostamento del lato destro molto maggiore

Nota: in questo esempio

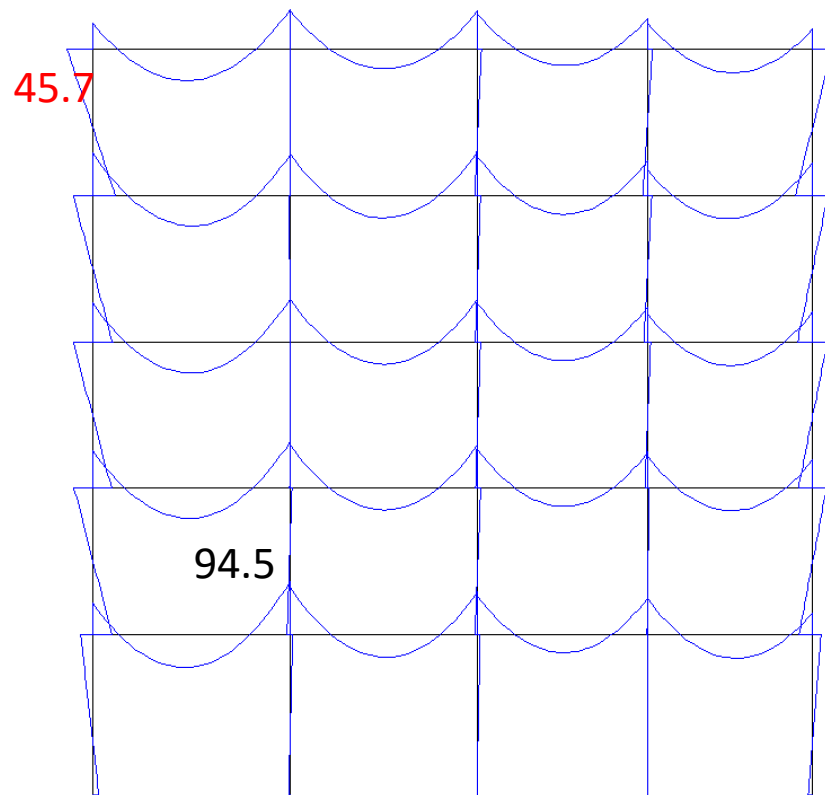
- Travi emergenti 30x50
- Pilastri 30x50
- Solo lato destro 3 pilastri di sezione 30x60

Effetto di carichi verticali e vento

momento flettente nei telai

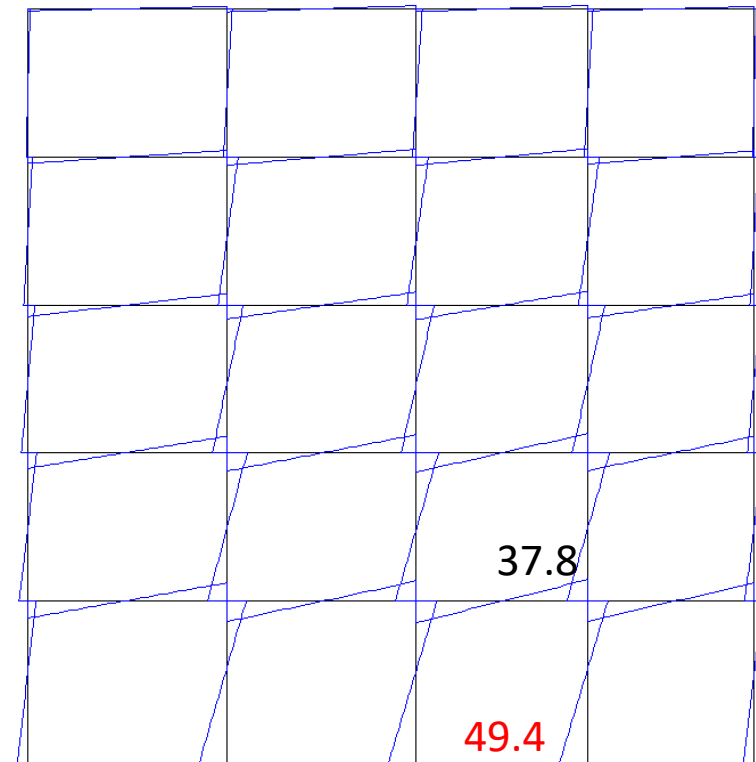
- Momento flettente nel telaio 2y (2° da sinistra)

In nero M travi, in rosso M pilastri – momenti in kNm



$$M_{\max}(q+v) = 127$$

+35%



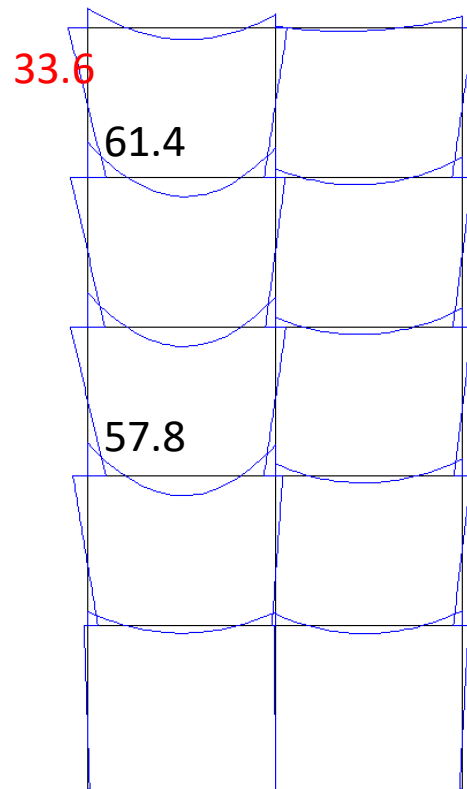
$$M_{\max}(q+v) = 51$$

Le sezioni scelte
vanno più che bene

Effetto di carichi verticali e vento

momento flettente nei telai

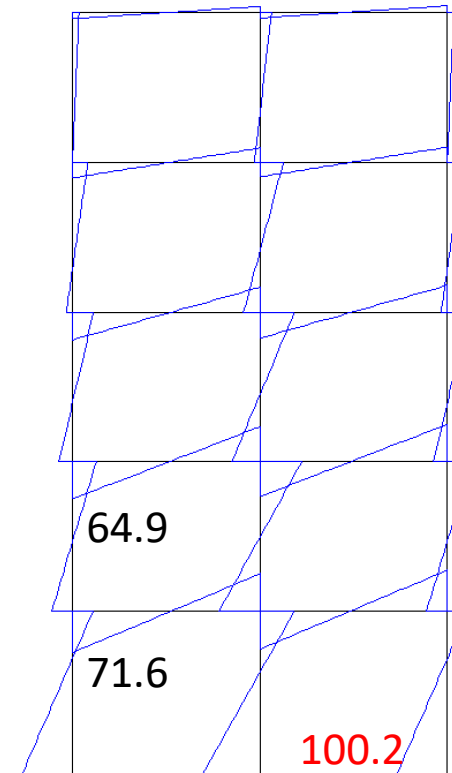
- Momento flettente nel telaio 7y (a destra)
In nero M travi, in rosso M pilastri – momenti in kNm



Nota: su questo
telaio q è minore

$$M_{\max}(q+v) = 123$$

+100%



vento

$$M_{\max}(q+v) = 101$$

Le sezioni scelte
vanno più che bene

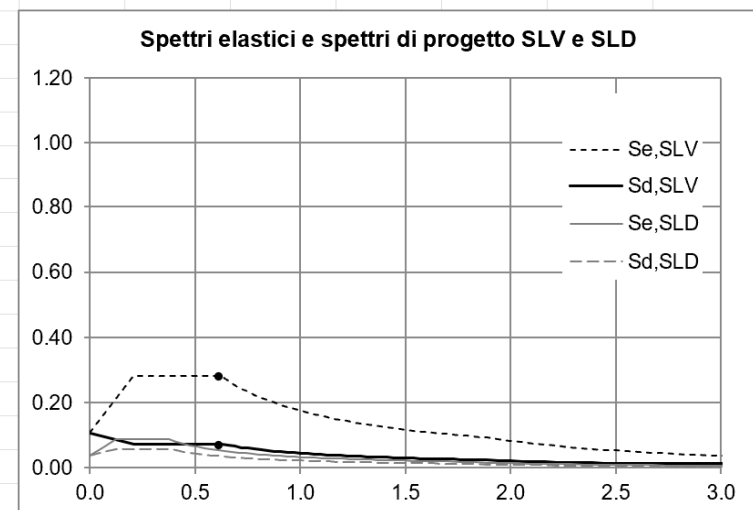
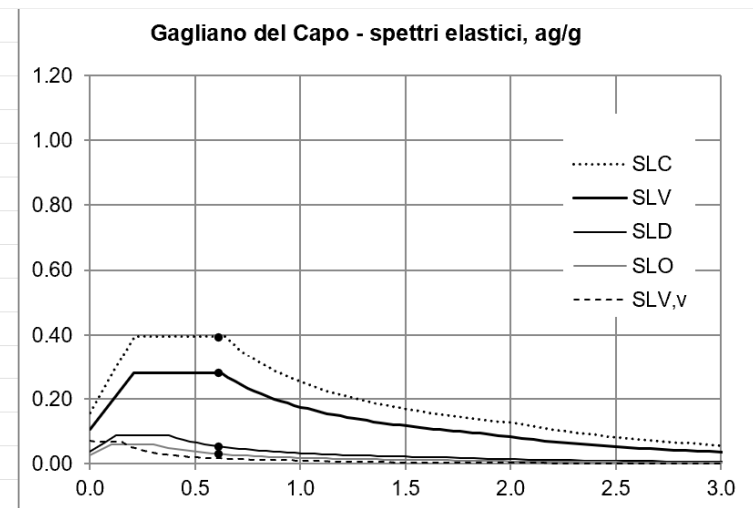
Azione sismica

Gagliano del Capo

- Parametri sismici e spettri (elastici e di progetto)

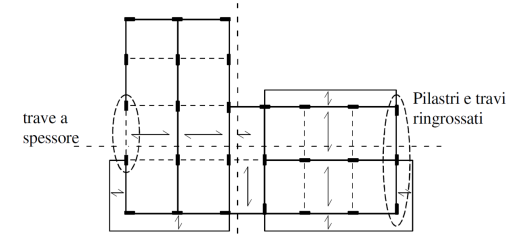
Spettri di risposta		AG	rev. 3.2b	nov-24				
Località	Gagliano del Capo							
Pericolosità sismica								Prima stima del periodo
stato limite	T_r	a_g	F_o	T_C^*				
SLO	30	0.017	2.385	0.157				
SLD	50	0.024	2.422	0.217				
SLV	475	0.071	2.633	0.460				
SLC	975	0.105	2.510	0.477				
categoria topografica	T1							
smorzamento ξ	5%							
suolo	C		classe uso	II		C_U	1	
Si ottiene:	S	$S_e(0)=S a_g$	T_B	T_C	T_D	T_E	$S_e(T_C)$	
SLO	1.500	0.026	0.101	0.304	1.668	6.0	0.061	
SLD	1.500	0.036	0.126	0.377	1.696	6.0	0.087	
SLV	1.500	0.107	0.208	0.624	1.884	6.0	0.280	
SLC	1.500	0.158	0.213	0.639	2.020	6.0	0.395	
							$S_e(T_1)$	$S_{De}(T_1)$
periodo fondamentale T_1	0.611					SLO	0.030	2.8
						SLD	0.054	5.0
struttura			SLV/SLO	9.28		SLV	0.280	26.0
ordinaria			1.5 SLV/SLD	7.81		SLC	0.395	36.7
				$S_d(T_C)$			$S_d(T_1)$	
fattore di comportamento q	3.9		SLV	0.072		SLV	0.072	

$a_g = 0.072 \text{ g}$



Azione sismica

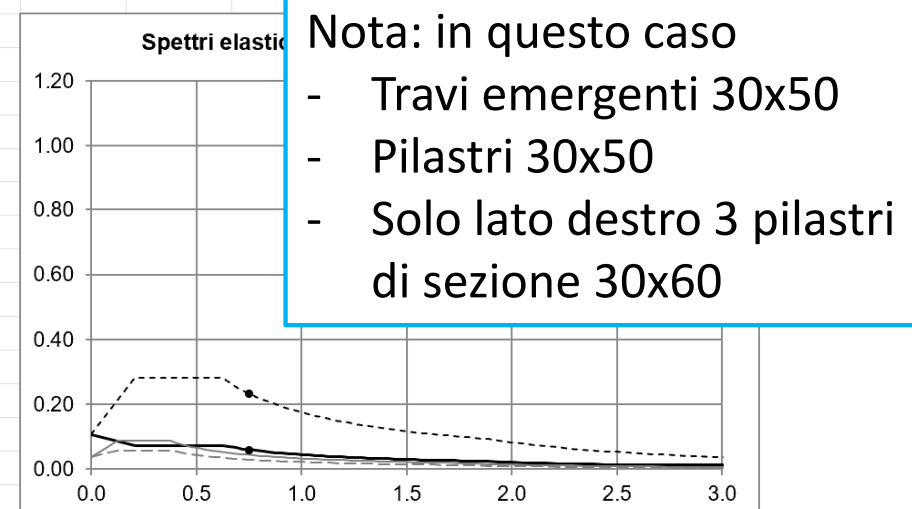
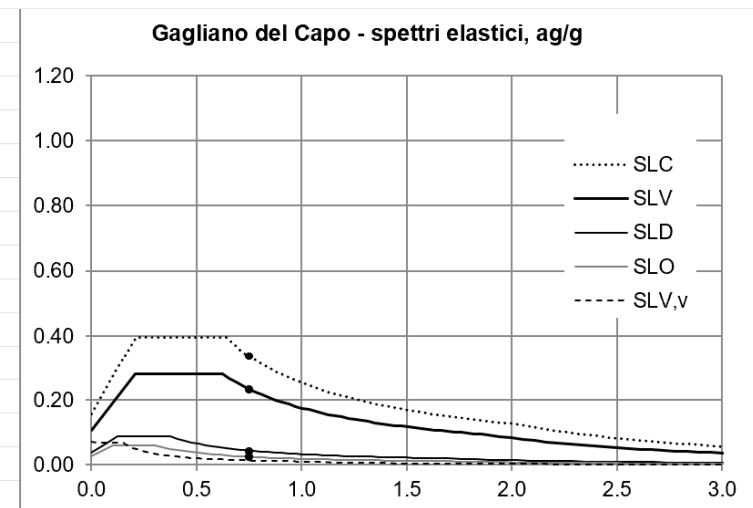
Gagliano del Capo



- Parametri sismici e spettri (elastici e di progetto)

Spettri di risposta		AG	rev. 3.2b	nov-24				
Località	Gagliano del Capo				Valore reale del periodo			
Pericolosità sismica								
stato limite	T _r	a _g	F _o	T _C *				
SLO	30	0.017	2.385	0.157				
SLD	50	0.024	2.422	0.217				
SLV	475	0.071	2.633	0.460				
SLC	975	0.105	2.510	0.477				
categoria topografica	T1							
smorzamento ξ	5%							
suolo	C	classe uso		II	C _U	1		
Si ottiene:	S	S _e (0)=S _{a_g}	T _B	T _C	T _D	T _E	S _e (T _C)	
SLO	1.500	0.026	0.101	0.304	1.668	6.0	0.061	
SLD	1.500	0.036	0.126	0.377	1.696	6.0	0.087	
SLV	1.500	0.107	0.208	0.624	1.884	6.0	0.280	
SLC	1.500	0.158	0.213	0.639	2.020	6.0	0.395	
periodo fondamentale T ₁	0.746						S _e (T ₁)	S _{De} (T ₁)
						SLO	0.025	3.4
						SLD	0.044	6.1
struttura		SLV/SLO		9.47		SLV	0.235	32.4
ordinaria		1.5 SLV/SLD		7.98		SLC	0.339	46.9
fattore di comportamento q	3.9			S _d (T _C)			S _d (T ₁)	
		SLV		0.072		SLV	0.060	
a = 0.060 g								

$a_g = 0.060 \text{ g}$



Nota: in questo caso

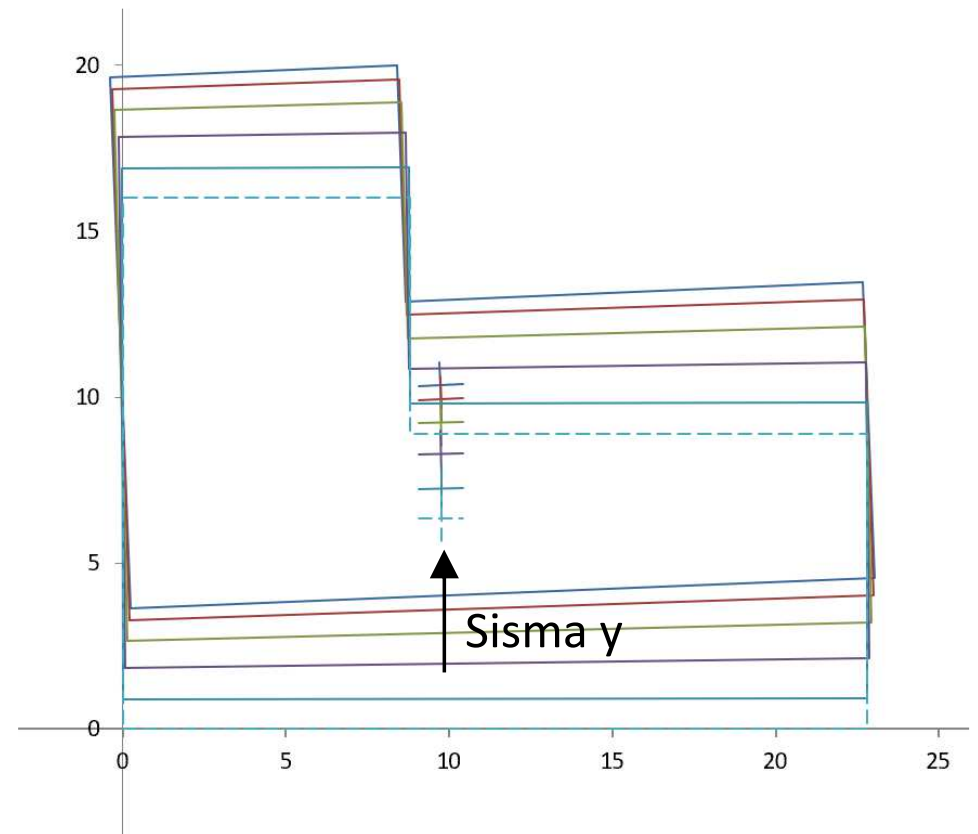
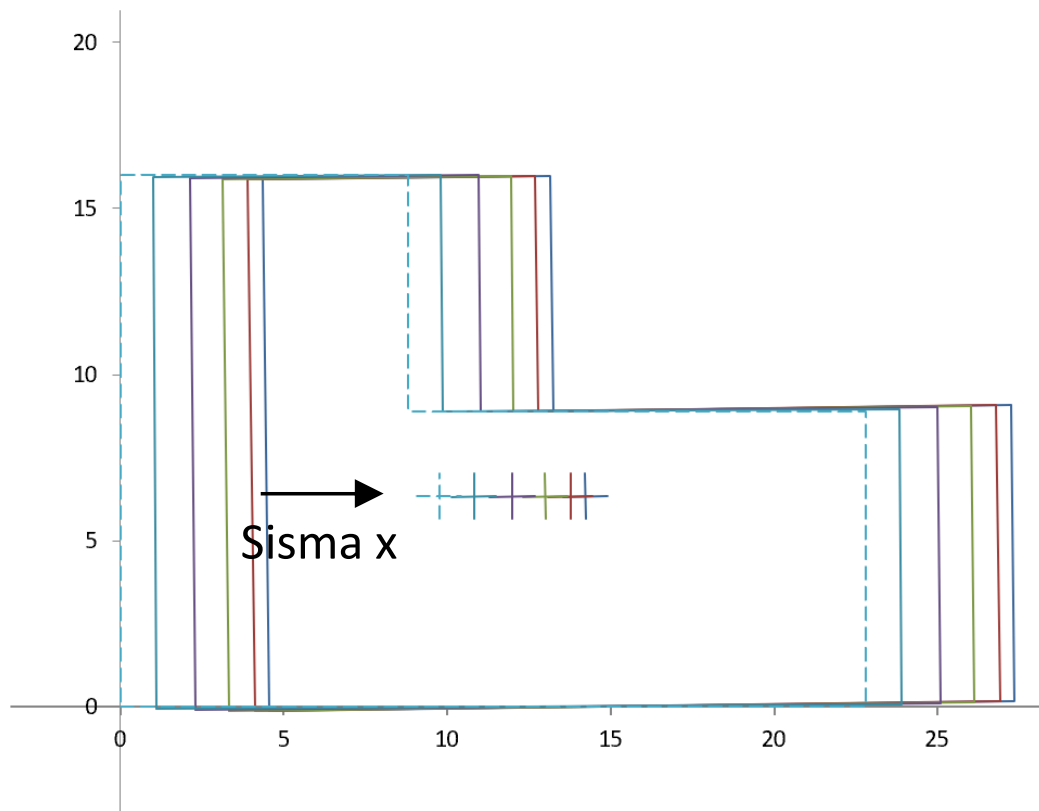
- Travi emergenti 30x50
- Pilastri 30x50
- Solo lato destro 3 pilastri di sezione 30x60

Effetto di carichi verticali e sisma

analisi statica

- Con forze in direzione x e forze in direzione y

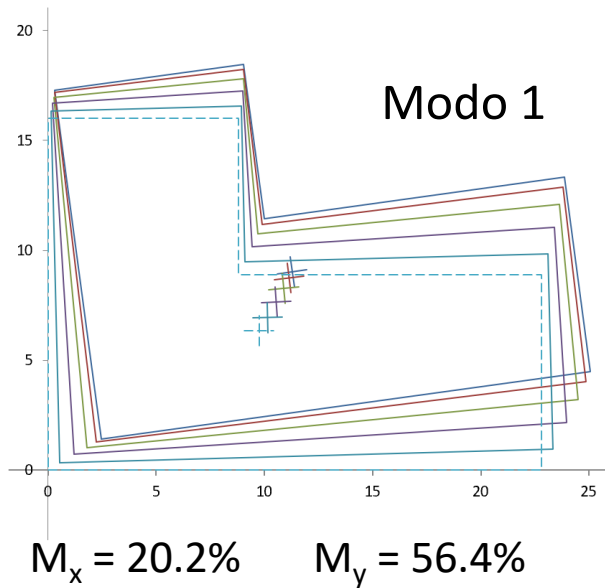
Gagliano del Capo
 $S_d(T_1) = 0.060 g$



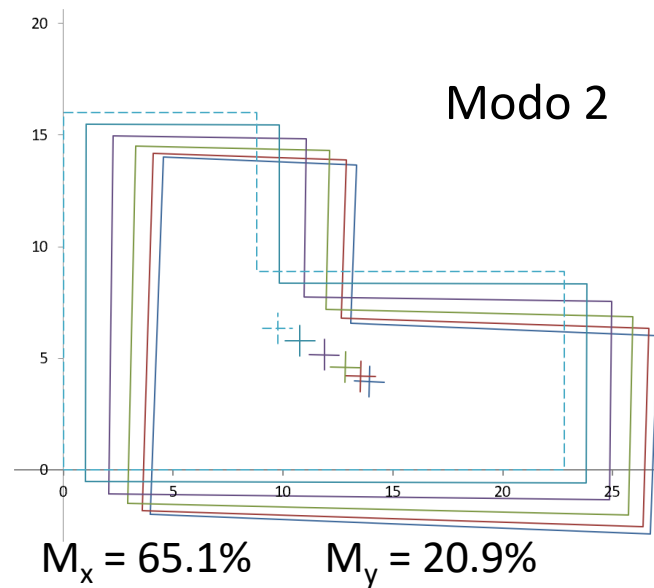
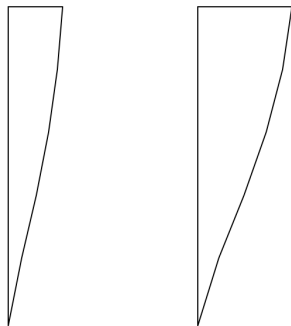
Effetto di carichi verticali e sisma analisi modale

- Modi principali

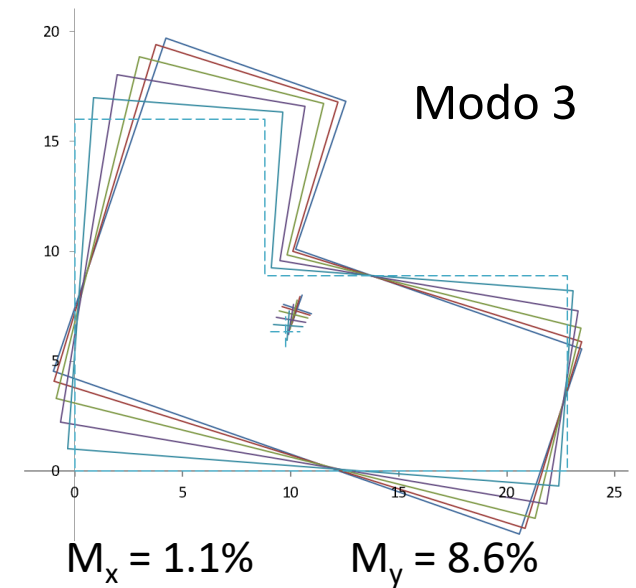
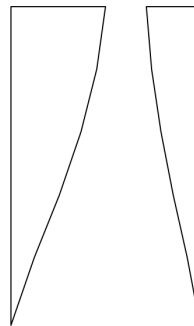
Gagliano del Capo
 $S_d(T_1) = 0.060 \text{ g}$



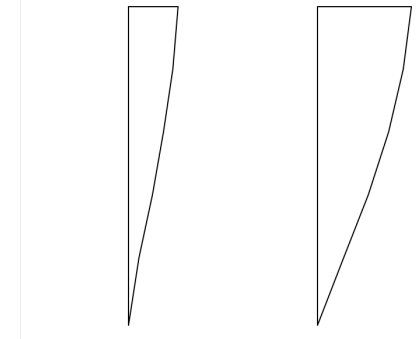
Spostamenti del centro di massa, vista laterale
Direzione x Direzione y



Spostamenti del centro di massa, vista laterale
Direzione x Direzione y



Spostamenti del centro di massa, vista laterale
Direzione x Direzione y

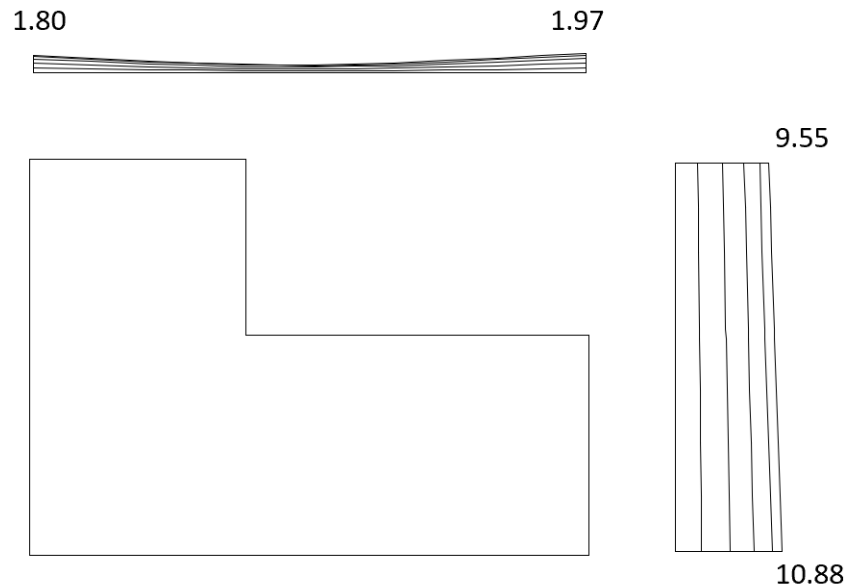


Effetto di carichi verticali e sisma involuppo modale

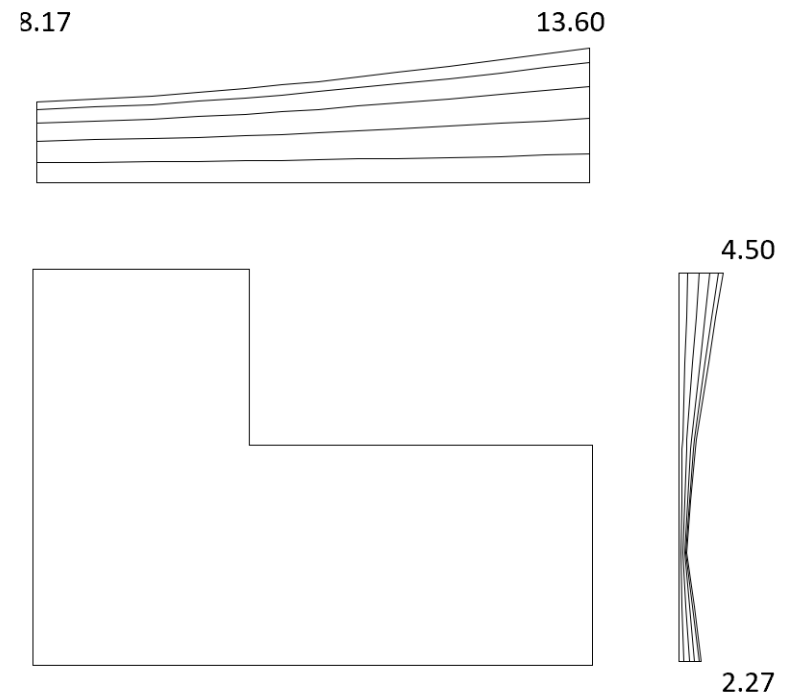
- Spostamenti massimi come involucro modale:
sbilanciato in y, ma non in maniera eccessiva

Gagliano del Capo
 $S_d(T_1) = 0.060 \text{ g}$

Sisma x



Sisma y



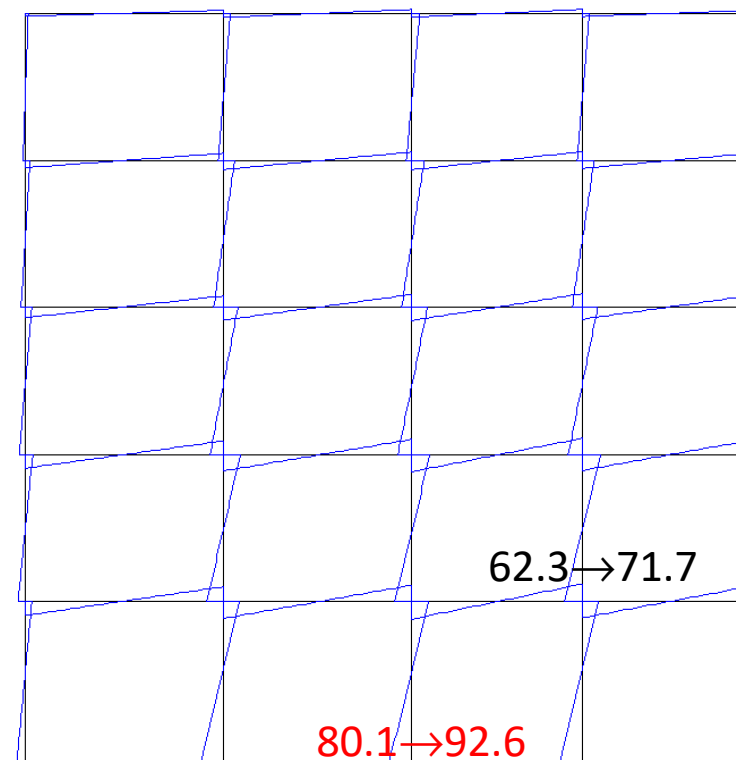
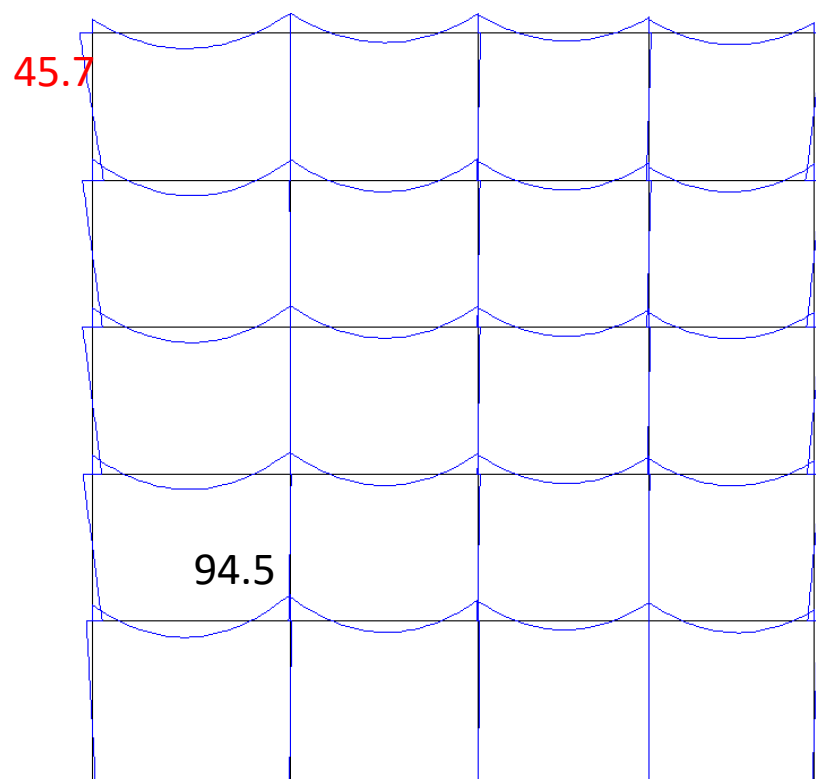
Effetto di carichi verticali e sisma

momento flettente nei telai

- Momento flettente nel telaio 2y (2° da sinistra)

Gagliano del Capo
 $S_d(T_1) = 0.060 g$

In nero M travi, in rosso M pilastri; con freccia, incremento c.c. – momenti in kNm



Sisma y

Nota:
 scala variata

$$M_{\max}(q_{\min} + F_y) = 112$$

+19%

$$M_{\max}(q_{\min} + F_y) = 93$$

Le sezioni scelte
 vanno bene

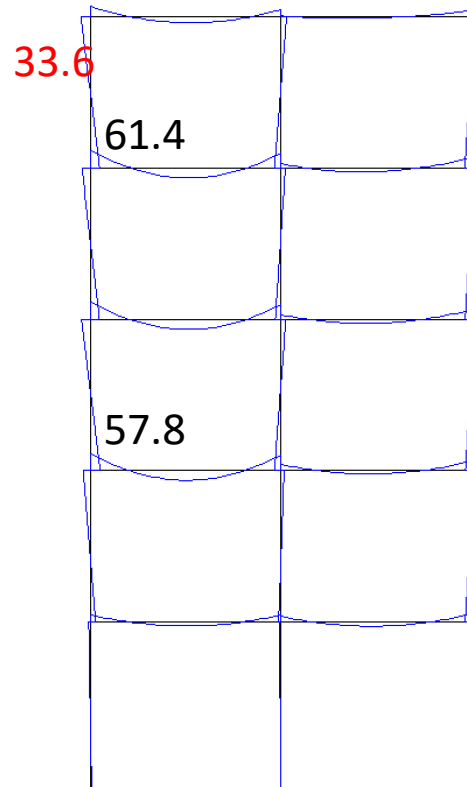
Effetto di carichi verticali e sisma

momento flettente nei telai

- Momento flettente nel telaio 7y (a destra)

Gagliano del Capo
 $S_d(T_1) = 0.060 \text{ g}$

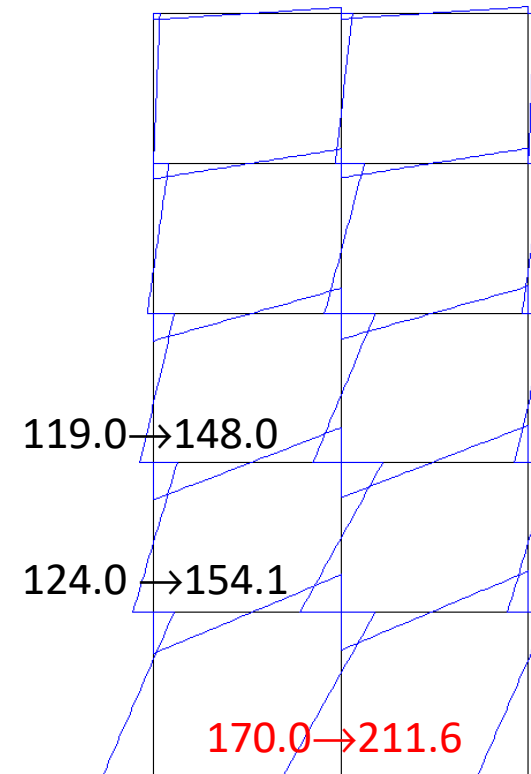
In nero M travi, in rosso M pilastri; con freccia, incremento c.c. – momenti in kNm



Nota: su questo
telaio q è minore

$$M_{\max}(q_{\min} + F_y) = 154$$

+151%



$$M_{\max}(q_{\min} + F_y) = 212$$

Le sezioni scelte
potrebbero andare bene

Sisma y

Armatura travi:
superiormente
max 2Ø20+2Ø16

Armatura pilastri:
max 4Ø20+6Ø16
1.5% di sezione



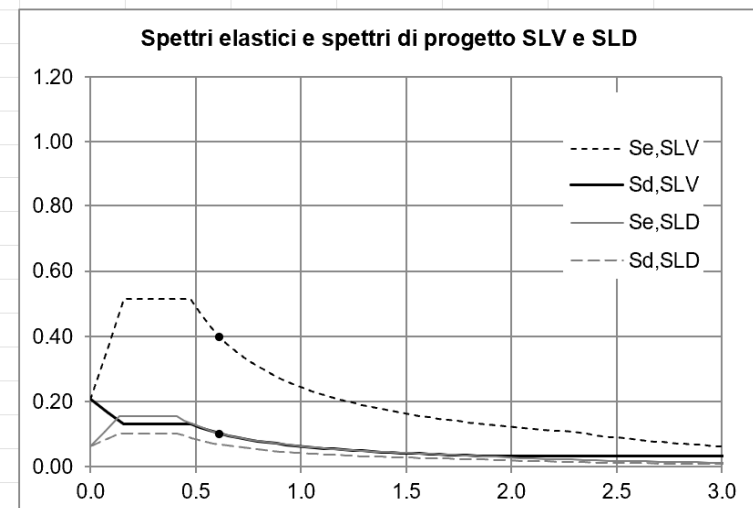
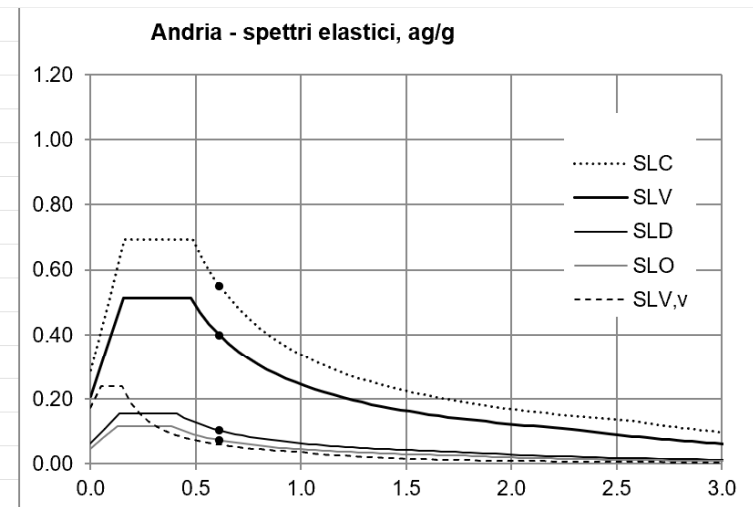
Azione sismica

Andria

- Parametri sismici e spettri (elastici e di progetto)

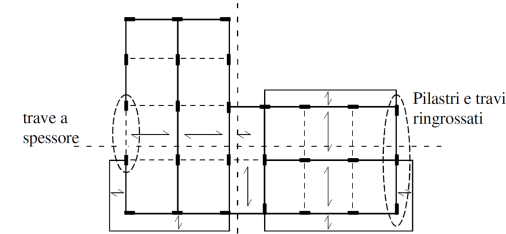
Spettri di risposta		AG	rev. 3.2b	nov-24				
Località	Andria							
Pericolosità sismica								
stato limite	T _r	a _g	F _o	T _C *				
SLO	30	0.038	2.551	0.268				
SLD	50	0.051	2.527	0.290				
SLV	475	0.172	2.492	0.350				
SLC	975	0.248	2.411	0.360				
categoria topografica	T1							
smorzamento ξ	5%							
suolo	B		classe uso	II		C _U	1	
Si ottiene:	S	S _e (0)=S _{a_g}	T _B	T _C	T _D	T _E	S _e (T _C)	
SLO	1.200	0.046	0.128	0.384	1.752	5.0	0.116	
SLD	1.200	0.061	0.136	0.409	1.804	5.0	0.155	
SLV	1.200	0.206	0.158	0.475	2.288	5.0	0.514	
SLC	1.161	0.288	0.162	0.486	2.592	5.0	0.694	
							S _e (T ₁)	S _{De} (T ₁)
periodo fondamentale T ₁	0.611					SLO	0.073	6.8
						SLD	0.103	9.6
struttura			SLV/SLO	5.47		SLV	0.400	37.1
ordinaria			1.5 SLV/SLD	5.80		SLC	0.552	51.2
				S _d (T _C)			S _d (T ₁)	
fattore di comportamento q	3.9		SLV	0.132		SLV	0.103	

$a_g = 0.103 \text{ g}$



Azione sismica

Andria



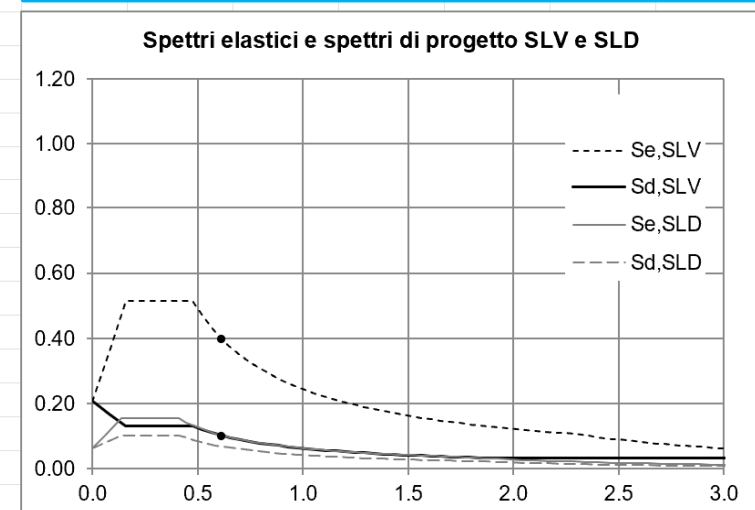
- Parametri sismici e spettri (elastici e di progetto)

Spettri di risposta		AG	rev. 3.2b	nov-24				
Località	Andria							
Pericolosità sismica								
stato limite	T_r	a_g	F_o	T_C^*				
SLO	30	0.038	2.551	0.268				
SLD	50	0.051	2.527	0.290				
SLV	475	0.172	2.492	0.350				
SLC	975	0.248	2.411	0.360				
categoria topografica	T1							
smorzamento ξ	5%							
suolo	B		classe uso	II		C_U	1	
Si ottiene:	S	$S_e(0)=S a_g$	T_B	T_C	T_D	T_E	$S_e(T_C)$	
SLO	1.200	0.046	0.128	0.384	1.752	5.0	0.116	
SLD	1.200	0.061	0.136	0.409	1.804	5.0	0.155	
SLV	1.200	0.206	0.158	0.475	2.288	5.0	0.514	
SLC	1.161	0.288	0.162	0.486	2.592	5.0	0.694	
periodo fondamentale T_1	0.611						$S_e(T_1)$	$S_{De}(T_1)$
						SLO	0.073	6.8
						SLD	0.103	9.6
struttura			SLV/SLO	5.47		SLV	0.400	37.1
ordinaria			1.5 SLV/SLD	5.80		SLC	0.552	51.2
fattore di comportamento q	3.9			$S_d(T_C)$			$S_d(T_1)$	
			SLV	0.132		SLV	0.103	

$a_g = 0.103 \text{ g}$

Nota: in questo caso

- Travi emergenti 30x50 per 3 piani sup e 30x60 per 2 piani inf
- Pilastri 30x60 a tutti i piani
- Solo lato destro:
3 pilastri di sezione 35x70 e travi 35x50 per 3 piani sup e 35x60 per 2 piani inf



Considerazioni

su classe di duttilità e valori di q

- Con la scelta relativa alla classe di duttilità (B) ed al fattore di comportamento q (3.9) l'accelerazione di progetto cresce, rispetto all'esempio precedente, del 70%
 - Questo comporta un incremento rilevante del costo della struttura, sia per l'aumento delle sezioni in calcestruzzo che per l'aumento dell'armatura necessaria
- Per questo motivo ho ritenuto conveniente passare alla classe di duttilità A ma utilizzare per il fattore di comportamento q un valore un po' più basso del massimo consentito (5.85)
 - Ho quindi deciso di usare un fattore di comportamento $q = 4.5$
In questo modo l'incremento di accelerazione è del 49%
 - Mantengo inalterate le sezioni innanzi indicate

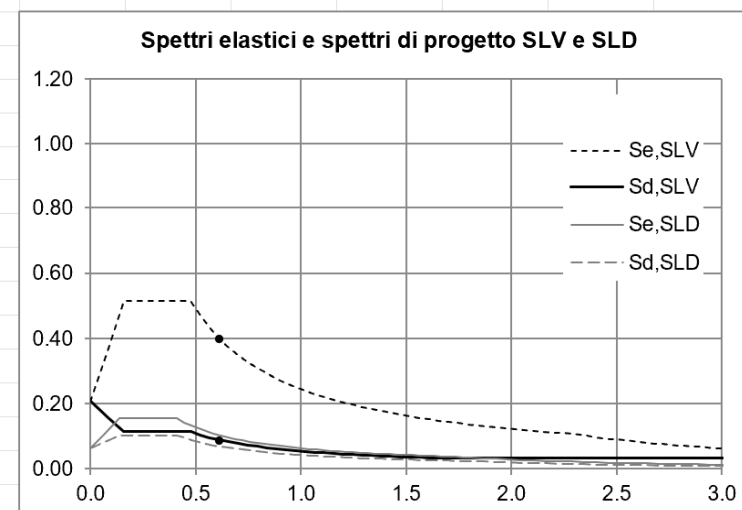
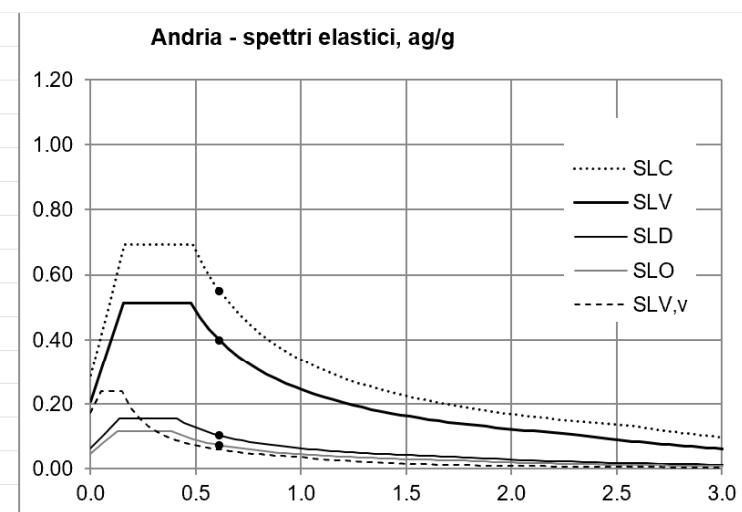
Azione sismica

Andria

- Parametri sismici e spettri (elastici e di progetto) scelti in definitiva

Spettri di risposta		AG	rev. 3.2b	nov-24				
Località	Andria							
Pericolosità sismica								
stato limite	T_r	a_g	F_o	T_C^*				
SLO	30	0.038	2.551	0.268				
SLD	50	0.051	2.527	0.290				
SLV	475	0.172	2.492	0.350				
SLC	975	0.248	2.411	0.360				
categoria topografica	T1							
smorzamento ξ	5%							
suolo	B		classe uso	II		C_U	1	
Si ottiene:	S	$S_e(0)=S_{a_g}$	T_B	T_C	T_D	T_E	$S_e(T_C)$	
SLO	1.200	0.046	0.128	0.384	1.752	5.0	0.116	
SLD	1.200	0.061	0.136	0.409	1.804	5.0	0.155	
SLV	1.200	0.206	0.158	0.475	2.288	5.0	0.514	
SLC	1.161	0.288	0.162	0.486	2.592	5.0	0.694	
							$S_e(T_1)$	$S_{De}(T_1)$
periodo fondamentale T_1	0.611					SLO	0.073	6.8
						SLD	0.103	9.6
struttura			SLV/SLO	5.47		SLV	0.400	37.1
ordinaria			1.5 SLV/SLD	5.80		SLC	0.552	51.2
				$S_d(T_C)$			$S_d(T_1)$	
fattore di comportamento q	4.5		SLV	0.114		SLV	0.089	

$a_g = 0.089 \text{ g}$



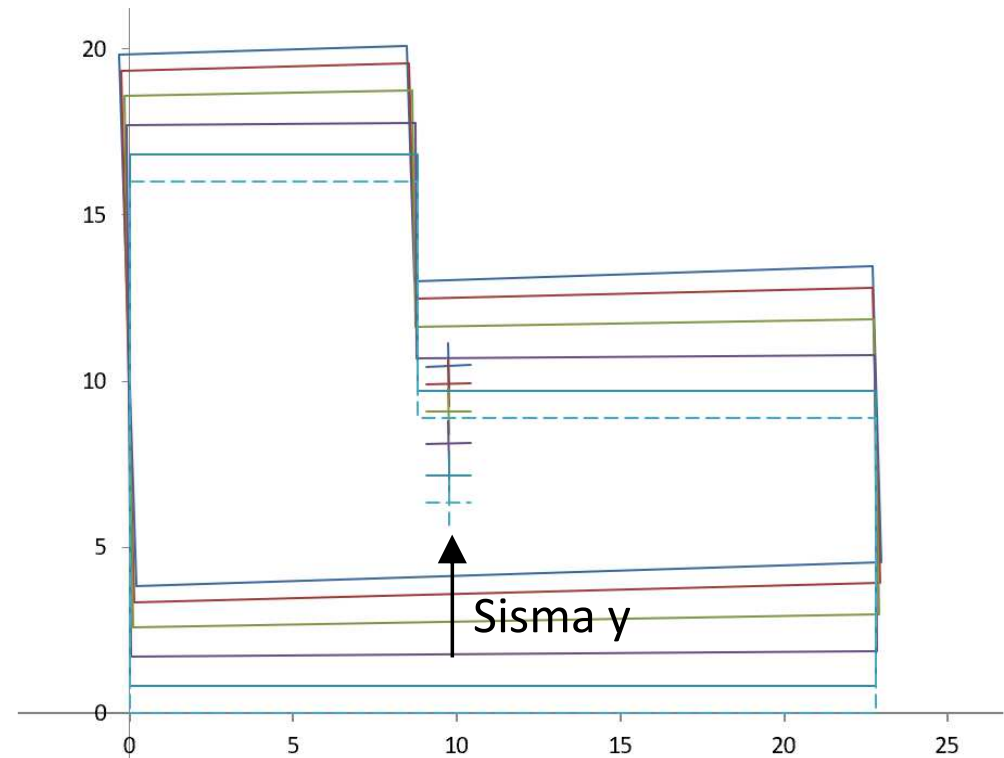
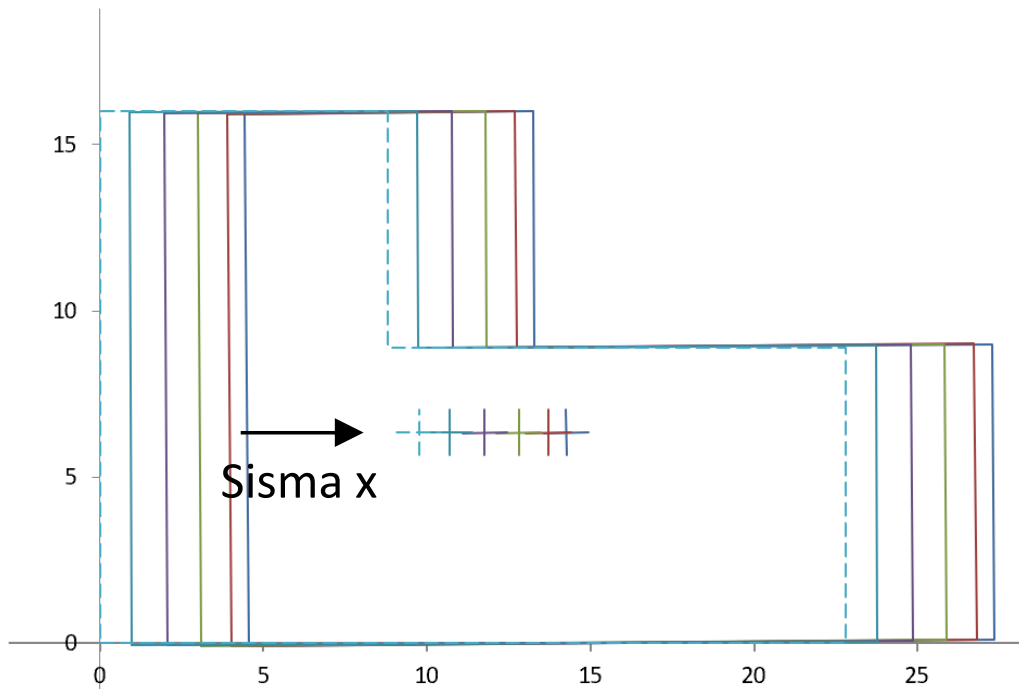
Effetto di carichi verticali e sisma

analisi statica

- Con forze in direzione x e forze in direzione y

Andria

$S_d(T_1) = 0.089 g$

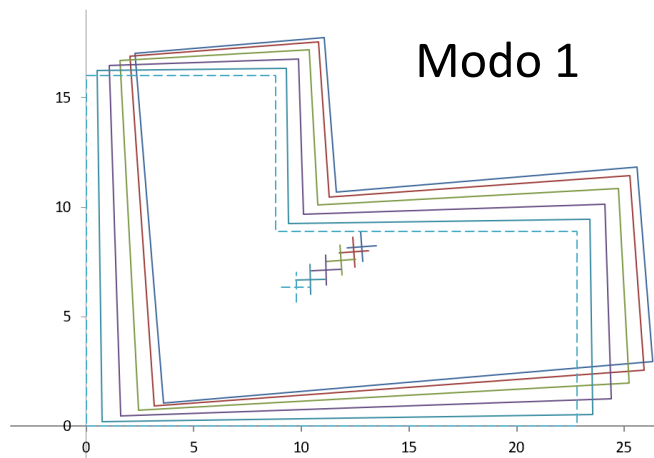


Effetto di carichi verticali e sisma

analisi modale

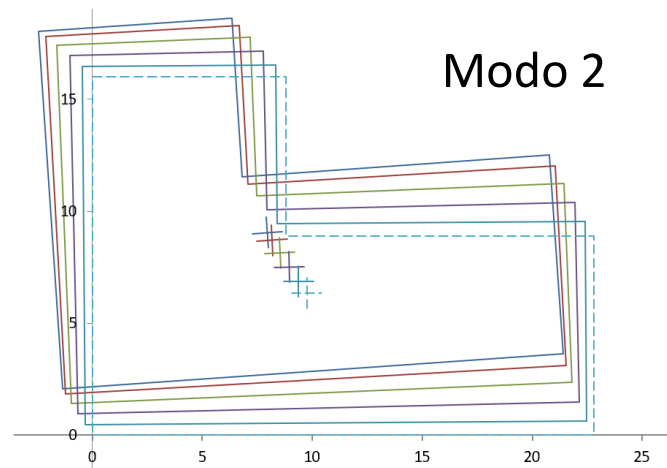
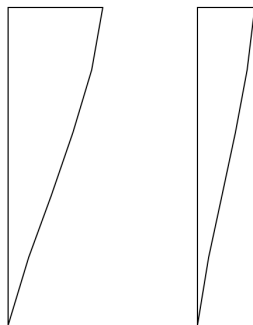
- Modi principali

Andria
 $S_d(T_1) = 0.089 \text{ g}$



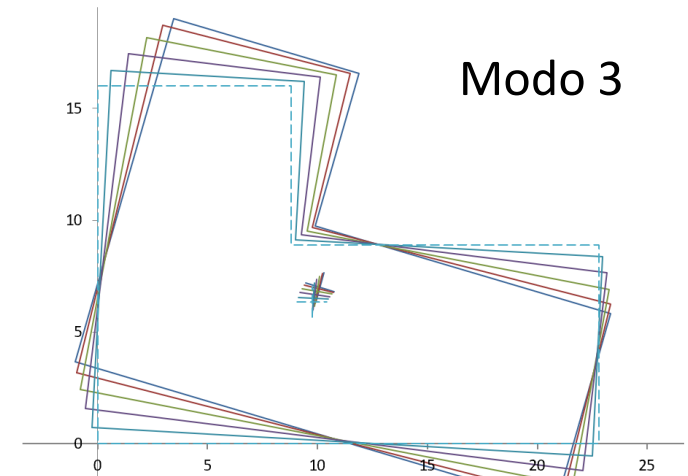
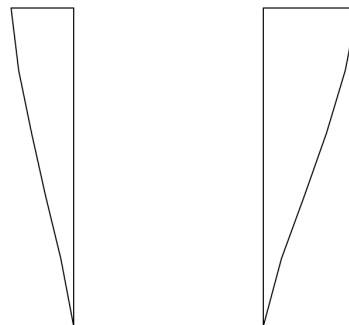
$M_x = 59.5\%$ $M_y = 21.5\%$

Spostamenti del centro di massa, vista laterale
Direzione x Direzione y



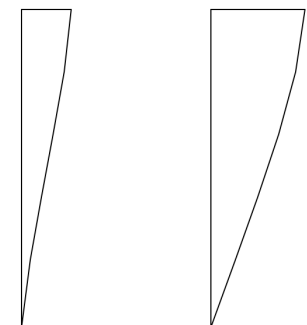
$M_x = 24.2\%$ $M_y = 57.1\%$

Spostamenti del centro di massa, vista laterale
Direzione x Direzione y



$M_x = 0.4\%$ $M_y = 4.8\%$

Spostamenti del centro di massa, vista laterale
Direzione x Direzione y

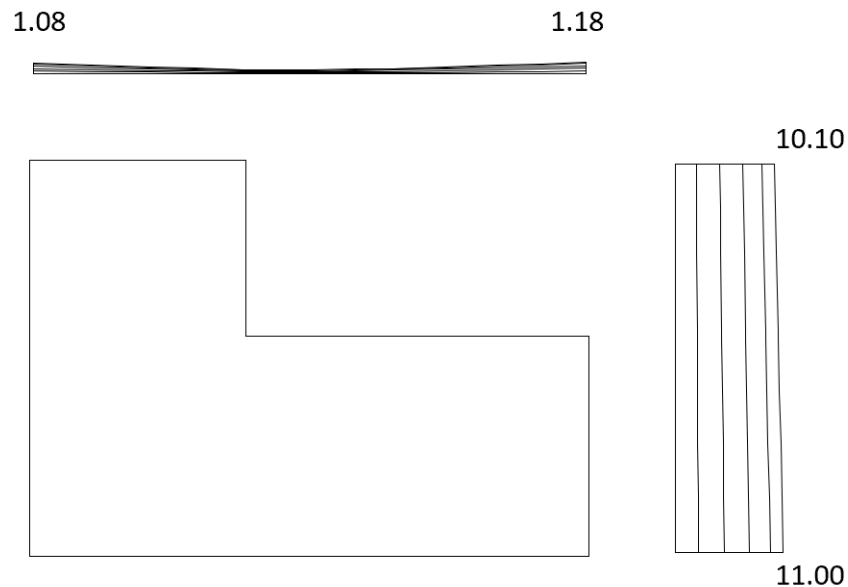


Effetto di carichi verticali e sisma involuppo modale

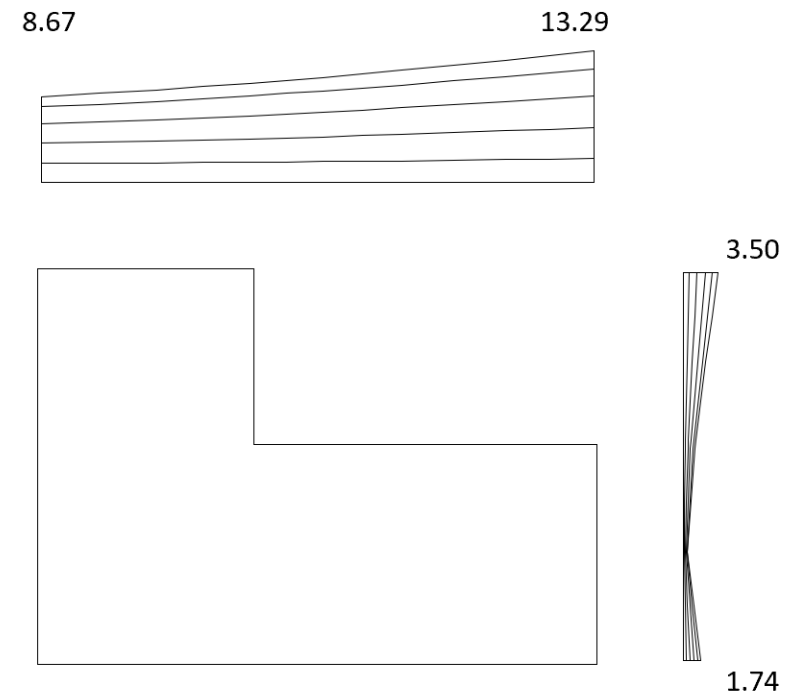
- Spostamenti massimi come involucro modale:
sbilanciato in y, ma non in maniera eccessiva

Andria
 $S_d(T_1) = 0.089 \text{ g}$

Sisma x



Sisma y



Effetto di carichi verticali e sisma

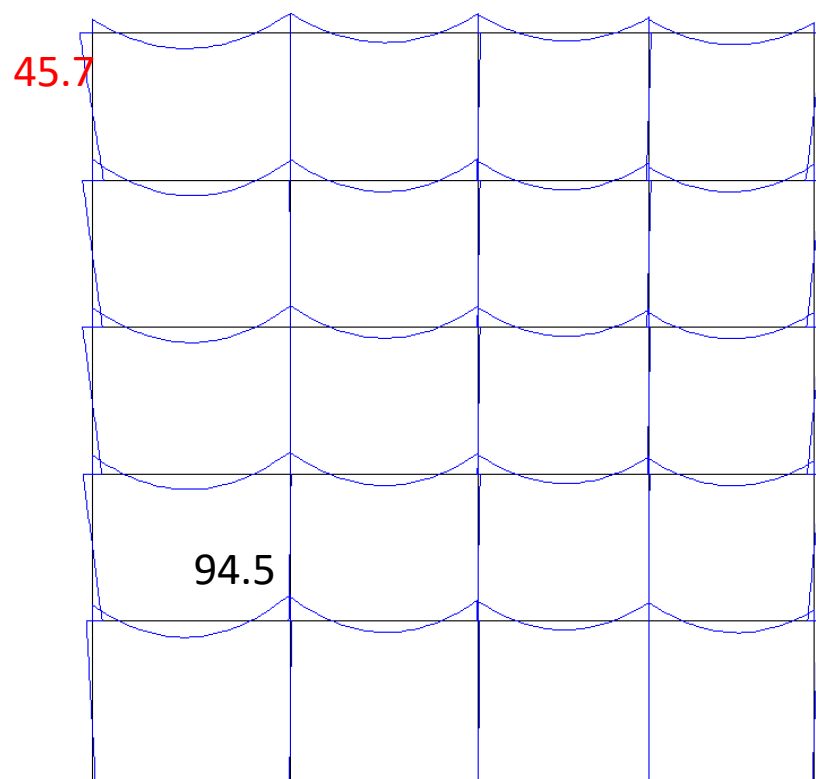
momento flettente nei telai

- Momento flettente nel telaio 2y (2° da sinistra)

Andria

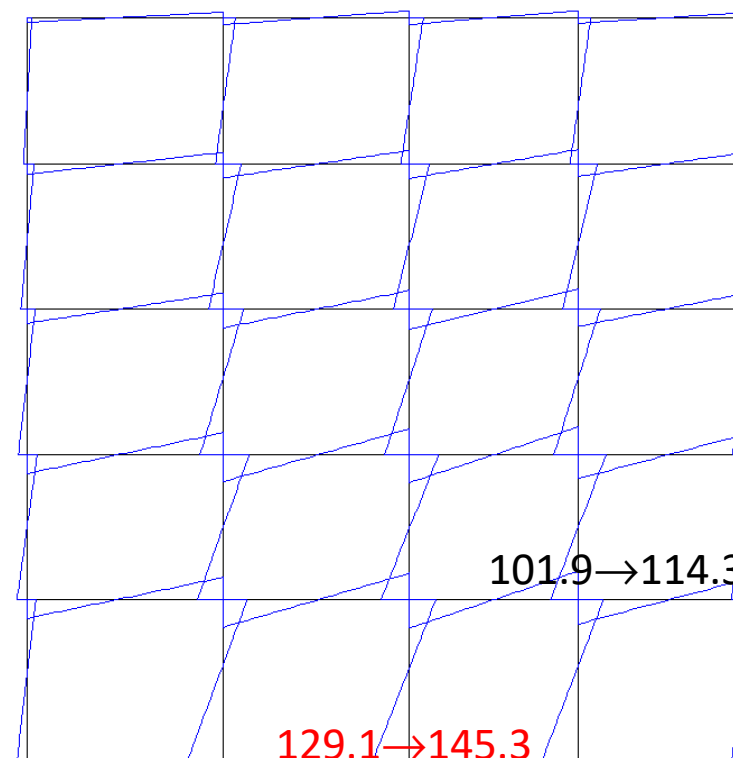
$S_d(T_1) = 0.089 g$

In nero M travi, in rosso M pilastri; con freccia, incremento c.c. – momenti in kNm



$$M_{\max}(q_{\min} + F_y) = 160$$

+69%



Sisma y

$$M_{\max}(q_{\min} + F_y) = 146$$

Le sezioni scelte
vanno bene

Effetto di carichi verticali e sisma

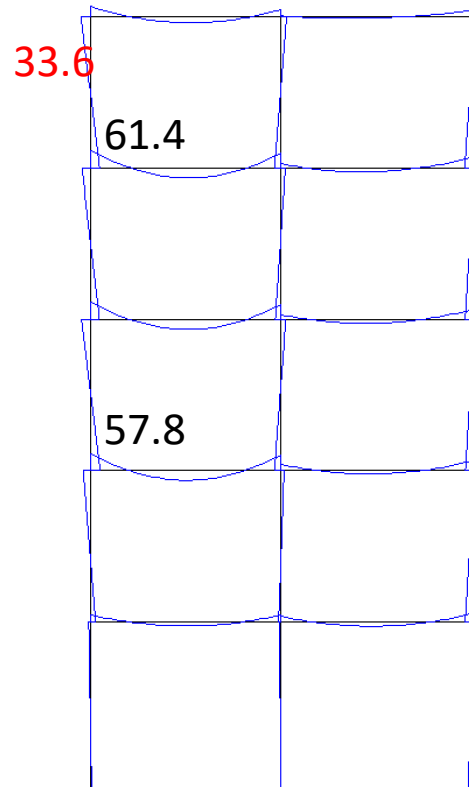
momento flettente nei telai

- Momento flettente nel telaio 7y (a destra)

Andria

$S_d(T_1) = 0.089 g$

In nero M travi, in rosso M pilastri; con freccia, incremento c.c. – momenti in kNm

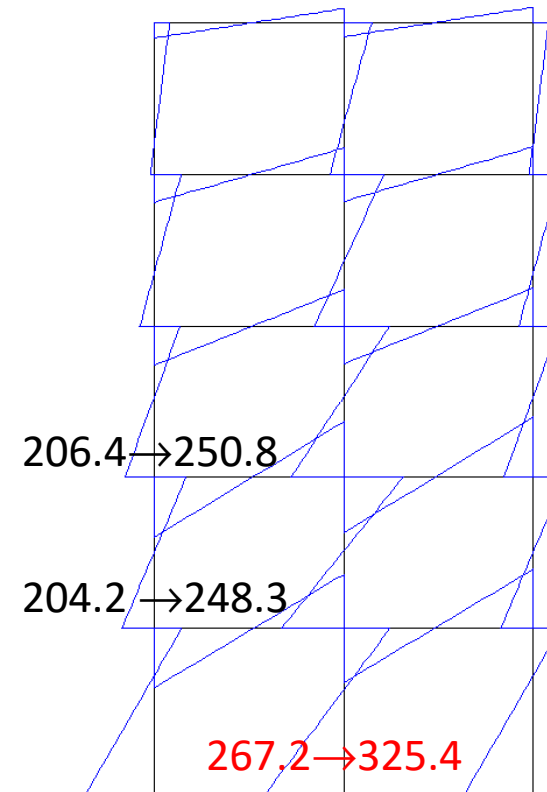


Da aggiornare

Nota: su questo telaio q è minore

$$M_{\max}(q_{\min} + F_y) = 289$$

+371%



Sisma y

Armatura travi:
superiormente
max 4Ø20

Armatura pilastri:
max 8Ø20+4Ø16
1.4% di sezione

$$M_{\max}(q_{\min} + F_y) = 326$$

Le sezioni scelte
potrebbero andare bene

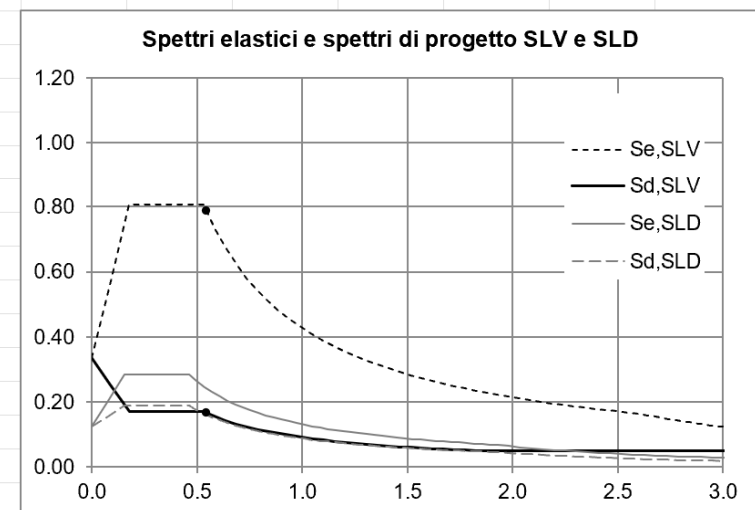
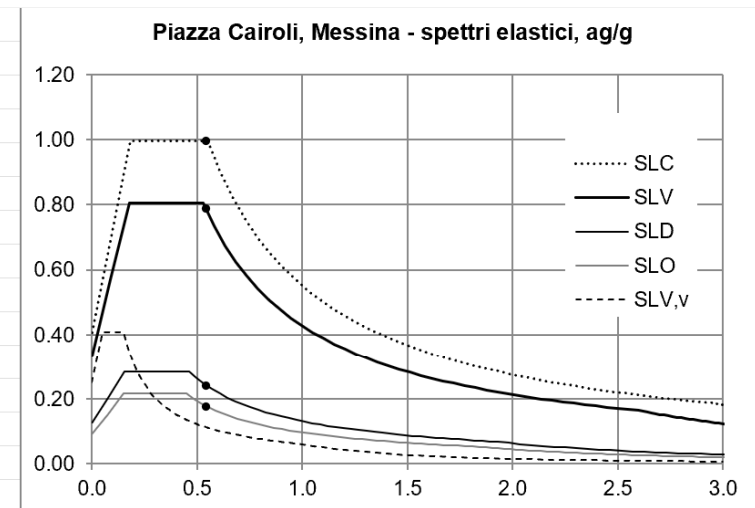
Azione sismica

Messina

- Parametri sismici e spettri (elastici e di progetto)

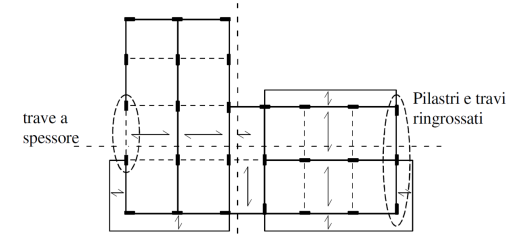
Spettri di risposta		AG	rev. 3.2b	nov-24				
Località	Piazza Cairoli, Messina				Prima stima del periodo			
Pericolosità sismica								
stato limite	T_r	a_g	F_o	T_C^*				
SLO	30	0.061	2.360	0.280				
SLD	50	0.082	2.316	0.292				
SLV	475	0.250	2.410	0.360				
SLC	975	0.339	2.445	0.383				
categoria topografica	T1							
smorzamento ξ	5%							
suolo	C	classe uso		II	C_U	1		
Si ottiene:	S	$S_e(0)=S_{a_g}$	T_B	T_C	T_D	T_E	$S_e(T_C)$	
SLO	1.500	0.092	0.149	0.447	1.844	6.0	0.216	
SLD	1.500	0.123	0.153	0.460	1.928	6.0	0.285	
SLV	1.339	0.335	0.177	0.530	2.600	6.0	0.806	
SLC	1.203	0.408	0.184	0.552	2.956	6.0	0.997	
periodo fondamentale T_1	0.541							
						$S_e(T_1)$	$S_{De}(T_1)$	
						SLO	0.179	13.0
						SLD	0.242	17.6
struttura			SLV/SLO	4.42	SLV		0.789	57.4
ordinaria			1.5 SLV/SLD	4.89	SLC		0.997	72.5
						$S_d(T_C)$	$S_d(T_1)$	
fattore di comportamento q	4.7	SLV		0.172	SLV		0.168	
						$a = 0.168\text{ g}$		

$a_g = 0.168 \text{ g}$



Azione sismica

Messina



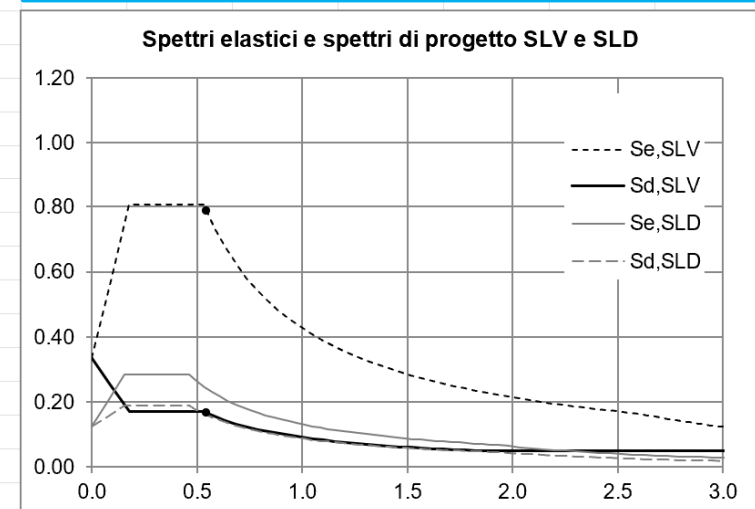
- Parametri sismici e spettri (elastici e di progetto)

Spettri di risposta		AG	rev. 3.2b	nov-24				
Località	Piazza Cairolì, Messina				Prima stima del periodo			
Pericolosità sismica								
stato limite	T_r	a_g	F_o	T_C^*				
SLO	30	0.061	2.360	0.280				
SLD	50	0.082	2.316	0.292				
SLV	475	0.250	2.410	0.360				
SLC	975	0.339	2.445	0.383				
categoria topografica	T1							
smorzamento ξ	5%							
suolo	C	classe uso		II	C_U	1		
Si ottiene:	S	$S_e(0)=S a_g$	T_B	T_C	T_D	T_E	$S_e(T_C)$	
SLO	1.500	0.092	0.149	0.447	1.844	6.0	0.216	
SLD	1.500	0.123	0.153	0.460	1.928	6.0	0.285	
SLV	1.339	0.335	0.177	0.530	2.600	6.0	0.806	
SLC	1.203	0.408	0.184	0.552	2.956	6.0	0.997	
periodo fondamentale T_1	0.541							
						$S_e(T_1)$	$S_{De}(T_1)$	
					SLO	0.179	13.0	
					SLD	0.242	17.6	
struttura		SLV/SLO			4.42	SLV	0.789	57.4
ordinaria		1.5 SLV/SLD			4.89	SLC	0.997	72.5
							$S_d(T_C)$	$S_d(T_1)$
fattore di comportamento q	4.7	SLV			0.172	SLV	0.168	
a = 0.168 g								

$a_g = 0.168 \text{ g}$

Nota: in questo caso

- Travi emergenti 30x50 per 3 piani sup e 30x60 per 2 piani inf
- Pilastri 30x50 a tutti i piani
- Solo lato destro:
3 pilastri di sezione 35x80 e travi 35x60 per 3 piani sup e 35x70 per 2 piani inf

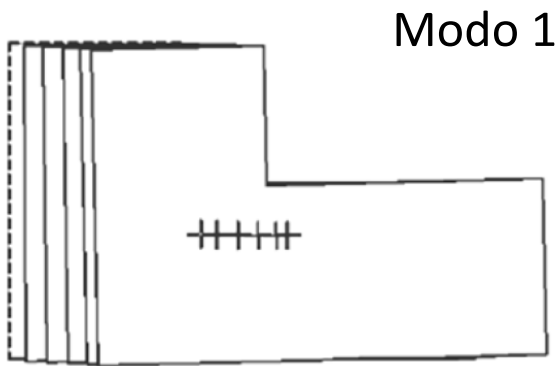


Effetto di carichi verticali e sisma

analisi modale

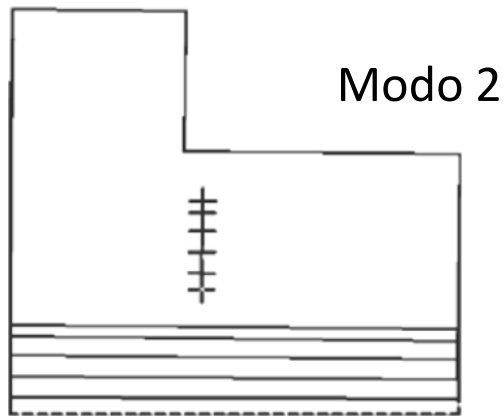
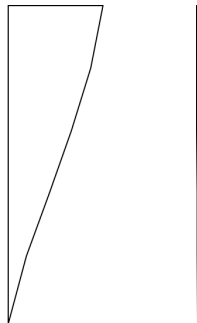
- Modi principali

Messina
 $S_d(T_1) = 0.168 \text{ g}$



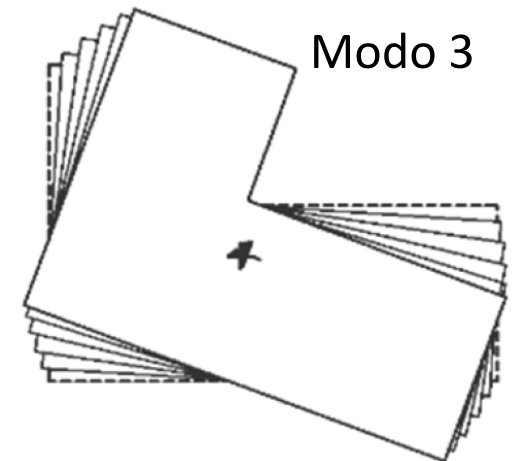
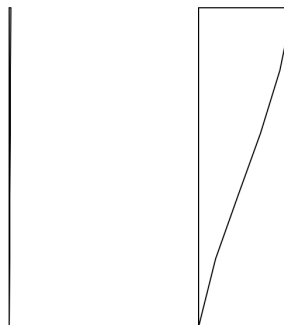
$M_x = 82.5\%$ $M_y = 0.0\%$

Spostamenti del centro di massa, vista laterale
Direzione x Direzione y



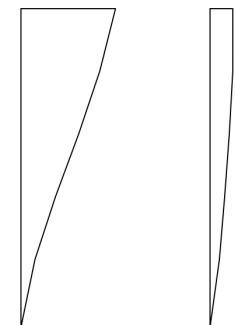
$M_x = 0.0\%$ $M_y = 82.2\%$

Spostamenti del centro di massa, vista laterale
Direzione x Direzione y



$M_x = 0.2\%$ $M_y = 0.0\%$

Spostamenti del centro di massa, vista laterale
Direzione x Direzione y

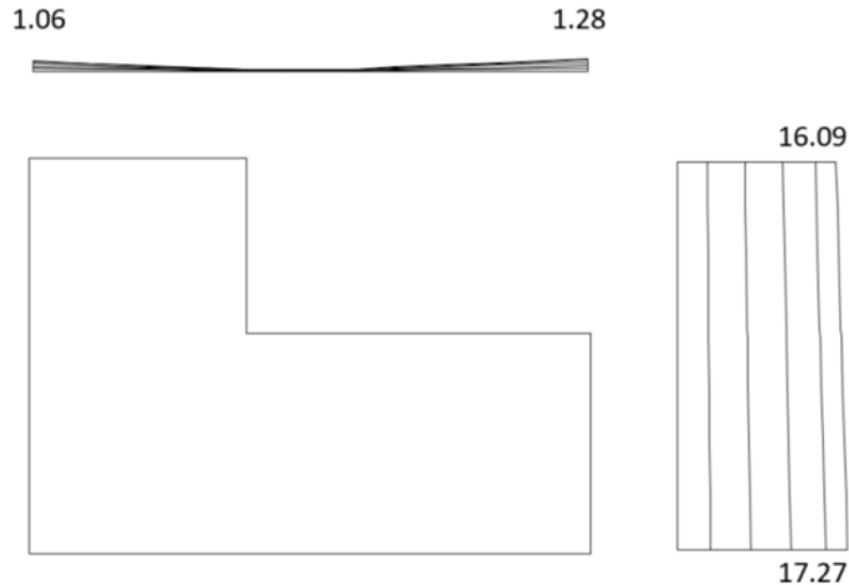


Effetto di carichi verticali e sisma involuppo modale

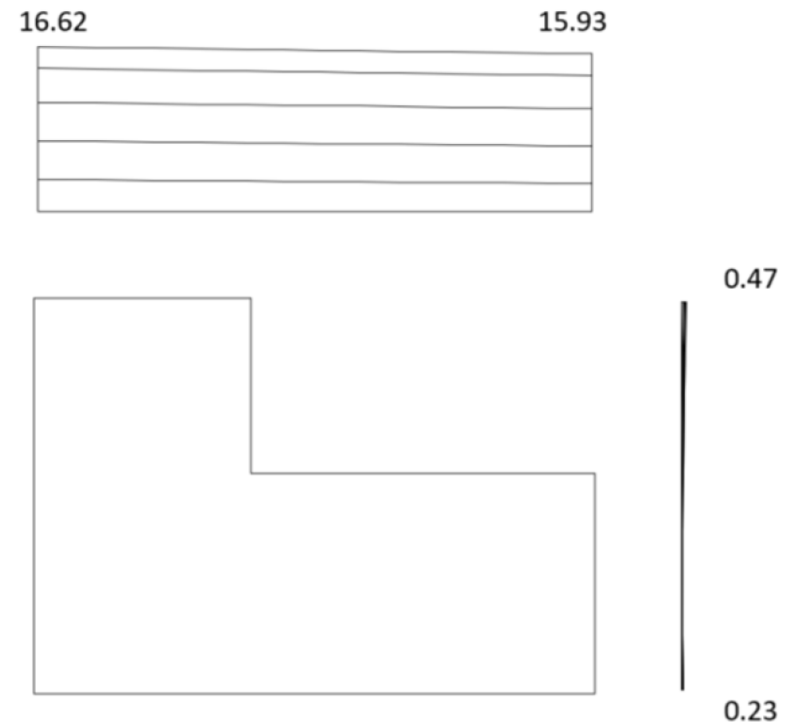
- Spostamenti massimi come involucro modale:
sbilanciato in y, ma non in maniera eccessiva

Messina
 $S_d(T_1) = 0.168 \text{ g}$

Sisma x



Sisma y



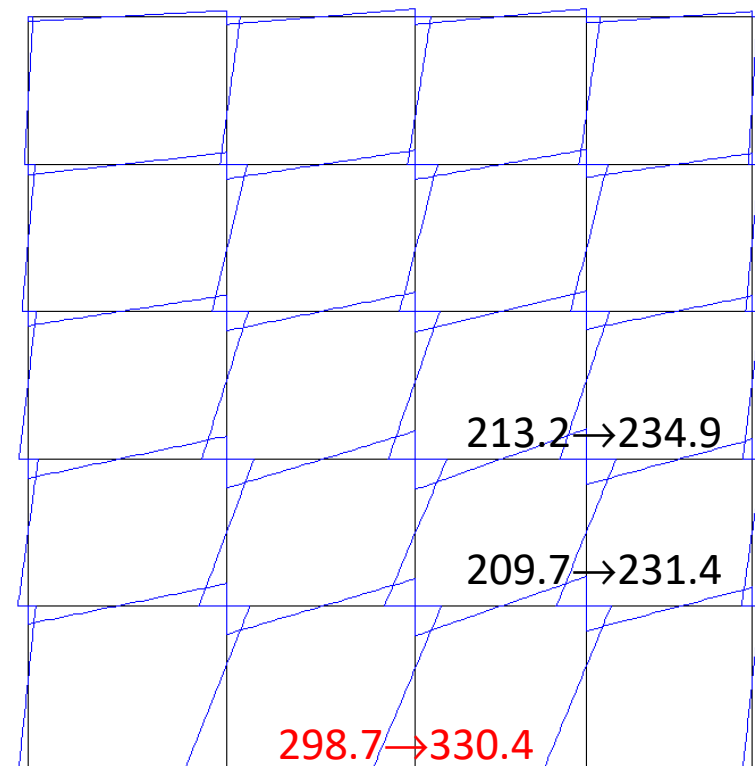
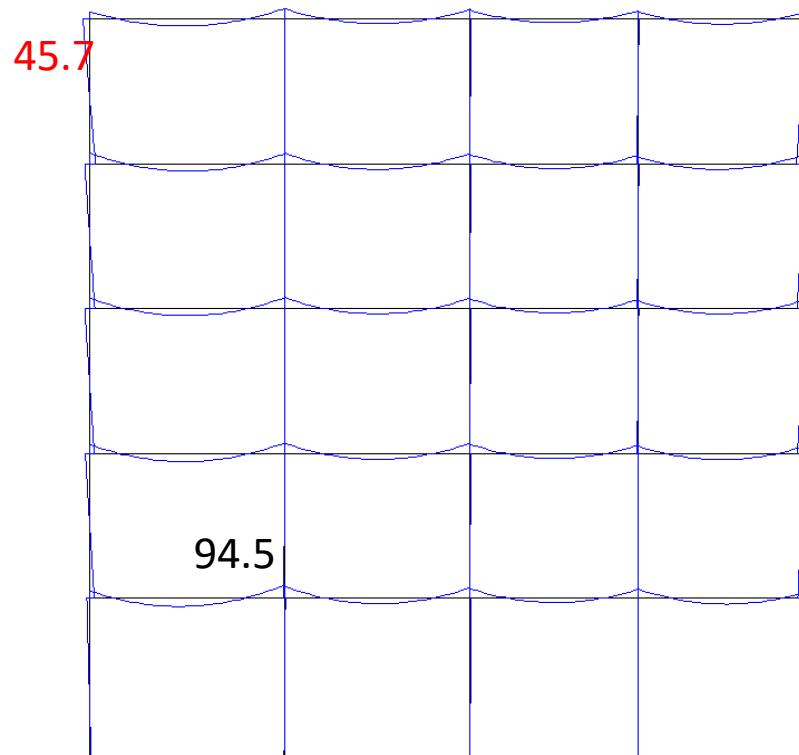
Effetto di carichi verticali e sisma

momento flettente nei telai

- Momento flettente nel telaio 2y (2° da sinistra)

Messina
 $S_d(T_1) = 0.168 g$

In nero M travi, in rosso M pilastri; con freccia, incremento c.c. – momenti in kNm



Sisma y

Nota:
 scala variata

$$M_{\max}(q_{\min} + F_y) = 273$$

+189%

$$M_{\max}(q_{\min} + F_y) = 332$$

Le sezioni scelte
 vanno bene

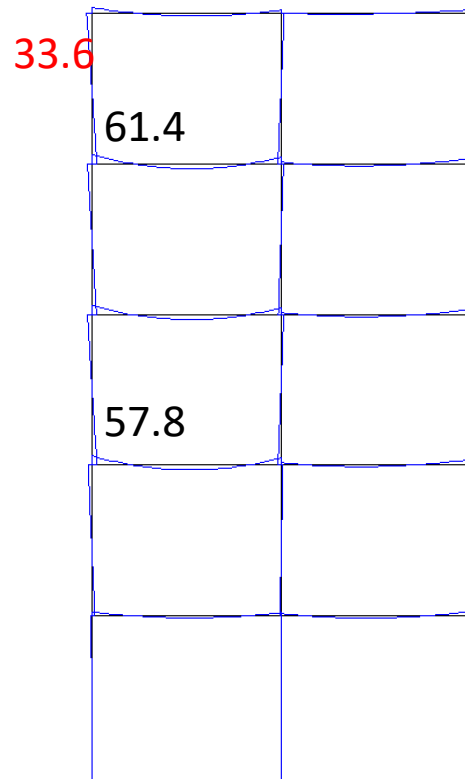
Effetto di carichi verticali e sisma

momento flettente nei telai

- Momento flettente nel telaio 7y (a destra)

Messina
 $S_d(T_1) = 0.168 \text{ g}$

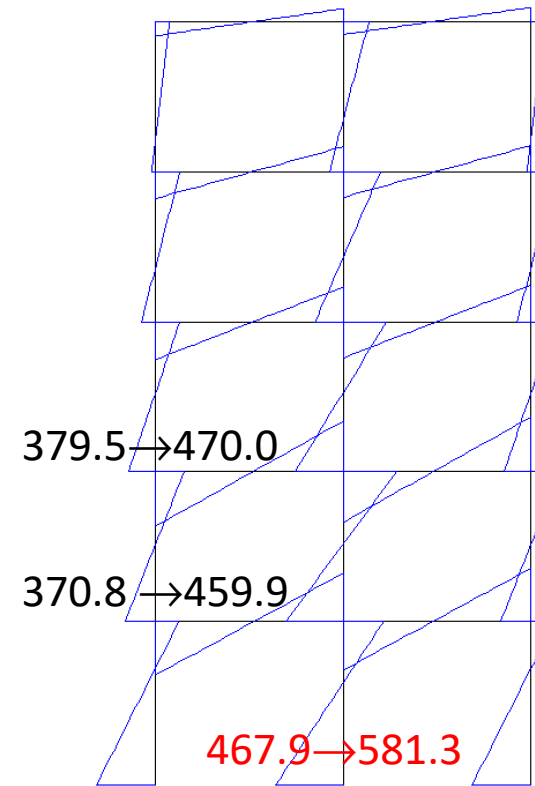
In nero M travi, in rosso M pilastri; con freccia, incremento c.c. – momenti in kNm



Nota: su questo telaio q è minore

$$M_{\max}(q_{\min} + F_y) = 510$$

+731%



Sisma y

Armatura travi:
 superiormente
 max 6Ø20

Armatura pilastri:
 max
 14Ø20+6Ø16
 2.0% di sezione

$$M_{\max}(q_{\min} + F_y) = 583$$

Le sezioni scelte vanno bene
 (ma con forte armatura)