

UNIVERSITA' DEGLI STUDI DI CATANIA

Dipartimento Di Ingegneria Civile E Architettura
Corso di Laurea in Ingegneria Civile Strutturale e Geotecnica
A. A. 2016/2017

CORSO DI PROGETTO DI STRUTTURE IN ZONA SISMICA - Modulo B

PROGETTO DI UN EDIFICIO ANTISISMICO IN C.A. SECONDO LE INDICAZIONI DELLE NTC 2008

Allievo :

Savoca Roberto
049000157

Docente :

Prof. Ing. Fabio Neri

Indice

INDICE.....	2
RELAZIONE GENERALE E VALIDAZIONE DEL PROGETTO.....	4
Ubicazione dell’edificio e caratteristiche del sito.....	4
Descrizione dell’edificio.....	5
Struttura dell’edificio.....	5
Esame visivo della struttura.....	6
Programmi di calcolo e modellazione della struttura.....	7
Tipo di analisi svolta.....	8
Sintesi analisi dei carichi.....	9
ESAME DEI RISULTATI DEL CALCOLO E CONFRONTO TRA PROSAP E TEL 2008.....	9
TRAVE 102.....	15
MOMENTO FLETTENTE.....	15
CONFRONTO TRA I VALORI DI MOMENTO FLETTENTE NELLA TRAVE 102.....	15
TAGLIO.....	16
CONFRONTO TRA I VALORI DI TAGLIO NELLA TRAVE 102.....	17
PILASTRO 30.....	18
SFORZO NORMALE.....	18
CONFRONTO TRA I VALORI DI SFORZO NORMALE NEL PILASTRO 30.....	18
TAGLIO.....	18
CONFRONTO TRA I VALORI DI TAGLIO NEL PILASTRO 30.....	18
MOMENTO FLETTENTE.....	20
CONFRONTO TRA I VALORI DI MOMENTO FLETTENTE NEL PILASTRO 30.....	20
CONFRONTO TRA PROSAP-STRUTTURA CON FONDAZIONE E PROSAP-STRUTTURA INCASTRATA ALLA BASE.....	21
TRAVE 102.....	23
MOMENTO FLETTENTE.....	23
CONFRONTO TRA I VALORI DI MOMENTO FLETTENTE NELLA TRAVE 102.....	24
TAGLIO.....	25
CONFRONTO TRA I VALORI DI TAGLIO NELLA TRAVE 102.....	26
PILASTRO 30.....	27
SFORZO NORMALE.....	27
CONFRONTO TRA I VALORI DI SFORZO NORMALE NEL PILASTRO 30.....	27
TAGLIO.....	28
CONFRONTO TRA I VALORI DI TAGLIO NEL PILASTRO 30.....	28
MOMENTO FLETTENTE.....	30

CONFRONTO TRA I VALORI DI MOMENTO FLETTENTE NEL PILASTRO 30	31
CONFRONTO TRA PROSAP-STRUTTURA CON FONDAZIONE E PROSAP-STRUTTURA CON FONDAZIONE E FILI FISSI	32
TRAVE 102	33
MOMENTO FLETTENTE	33
CONFRONTO TRA I VALORI DI MOMENTO FLETTENTE NELLA TRAVE 102.....	33
TAGLIO	35
CONFRONTO TRA I VALORI DI TAGLIO NELLA TRAVE 102	35
PILASTRO 30	36
SFORZO NORMALE.....	36
CONFRONTO TRA I VALORI DI SFORZO NORMALE NEL PILASTRO 30	36
TAGLIO	36
CONFRONTO TRA I VALORI DI TAGLIO NEL PILASTRO 30	36
MOMENTO FLETTENTE	38
CONFRONTO TRA I VALORI DI MOMENTO FLETTENTE NEL PILASTRO 30	38

Relazione generale e validazione del progetto

Ubicazione dell'edificio e caratteristiche del sito

L'edificio in progetto è sito nel comune di Paola(CS) in Corso Cristoforo Colombo. Le caratteristiche del suolo su cui esso deve sorgere sono tali da poterlo classificare, ai fini sismici, come suolo di tipo C.

L'edificio è destinato ad abitazione. Per esso si prevede una vita nominale V_N di 50 anni ed una classe II (costruzione il cui uso prevede normale affollamento) e quindi un periodo di riferimento V_R per l'azione sismica di 50 anni. Il periodo di ritorno T_R dell'azione sismica è quindi 50 anni per lo stato limite di danno SLD e 475 anni per lo stato limite di salvaguardia della vita SLV. Nella tabella che segue sono riportati i valori dei parametri di pericolosità sismica per il sito.

Tab. 1. Parametri che individuano la sismicità della zona

T_r [anni]	a_g [g]	F_o	T_c^*
30	0.054	2.345	0.287
50	0.070	2.350	0.319
475	0.195	2.448	0.400
975	0.259	2.480	0.431

Sulla base di tali valori sono stati ricavati i valori dei parametri S , T_B , T_C , T_D che descrivono lo spettro di risposta elastico per SLD e SLV per suolo C, riportati nella tabella che segue.

Tab. 2. Parametri che descrivono lo spettro di risposta elastico

Stato limite	S	T_B [s]	T_C [s]	T_D [s]
SLD	1.500	0.163	0.488	1.880
SLV	1.413	0.189	0.568	2.380

Nella figura che segue sono riportati i due spettri di risposta elastica, per SLD e SLV. Il valore massimo dell'accelerazione, nel tratto compreso tra T_B e T_C , è pari rispettivamente a 0.675 g per SLV e 0.247 g per SLD.

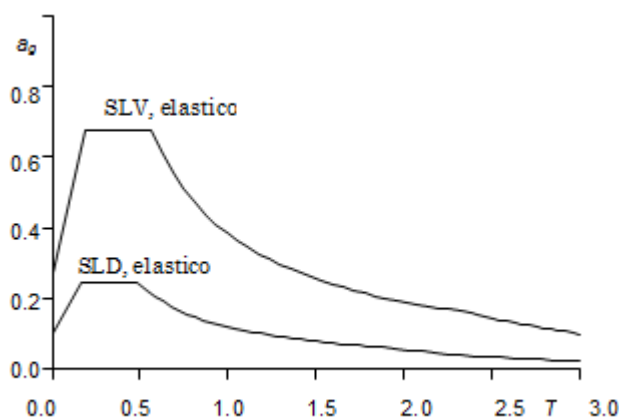


Fig. 1. Spettri di risposta nel sito in esame, per suolo C

Descrizione dell'edificio

L'edificio è costituito da un totale di sei impalcati. La pianta ha una forma ad H, con quattro appartamenti ed un vano scala centrale. La copertura è costituita da una terrazza praticabile, cui si accede da un torrino scale.

Struttura dell'edificio

La struttura dell'edificio è in cemento armato. Gli elementi portanti sono pilastri e travi che costituiscono un telaio spaziale, con solai in cemento armato gettati in opera. Non sono presenti pareti in cemento armato, infatti il vano ascensore è racchiuso da pareti in mattoni forati e non in cemento armato.

Nella figura che segue è riportata la carpenteria del piano tipo. La carpenteria di copertura è analoga a quella del piano tipo, inclusi i balconi. Il torrino scale è ottenuto prolungando i pilastri 6, 7, 15, 16, 24 e 25.

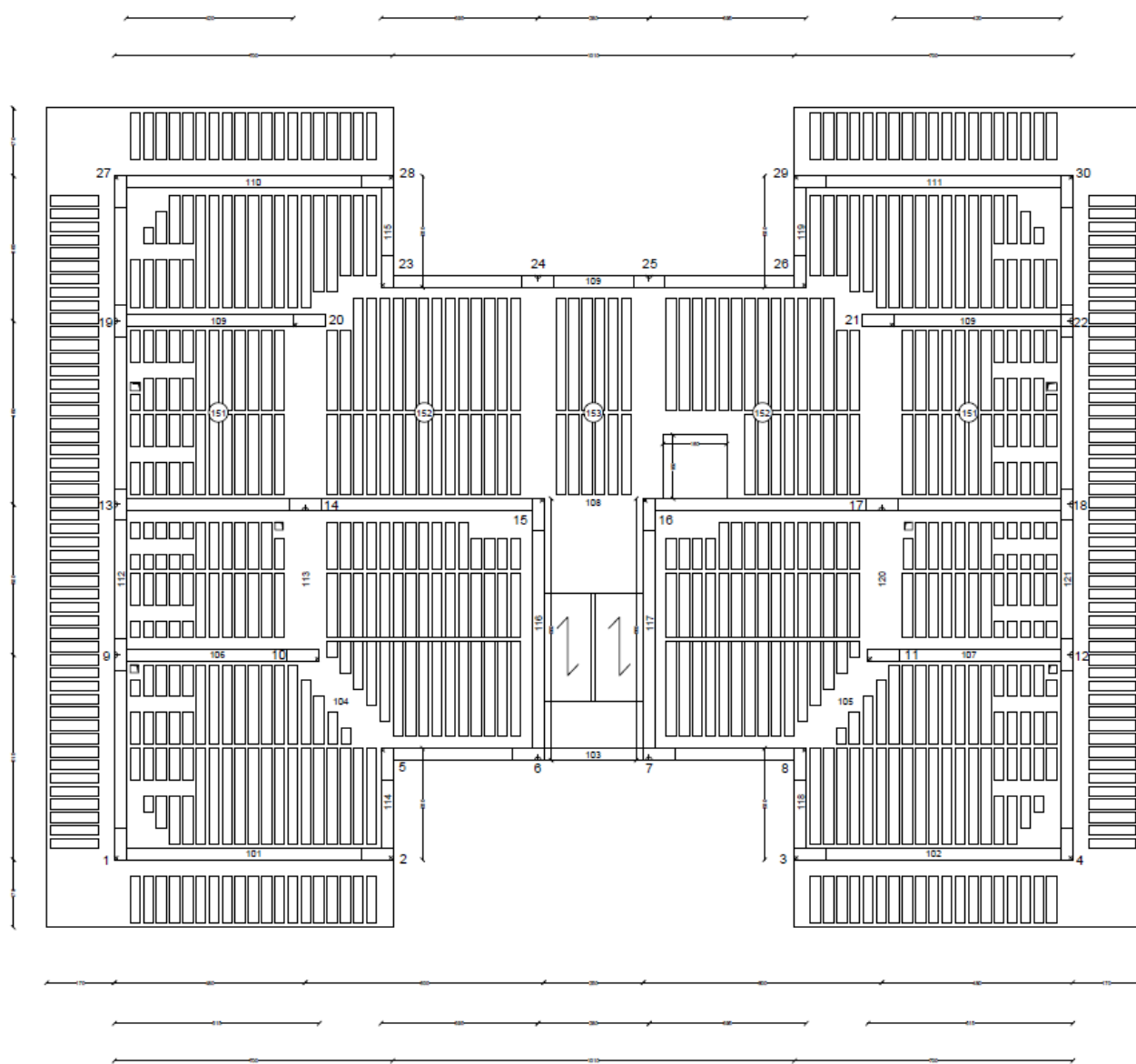


Fig. 6. Carpenteria piano tipo

Le sezioni dei pilastri e delle travi emergenti ai diversi piani sono riportati nella tabella che segue. I pilastri del primo, secondo e terzo ordine hanno tutti sezione 30×80 , che si riduce a 30×70 per i successivi tre ordini e per i pilastri del torrino scale (si sono voluti evitare eccessivi cambi di sezione, in quanto questi sono possibili fonti di errore in fase di esecuzione). Le travi emergenti hanno sezione 30×75 ai primi tre impalcati e 30×65 ai successivi tre impalcati e nella copertura del torrino scale. Le travi a spessore hanno tutte sezione 60×26 .

Tab. 3. Sezione di pilastri e travi emergenti

Impalcato	Pilastri	Travi emergenti	Travi a spessore
Torrino	30×70	30×65	-
6	30×70	30×65	60×26
5	30×70	30×65	60×26
4	30×70	30×65	60×26
3	30×80	30×75	60×26
2	30×80	30×75	60×26
1	30×80	30×75	60×26

La scala è realizzata con una soletta rampante, alla "Giliberti". Le due rampe che partono da ciascun impalcato sono portate da una trave posta a livello dell'impalcato stesso (mediante pilastrini con funzione di tiranti e puntoni) e sono giuntate rispetto alle rampe degli impalcati adiacenti, in modo da non costituire in alcun modo un vincolo mutuo tra gli impalcati.

Esame visivo della struttura

La forma ad H della pianta presenta un asse di simmetria, condizione, insieme alle esigenze architettoniche, di cui si è tenuto conto nella distribuzione planimetrica degli elementi strutturali. Nella figura che segue è riportata schematicamente la distribuzione planimetrica dei pilastri, con riferimento all'impalcato tipo.

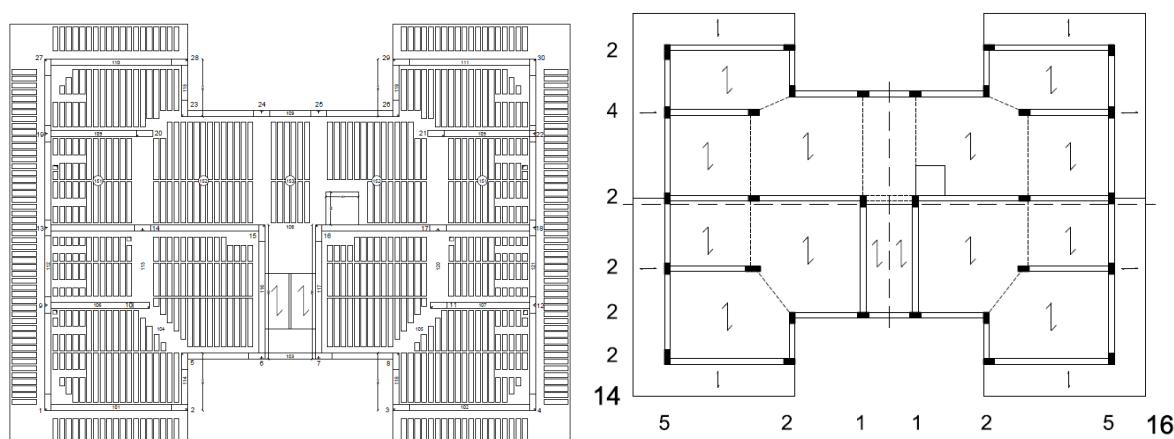


Fig. 8. Distribuzione dei pilastri nella carpenteria tipo

Si nota innanzitutto che il contributo all'assorbimento dell'azione sismica è affidata agli elementi più rigidi, cioè quelli costituiti da travi emergenti e pilastri allungati nella direzione considerata. Pertanto questi pilastri e le travi ad essi collegate devono considerarsi elementi principali per la direzione di maggiore rigidità. Gli stessi pilastri danno invece un contributo

poco rilevante nella direzione in cui presentano minore rigidità e, anche se inseriti nel calcolo, possono considerarsi sostanzialmente elementi secondari. Tutte le travi a spessore possono anch'esse considerarsi elementi secondari.

Si nota inoltre che la distribuzione dei pilastri è abbastanza uniforme, tuttavia vi sono travi particolarmente corte e rigide che potrebbero portare a concentrazioni di tensioni, e che pertanto sono state particolarmente attenzionate.

Dei 30 pilastri, 14 hanno sezione allungata nella direzione orizzontale in pianta (che si indica con x) e 16 hanno sezione allungata nella direzione verticale in pianta (che si indica con y). Visto il numero di pilastri rigidi e di travi emergenti presenti nelle due direzioni e tenendo conto del fatto che tutti i pilastri hanno la stessa sezione, la rigidità della struttura sembra sostanzialmente analoga nelle due direzioni, anche se leggermente maggiore nella direzione y .

La distribuzione dei pilastri è sicuramente bilanciata rispetto alla direzione y , perché, essendo la struttura simmetrica rispetto a tale asse, 8 pilastri sono a sinistra dell'asse baricentrico per le masse e 8 a destra; inoltre sicuramente il baricentro delle inerzie dei pilastri si trova sullo stesso asse del baricentro delle masse. Anche in direzione x la distribuzione appare bilanciata, perché 8 pilastri sono al di sopra dell'asse baricentrico per le masse e 6 al di sotto.

La distribuzione degli elementi strutturali (pilastri e travi) in altezza si presenta abbastanza regolare. Non esistono pilastri in falso, né cambi repentini di dimensione dei pilastri tra un piano e l'altro. La sezione dei pilastri si mantiene costante, per i primi tre ordini; dal quarto in poi si riduce mantenendosi costante sino al torrone scale. Anche per le travi la distribuzione si mantiene invariata con l'altezza e la sezione varia con gradualità, riducendosi solo dal quarto impalcato in poi.

L'impalcato si presenta adeguatamente compatto e dotato di una soletta continua di spessore pari a 4 cm. Il foro dell'ascensore ha dimensioni modeste e non crea alcun problema all'impalcato. Più rilevante potrebbe essere l'influenza della zona scala, considerando la soletta rampante come parte mancante all'impalcato. La presenza della trave che sostiene la soletta rampante, che è posta a livello dell'impalcato, fornisce comunque una adeguata rigidità nei confronti di possibili deformazioni "flessionali" dell'impalcato.

La struttura è stata ipotizzata come vincolata rigidamente alla base (incastrata).

Le pareti di tamponamento, distribuite abbastanza uniformemente lungo il perimetro dell'edificio e intorno alla zona scala, non sono particolarmente rigide. Poiché la struttura è dotata di pilastri e travi emergenti di buone dimensioni, si ritiene trascurabile l'effetto dell'incremento di periodo dovuto al contributo irrigidente delle tamponature. La distribuzione planimetrica delle tamponature non fa pensare a rilevanti influenze sul comportamento torsionale della struttura. Le tamponature si ripetono in maniera sostanzialmente identica a tutti i piani e non hanno quindi influenza sulla regolarità in altezza dell'edificio.

Programmi di calcolo e modellazione della struttura

Durante il primo semestre la struttura è stata calcolata utilizzando il software freeware Tel2008 ed è stata schematizzata come un insieme spaziale di telai piani, incastrati al piede. Si è scelto di modellare come incastro il vincolo costituito da fondazione e terreno poiché non sono state fatte analisi accurate sul sistema fondale dell'edificio.

La scelta di considerare l'impalcato come infinitamente rigido nel suo piano nasce dall'esame visivo dell'impalcato, che non presenta particolari debolezze.

La scelta di utilizzare il modello di insieme spaziale di telai piani è giustificata dalla disposizione dei pilastri, che fanno sì che la struttura sia in effetti sostanzialmente costituita da due insiemi di telai piani ortogonali tra loro, con pilastri continui a tutti i piani e senza

elementi in falso. Il modesto disallineamento di alcuni pilastri non inficia la validità del modello, sia per il piccolo valore di questo disallineamento che per il fatto che gli elementi non perfettamente allineati danno un contributo secondario all'assorbimento dell'azione sismica (sono pilastri di piatto e travi a spessore).

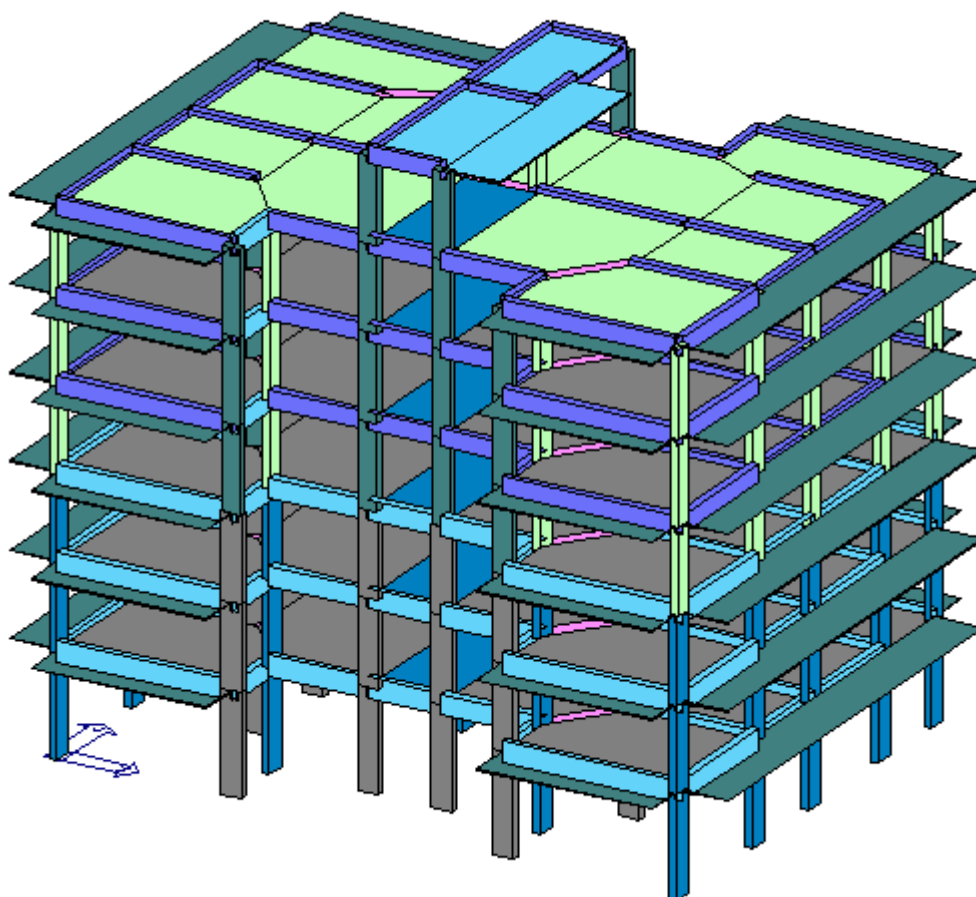
La struttura intelaiata non presenta alcuna particolarità che richieda altre considerazioni sulla modellazione. Si sottolinea in particolare che anche la soletta rampante della scala non costituisce vincolo mutuo tra gli impalcati, essendo costituita da rampe separate in corrispondenza del pianerottolo di riposo e collegate direttamente all'impalcato di provenienza.

La stessa struttura è stata successivamente rimodellata, in termini di proprietà dei materiali, geometria degli elementi strutturali, carichi agenti e combinazioni dei carichi, utilizzando un software di tipo commerciale, in particolare, tramite il "Pro_Sap". Determinato lo stato tenso-deformativo della struttura, si è proceduto ad un confronto dei risultati ottenuti con i due programmi utilizzati (Tel 2008 e Prosap).

Tipo di analisi svolta

La struttura è stata analizzata mediante analisi lineare. L'effetto del sisma è stato valutato mediante analisi modale con spettro di risposta. Lo spettro utilizzato è quello di progetto, ottenuto dai dati del sito e dall'uso di un fattore di struttura $q=3.9$, già riportato in precedenza.

Una volta inseriti i dati, la struttura in Prosap di mostra come di seguito riportato:



Sintesi analisi dei carichi

Prima di analizzare i risultati del calcolo si riporta una sintesi dell'analisi dei carichi effettuata durante la progettazione dell'edificio.

							Totale in assenza di sisma		Totale in presenza di sisma	
	g_k	$g_{k, \text{tramezzi}}$	q_k	G_d	$G_{d, \text{tramezzi}}$	Q_d	$G_d + Q_d$	ψ_{02}	$g_k + \psi_{02} * q_k$	$u.m$
<i>solaio piano tipo</i>	4,29	1,20	2,00	5,58	1,80	3,00	10,38	0,3	6,09	kN/m ²
<i>solaio copertura</i>	3,81		2,00	4,95		3,00	7,95	0,3	4,41	kN/m ²
<i>solaio torino</i>	3,81		0,50	4,95		0,75	5,70	0	3,81	kN/m ²
<i>balcone</i>	3,81		4,00	4,95		6,00	10,95	0,6	6,21	kN/m ²
<i>scala</i>	7,11		4,00	9,24		6,00	15,24	0,6	9,51	kN/m ²
<i>trave emergente</i>	3,99			5,18			5,18		3,99	kN/m
<i>trave a spessore</i>	1,77			2,30			2,30		1,77	kN/m
<i>tamponatura</i>	6,03			7,84			7,84		6,03	kN/m
<i>tramezzi</i>	2,88			3,74			3,74		2,88	kN/m

Esame dei risultati del calcolo e confronto tra Prosap e Tel 2008

Eseguito il calcolo della struttura, si è analizzato il comportamento in termini di risposta, ed è stato effettuato un confronto tra i valori ottenuti con le due modellazioni.

Come primo passo sono state esaminate i valori delle masse di piano ottenuti ed è stata determinata la differenza in termini numerici e di percentuale, come riportato nella seguente tabella:

Impalcato	Peso impalcato Tel 2008 [kN]	Peso impalcato Pro-Sap [kN]	Differenze tra Pro-Sap e Tel [kN]	Differenze tra Pro-Sap e Tel [%]
6 + torino	4252,3	4082,5	-169,9	-4,0%
5	4805,6	4810,1	4,5	0,1%
4	4805,6	4810,1	4,5	0,1%
3	4835,7	4929,4	93,7	1,9%
2	4865,7	4947,8	82,1	1,7%
1	4902,8	5042,2	139,4	2,8%
Totale	28467,8	28622,1	154,3	0,5%

Come è possibile vedere, non sono state riscontrate variazioni notevoli, infatti l'entità delle differenze sono modeste, con percentuali di differenza che vanno da un minimo dello 0.1% ad un massimo del 4% in corrispondenza dell'ultimo impalcato, in cui il contributo del torino è stato considerato distribuendo la sua massa in tutto l'impalcato dei coperture.

La risposta sismica della struttura è stata valutata osservando i periodi modali e le masse partecipanti della struttura, per sisma agente in direzione x e in direzione y:

	<i>Tel 2008</i>			<i>Prosap</i>			<i>Differenze [%]</i>		
<i>Modi</i>	Periodo T [s]	M _x [%]	M _y [%]	Periodo T [s]	M _x [%]	M _y [%]	Periodo T [s]	M _x [%]	M _y [%]
1	0,705	0,00%	81,44%	0,701	0,00%	81,00%	-0,71%	0,00%	-0,44%
2	0,698	81,60%	0,00%	0,699	80,00%	0,00%	0,29%	-1,60%	0,00%
3	0,624	1,48%	0,00%	0,604	2,00%	0,00%	-3,85%	0,52%	0,00%
4	0,237	11,42%	0,00%	0,242	10,00%	0,00%	1,27%	-1,42%	0,00%
5	0,235	0,00%	12,94%	0,239	0,00%	12,00%	2,13%	0,00%	-0,94%
6	0,212	0,17%	0,00%	0,209	0,00%	0,00%	-0,94%	-0,17%	0,00%
7	0,129	3,09%	0,00%	0,136	2,00%	0,00%	8,53%	-1,09%	0,00%
8	0,125	0,00%	3,29%	0,135	0,00%	2,00%	12,00%	0,00%	-1,29%
9	0,115	0,03%	0,00%	0,115	0,00%	0,00%	4,35%	-0,03%	0,00%

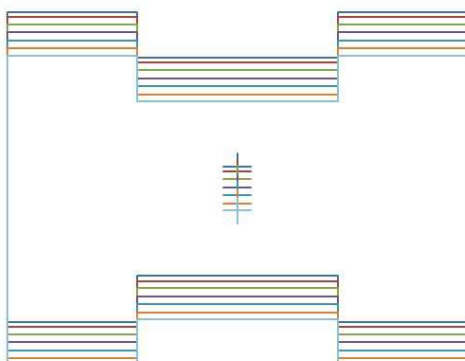
Si osserva che la risposta della struttura in termini di periodo e di massa partecipante ottenuta dalle due analisi sono pressochè uguali con variazioni del tutto trascurabili.

A conferma di tale comportamento, di seguito, vengono riportate le deformate modali della struttura ottenute utilizzando Tel 2008 e Prosap:

Per quanto riguarda l'analisi effettuata con Tel 2008, le deformate modali dell'edificio (viste dall'alto) con i relativi periodi, considerando il centro di massa nella sua posizione nominale, sono rispettivamente:

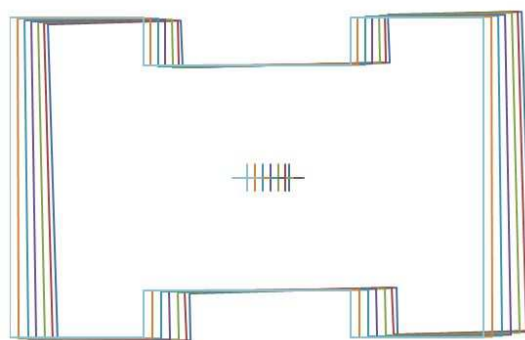
MODO 1

T=0.705 s



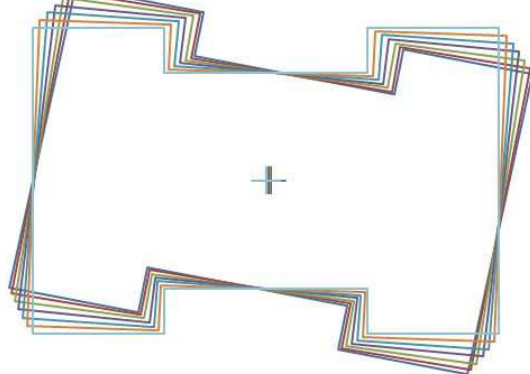
MODO 2

T=0.698 s



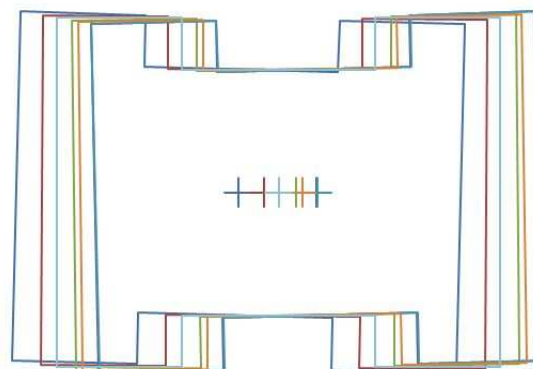
MODO 3

T=0.624 s

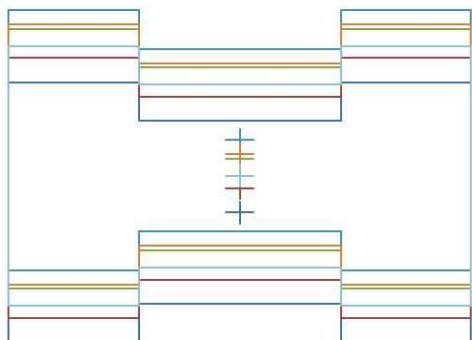


MODO 4

T=0.237 s



MODO 5
 $T=0.235\text{ s}$



MODO 6
 $T=0.212\text{ s}$

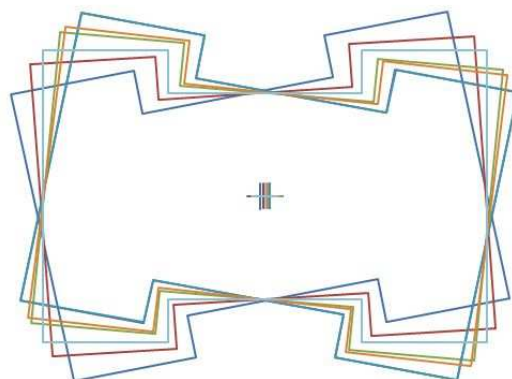
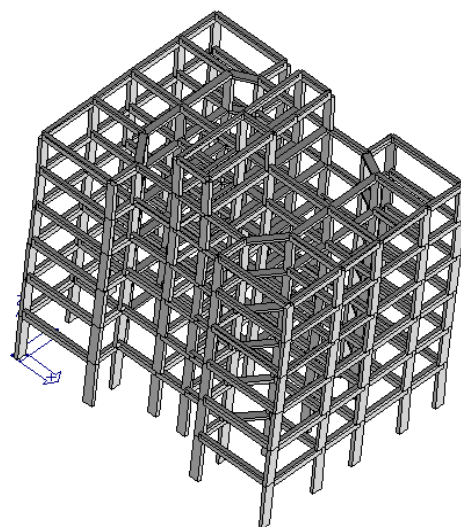
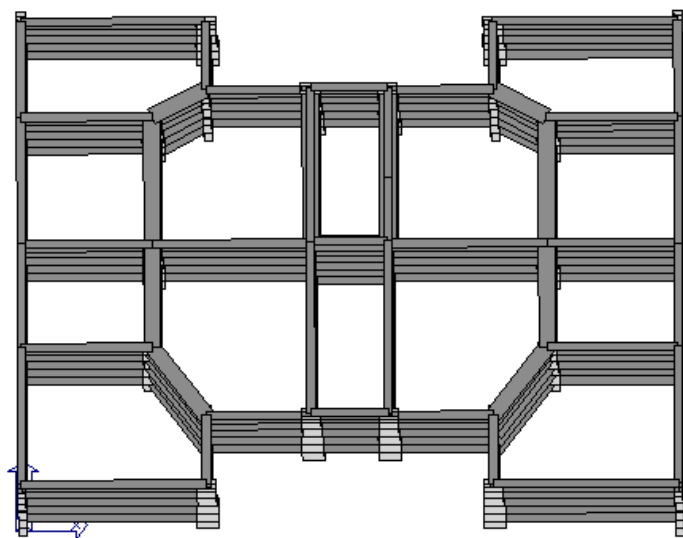


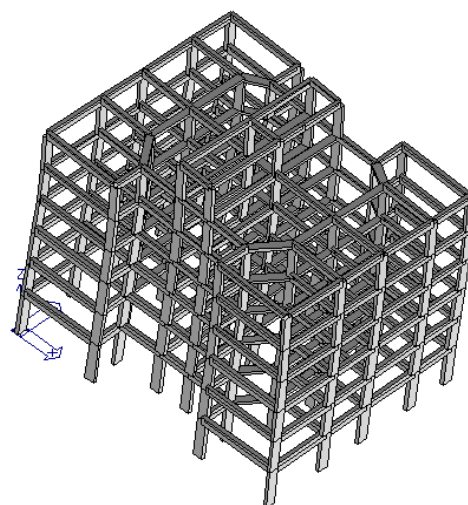
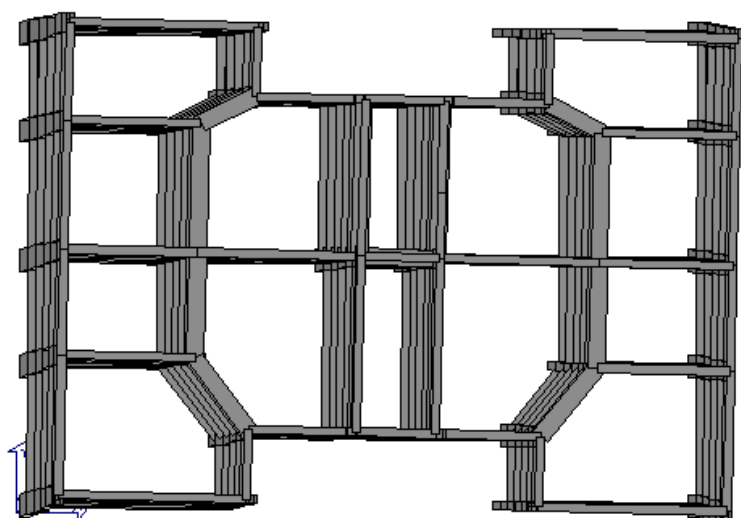
Fig. 9. Modi di oscillazione libera della struttura (Tel 2008)

Le deformate modali e i rispettivi periodi dell'edificio, invece, ottenuti modellando la struttura con ProSap sono le seguenti:

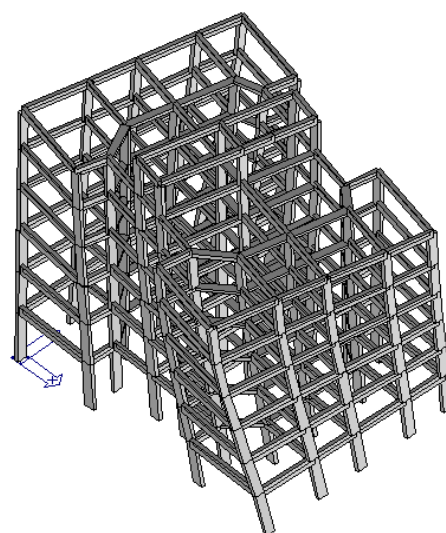
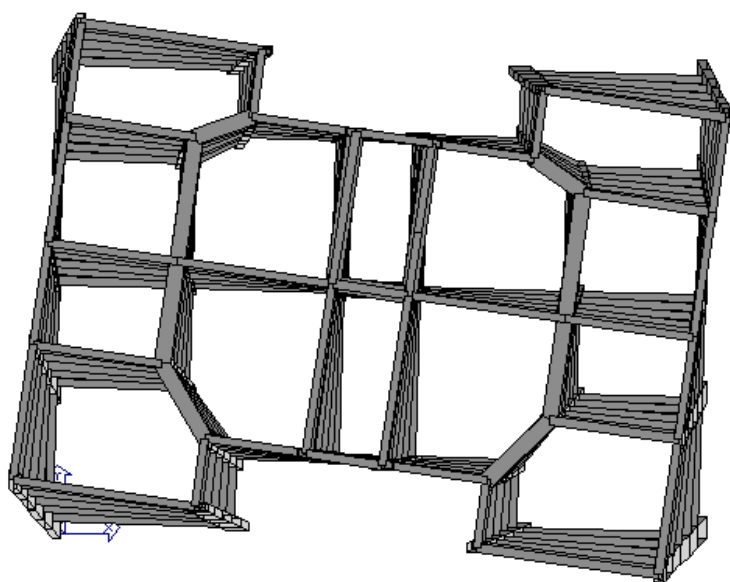
MODO 1
 $T=0.70\text{ s}$



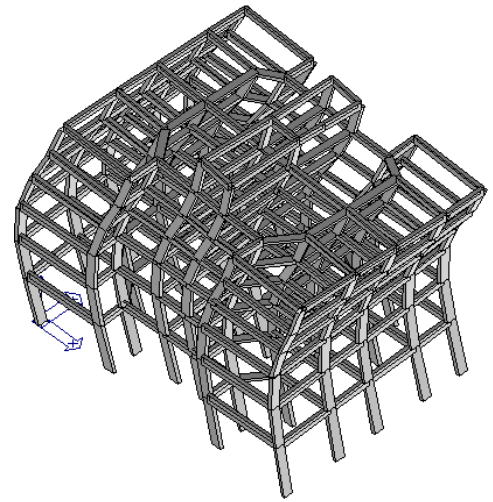
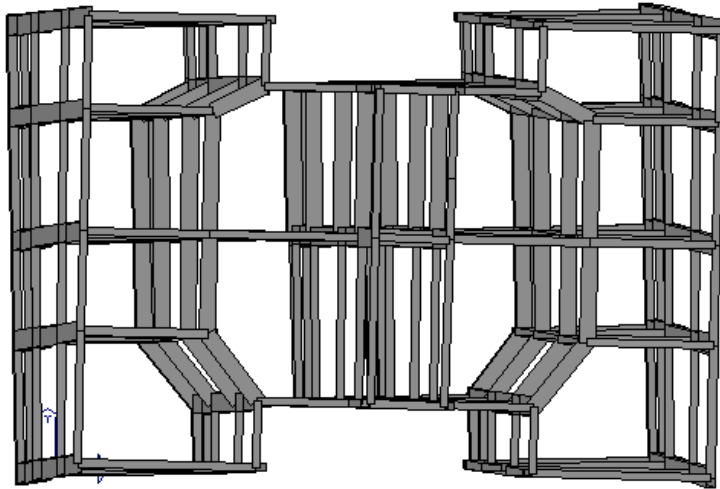
MODO 2
T=0.70 s



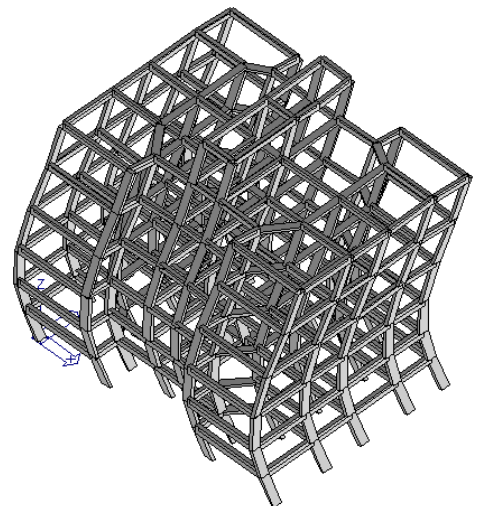
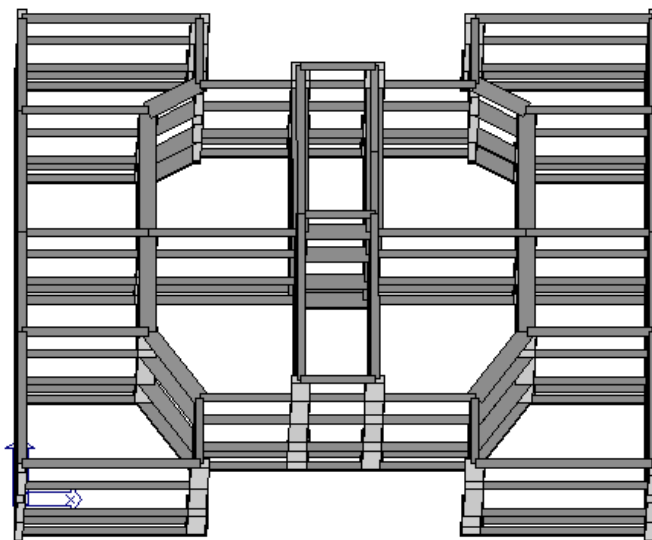
MODO 3
T=0.60 s



MODO 4
T=0.24 s



MODO 5
T=0.24 s



MODO 6

T=0.21 s

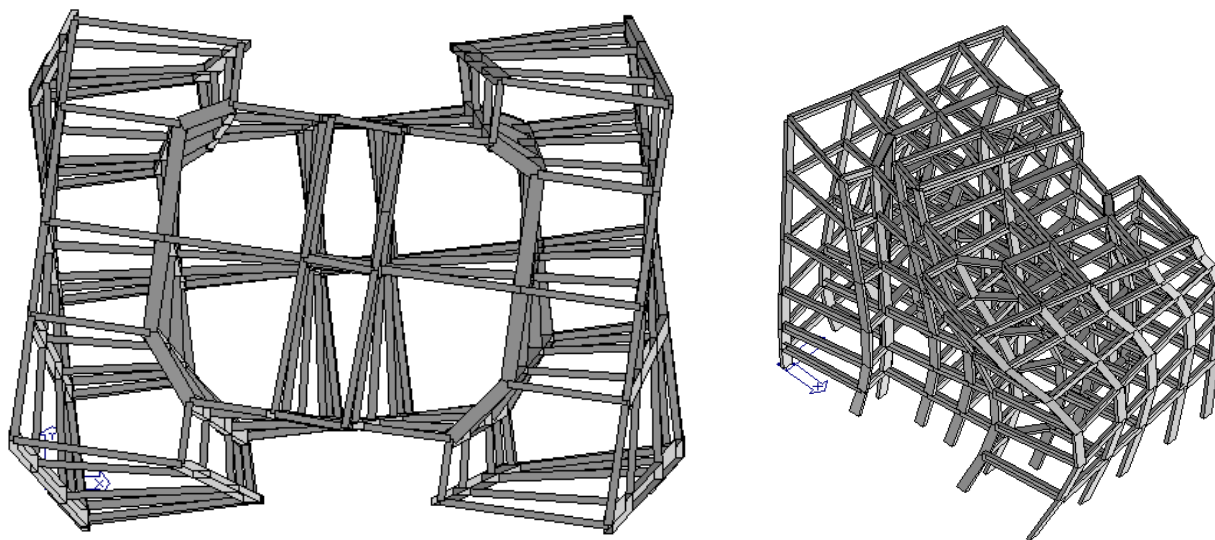


Fig. 10. Modi di oscillazione libera della struttura (Pro_Sap)

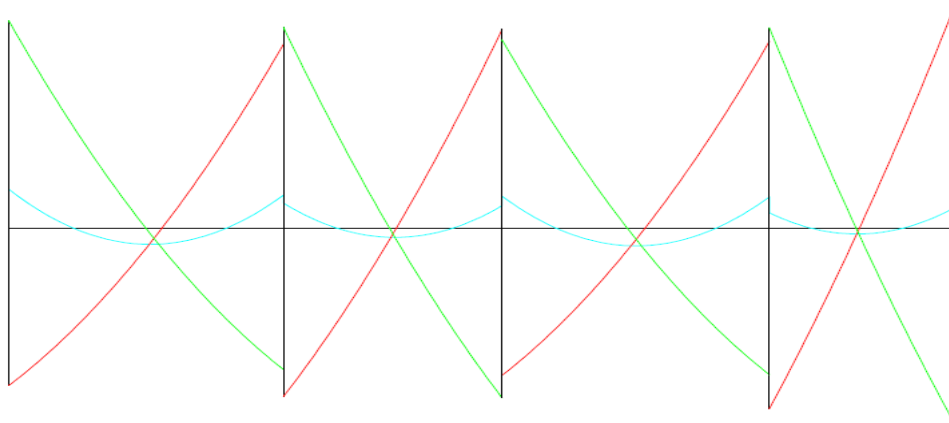
Da entrambe le analisi si evince che il primo modo mostra traslazioni in direzione y , con assenza di rotazioni (la struttura, infatti, è simmetrica rispetto a tale direzione); ed ha un periodo di circa 0.70 s , la cui corrispondente ordinata dello spettro di progetto è 0.114 g . Il secondo modo mostra traslazioni in direzione x , accoppiate con rotazioni modeste, che si ritengono accettabili. Il terzo modo è invece chiaramente di rotazione, forse accoppiata con leggeri spostamenti in direzione x , il suo periodo (0.60 in ProSap e 0.624 s in Tel 2008) è inferiore rispetto ai primi due, mostrando che la struttura ha una buona rigidezza torsionale. Le masse partecipanti relative ai primi 9 modi sono riportate in tabella, mostrano che per ciascuna direzione vi è un modo nettamente dominante (il primo per la direzione y , il secondo per la x) con massa partecipante superiore all'80% ed un successivo modo (il quarto per la direzione x , il quinto per la y) che contribuisce con un ulteriore 12%.

In seguito sono state analizzate e confrontate le caratteristiche di sollecitazione del modello strutturale considerato, in particolare quelle che nascono negli elementi principali oggetto di studio, cioè la trave 102 e il pilastro 30 (vedi carpenteria). Il confronto è stato fatto tra i valori ottenuti in Pro_Sap e i valori ottenuti utilizzando Tel 2008, e sono state valutate le variazioni riscontrate nel primo rispetto al secondo, sia in termini di unità che di percentuali.

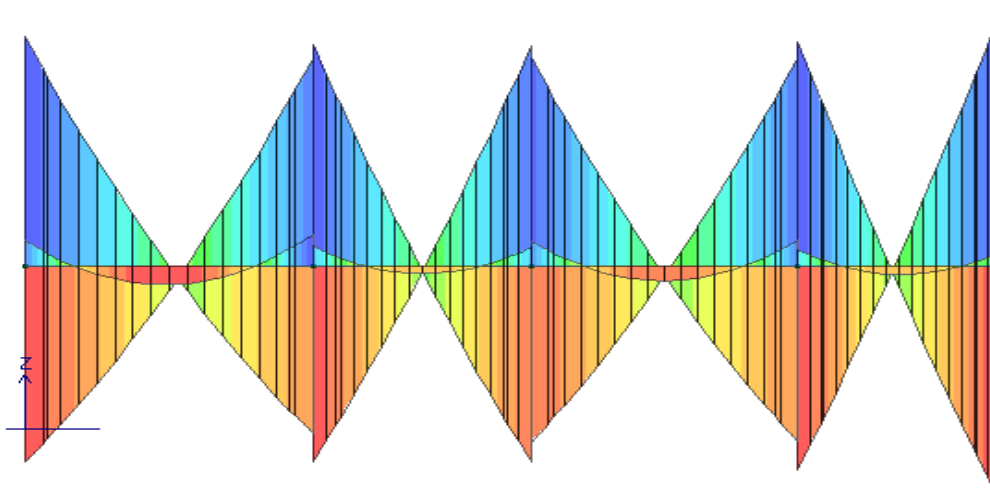
TRAVE 102

MOMENTO FLETTENTE

DIAGRAMMI DEL MOMENTO IN TEL 2008



DIAGRAMMI DEL MOMENTO IN PROSAP



CONFRONTO TRA I VALORI DI MOMENTO FLETTENTE NELLA TRAVE 102

Combinazione (SLU) per soli carichi verticali:

$G_d + Q_d$

MOMENTO FLETTENTE TRAVE 1-27									
TRAVE	COMBINAZIONE DI CARICO: $G_d + Q_d$								
	Primo ESTREMO			Secondo ESTREMO			CAMPATA		
	Tel 2008	Prosap	Differenze [%]	Tel 2009	Prosap	Differenze [%]	Tel 2010	Prosap	Differenze [%]
1-9	-95,5	-60,9	-36,2%	-81,1	-74,7	-7,8%	40,7	42,9	5,3%
9-13	-61,2	-47,0	-23,3%	-54,9	-42,0	-23,5%	23,5	17,3	-26,6%
13-19	-78,2	-59,2	-24,3%	-76,8	-61,6	-19,8%	44,4	34,1	-23,2%
19-27	-37,3	-39,6	6,0%	-53,6	-31,0	-42,0%	15,5	18,9	22,1%

Combinazione (SLV) in condizioni sismiche:

$$G_k + \psi_{02} Q_k + (F_y - M_y) - 0,3(F_x + M_x)$$

ESTREMO TRAVE	SOLLECITAZIONE	COMBINAZIONE DI CARICO: $G_k + \psi_{02} Q_k + (F_y - M_y) - 0,3(F_x + M_x)$		U.M.	Differenze [kNm]	Differenze %
		Tel 2008	Prosap			
1	Msin	-511,5	-537,0	[kNm]	-25,4	5,0%
9	Mdes	350,0	391,4	[kNm]	41,5	11,8%
9	Msin	-494,9	-519,6	[kNm]	-24,7	5,0%
13	Mdes	419,9	453,7	[kNm]	33,8	8,0%
13	Msin	-463,9	-489,3	[kNm]	-25,4	5,5%
19	Mdes	362,4	408,3	[kNm]	46,0	12,7%
19	Msin	-494,3	-526,9	[kNm]	-32,6	6,6%
27	Mdes	495,6	550,5	[kNm]	54,9	11,1%

Combinazione (SLV) in condizioni sismiche:

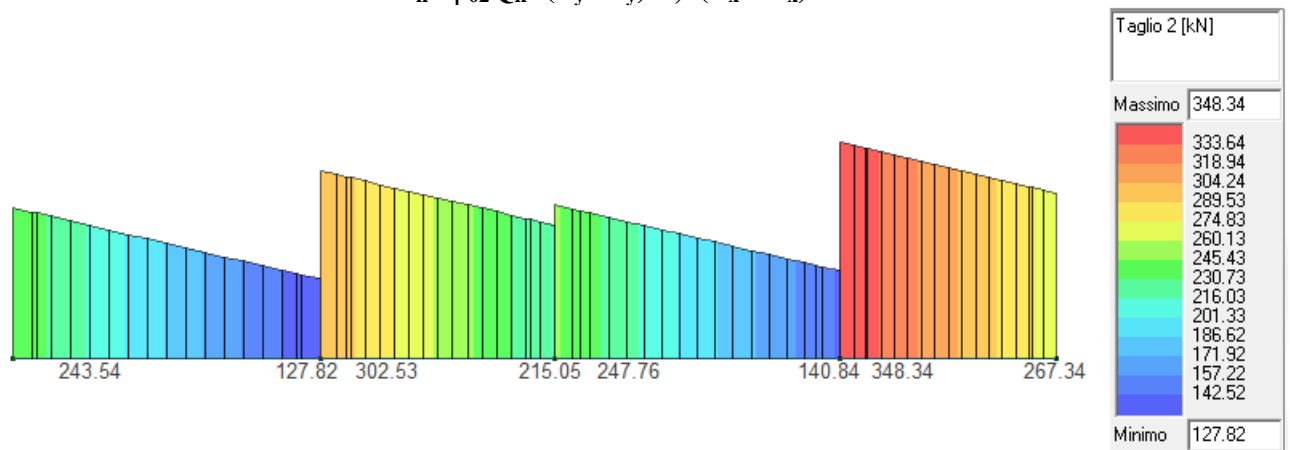
$$G_k + \psi_{02} Q_k - (F_y - M_y) + 0,3(F_x + M_x)$$

ESTREMO TRAVE	SOLLECITAZIONE	COMBINAZIONE DI CARICO: $G_k + \psi_{02} Q_k - (F_y - M_y) + 0,3(F_x + M_x)$		U.M.	Differenze [kNm]	Differenze %
		Tel 2008	Prosap			
1	Msin	389,5	456,7	[kNm]	67,1	17,2%
9	Mdes	-453,4	-488,4	[kNm]	-35,0	7,7%
9	Msin	416,7	457,9	[kNm]	41,2	9,9%
13	Mdes	-490,0	-517,2	[kNm]	-27,2	5,5%
13	Msin	364,1	411,9	[kNm]	47,8	13,1%
19	Mdes	-460,4	-488,6	[kNm]	-28,2	6,1%
19	Msin	446,7	475,8	[kNm]	29,1	6,5%
27	Mdes	-564,1	-591,6	[kNm]	-27,5	4,9%

TAGLIO

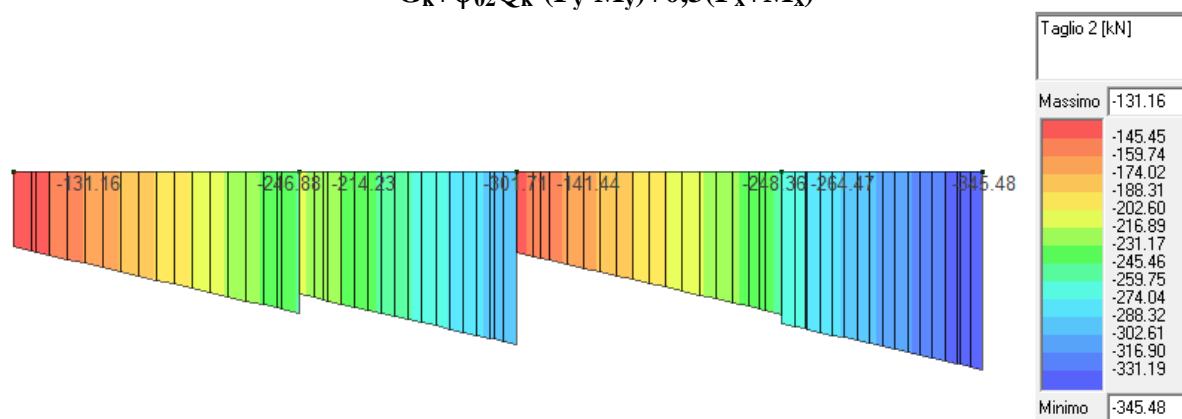
DIAGRAMMI DEL TAGLIO IN PROSAP

$$G_k + \psi_{02} Q_k + (F_y - M_y) - 0,3(F_x + M_x)$$



DIAGRAMMI DEL TAGLIO IN PROSAP

$$G_k + \psi_{02} Q_k - (F_y - M_y) + 0,3(F_x + M_x)$$



CONFRONTO TRA I VALORI DI TAGLIO NELLA TRAVE 102

Combinazione (SLV) in condizioni sismiche:

$$G_k + \psi_{02} Q_k + (F_y - M_y) - 0,3(F_x + M_x)$$

ESTREMO TRAVE	SOLLECITAZIONE	COMBINAZIONE DI CARICO: $G_k + \psi_{02} Q_k + (F_y - M_y) - 0,3(F_x + M_x)$		U.M.	Differenze [kN]	Differenze %
		Tel 2008	Prosap			
1	Vsin	245,3	243,5	[kN]	-1,7	-0,7%
9	Vdes	99,3	127,8	[kN]	28,5	28,7%
9	Vsin	297,2	302,5	[kN]	5,4	1,8%
13	Vdes	186,8	215,1	[kN]	28,2	15,1%
13	Vsin	246,3	247,8	[kN]	1,5	0,6%
19	Vdes	111,4	140,8	[kN]	29,4	26,4%
19	Vsin	333,9	348,3	[kN]	14,4	4,3%
27	Vdes	231,8	267,3	[kN]	35,6	15,3%

Combinazione (SLV) in condizioni sismiche:

$$G_k + \psi_{02} Q_k - (F_y - M_y) + 0,3(F_x + M_x)$$

ESTREMO TRAVE	SOLLECITAZIONE	COMBINAZIONE DI CARICO: $G_k + \psi_{02} Q_k - (F_y - M_y) + 0,3(F_x + M_x)$		U.M.	Differenze [kN]	Differenze %
		Tel 2008	Prosap			
1	Vsin	-95,6	-131,2	[kN]	-35,5	37,2%
9	Vdes	-241,6	-246,9	[kN]	-5,3	2,2%
9	Vsin	-184,7	-214,2	[kN]	-29,5	16,0%
13	Vdes	-295,0	-301,7	[kN]	-6,7	2,3%
13	Vsin	-111,0	-141,4	[kN]	-30,4	27,4%
19	Vdes	-245,9	-248,4	[kN]	-2,5	1,0%
19	Vsin	-237,7	-264,5	[kN]	-26,8	11,3%
27	Vdes	-339,9	-345,5	[kN]	-5,6	1,6%

PILASTRO 30

SFORZO NORMALE

CONFRONTO TRA I VALORI DI SFORZO NORMALE NEL PILASTRO 30

Combinazione (SLU) per soli carichi verticali:

G_d+Q_d

Sforzo normale N	Impalcato	G_d+Q_d		U.M.	Differenze [kN]	Differenze %
		Tel 2008	Prosap			
	6	-247,0	-179,0	[kN]	68,0	-27,5%
	5	-542,5	-424,7	[kN]	117,8	-21,7%
	4	-833,8	-669,5	[kN]	164,3	-19,7%
	3	-1128,5	-918,4	[kN]	210,0	-18,6%
	2	-1418,5	-1168,4	[kN]	250,2	-17,6%
	1	-1698,9	-1416,4	[kN]	282,6	-16,6%

Combinazione (SLV) in condizioni sismiche:

Sisma prevalente in direzione y

Sforzo normale N	Impalcato	COMBINAZIONE DI CARICO: $G_k+\psi_{02}Q_k-(F_y+M_y)-0,3(F_x-M_x)$		U.M.	Differenze [kN]	Differenze %
		Tel 2008	Prosap			
	6	-202,9	-148,08	[kN]	54,8	-27,0%
	5	-504,5	-406,21	[kN]	98,3	-19,5%
	4	-859,3	-722,76	[kN]	136,5	-15,9%
	3	-1285,9	-1114,92	[kN]	171,0	-13,3%
	2	-1746,8	-1549,25	[kN]	197,6	-11,3%
	1	-2223,2	-2006,76	[kN]	216,4	-9,7%

TAGLIO

CONFRONTO TRA I VALORI DI TAGLIO NEL PILASTRO 30

Combinazione (SLU) per soli carichi verticali:

G_d+Q_d

Direzione x

Taglio V_x	Impalcato	G_d+Q_d		U.M.	Differenze [kN]	Differenze %
		Tel 2008	Prosap			
	6	52,2	38,7	[kN]	-13,5	-26,0%
	5	42,6	36,1	[kN]	-6,6	-15,4%
	4	40,0	33,3	[kN]	-6,8	-16,9%
	3	38,3	32,7	[kN]	-5,7	-14,8%
	2	40,8	35,4	[kN]	-5,3	-13,1%
	1	15,8	13,9	[kN]	-1,9	-12,1%

Direzione y

Taglio V_y	Impalcato	G_d+Q_d		U.M.	Differenze [kN]	Differenze %
		Tel 2008	Prosap			
	6	30,8	13,4	[kN]	-17,4	-56,5%
	5	22,9	11,0	[kN]	-11,9	-51,8%
	4	22,2	10,4	[kN]	-11,8	-53,1%
	3	26,1	11,9	[kN]	-14,2	-54,4%
	2	21,3	11,0	[kN]	-10,2	-48,1%
	1	7,5	4,4	[kN]	-3,1	-41,3%

Combinazione (SLV) in condizioni sismiche:
Sisma prevalente in direzione x

Taglio V_x	Impalcato	COMBINAZIONE SISMICA: sisma prevalente in direzione x		U.M.	Differenze [kN]	Differenze %
		Tel 2008	Prosap			
	6	55,2	48,1	[kN]	-7,0	-12,7%
	5	62,2	62,7	[kN]	0,5	0,8%
	4	74,2	77,0	[kN]	2,8	3,8%
	3	80,9	86,9	[kN]	6,0	7,4%
	2	91,7	99,1	[kN]	7,4	8,1%
	1	56,2	63,1	[kN]	6,9	12,4%

Combinazione (SLV) in condizioni sismiche:
Sisma prevalente in direzione y

Taglio V_y	Impalcato	COMBINAZIONE SISMICA: sisma prevalente in direzione y		U.M.	Differenze [kN]	Differenze %
		Tel 2009	Prosap			
	6	57,8	40,6	[kN]	-17,2	-29,7%
	5	101,2	94,1	[kN]	-7,1	-7,0%
	4	134,4	133,7	[kN]	-0,7	-0,5%
	3	160,0	162,2	[kN]	2,2	1,4%
	2	179,5	190,0	[kN]	10,5	5,9%
	1	211,8	237,1	[kN]	25,3	11,9%

MOMENTO FLETTENTE

CONFRONTO TRA I VALORI DI MOMENTO FLETTENTE NEL PILASTRO 30

Combinazione sismica con sisma prevalente in direzione x

	Impalcato	SOLLECITAZIONE	COMBINAZIONE SISMICA: sisma prevalente in direzione x		U.M.	Differenze [kNm]	Differenze %
			Tel 2008	Prosap			
M_y	6	M_{sup}	95,9	82,0	[kNm]	13,9	-14,5%
	6	M_{inf}	-80,6	-72,1	[kNm]	-8,5	-10,6%
	5	M_{sup}	100,6	102,5	[kNm]	-1,9	1,9%
	5	M_{inf}	-98,3	-98,0	[kNm]	-0,4	-0,4%
	4	M_{sup}	118,1	122,4	[kNm]	-4,3	3,6%
	4	M_{inf}	-119,4	-124,2	[kNm]	4,7	4,0%
	3	M_{sup}	130,8	140,6	[kNm]	-9,8	7,5%
	3	M_{inf}	-128,1	-137,5	[kNm]	9,4	7,3%
	2	M_{sup}	143,2	155,4	[kNm]	-12,2	8,5%
	2	M_{inf}	-150,2	-161,9	[kNm]	11,7	7,8%
	1	M_{sup}	107,5	119,1	[kNm]	-11,6	10,8%
	1	M_{inf}	-105,9	-120,7	[kNm]	14,8	13,9%

Combinazione sismica con sisma prevalente in direzione y

	Impalcato	SOLLECITAZIONE	COMBINAZIONE SISMICA: sisma prevalente in direzione y		U.M.	Differenze [kNm]	Differenze %
			Tel 2008	Prosap			
M_x	6	M_{sup}	118,8	90,2	[kNm]	28,6	-24,1%
	6	M_{inf}	-67,4	-45,0	[kNm]	-22,4	-33,2%
	5	M_{sup}	185,4	180,7	[kNm]	4,6	-2,5%
	5	M_{inf}	-139,5	-122,0	[kNm]	-17,5	-12,6%
	4	M_{sup}	209,1	212,4	[kNm]	-3,4	1,6%
	4	M_{inf}	-221,8	-216,4	[kNm]	-5,3	-2,4%
	3	M_{sup}	260,9	269,3	[kNm]	-8,4	3,2%
	3	M_{inf}	-252,3	-251,5	[kNm]	-0,9	-0,3%
	2	M_{sup}	286,7	306,6	[kNm]	-19,9	6,9%
	2	M_{inf}	-288,4	-302,4	[kNm]	14,0	4,9%
	1	M_{sup}	277,5	301,5	[kNm]	-24,1	8,7%
	1	M_{inf}	-527,6	-599,6	[kNm]	72,1	13,7%

Confronto tra Prosap-struttura con fondazione e Prosap-struttura incastrata alla base

Per una migliore conoscenza del comportamento reale della struttura è stata ripetuta l'analisi tramite il Pro_Sap utilizzando un modello geometrico dell'edificio che include la fondazione; i risultati così ottenuti sono stati confrontati con quelli ottenuti modellando la struttura incastrata alla base.

Come sistema fondale è stato adottato un reticolo di travi rovesce. La scelta della sezione trasversale della trave di fondazione è stata fatta in modo da garantire un'inerzia maggiore (quattro volte) della somma delle inerzie delle travi in elevazione, in modo da assicurare un incastro flessionale. Le dimensioni adottate per le travi di fondazione sono le seguenti:

- altezza totale $H=150$ cm;
- larghezza base inferiore $B=150$ cm;
- larghezza base superiore $b=40$ cm;
- altezza ala della base $h=50$ cm.

La costante di sottofondo utilizzata per la modellazione del suolo alla Winkler è stata posta pari a $0,02 \text{ N/mm}^3$ considerando che il suolo è appartenente alla categoria C (*Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti*). Tale valore è suggerito nel testo del *Professore Viggiani, Fondazioni* per sabbie sciolte.

La risposta sismica della struttura è stata valutata osservando i periodi modali e le masse partecipanti della struttura, per sisma agente in direzione x e in direzione y:

Mod i	Prosap			Prosap con Fondazione			Differenze [%]		
	Periodo T [s]	M_x [%]	M_y [%]	Periodo T [s]	M_x [%]	M_y [%]	Periodo T [s]	M_x [%]	M_y [%]
1	0,701	0,00%	81,60%	0,895	0,00%	83,30%	27,67%	0,00%	2,08%
2	0,699	80,80%	0,00%	0,802	82,70%	0,00%	14,74%	2,35%	0,00%
3	0,604	2,00%	0,00%	0,690	2,40%	0,00%	14,24%	20,00%	0,00%
4	0,242	10,90%	0,00%	0,258	10,60%	0,00%	6,61%	-2,75%	0,00%
5	0,239	0,00%	12,30%	0,256	0,00%	12,40%	7,11%	0,00%	0,81%
6	0,209	0,00%	0,00%	0,225	0,00%	0,00%	7,66%	0,00%	0,00%
7	0,136	2,90%	0,00%	0,182	0,00%	0,00%	33,82%	0,00%	0,00%
8	0,135	0,00%	2,80%	0,174	0,00%	0,00%	28,89%	0,00%	0,00%
9	0,115	0,00%	0,00%	0,162	0,00%	0,00%	40,87%	0,00%	0,00%

Si osserva che la maggiore deformabilità, che si ha per effetto dell'inclusione della fondazione nel modello, comporta un incremento del periodo proprio della struttura e pertanto una riduzione dell'azione sismica. Lo schema, quindi, con incastro alla base risulta essere, da questo punto di vista più cautelativo.

A conferma di tale comportamento, di seguito, vengono riportate le deformate modali della struttura ottenute da Prosap modellando la struttura in esame, una volta come incastrata alla base, e una volta con fondazione alla base:

Modellazione struttura incastrata alla base

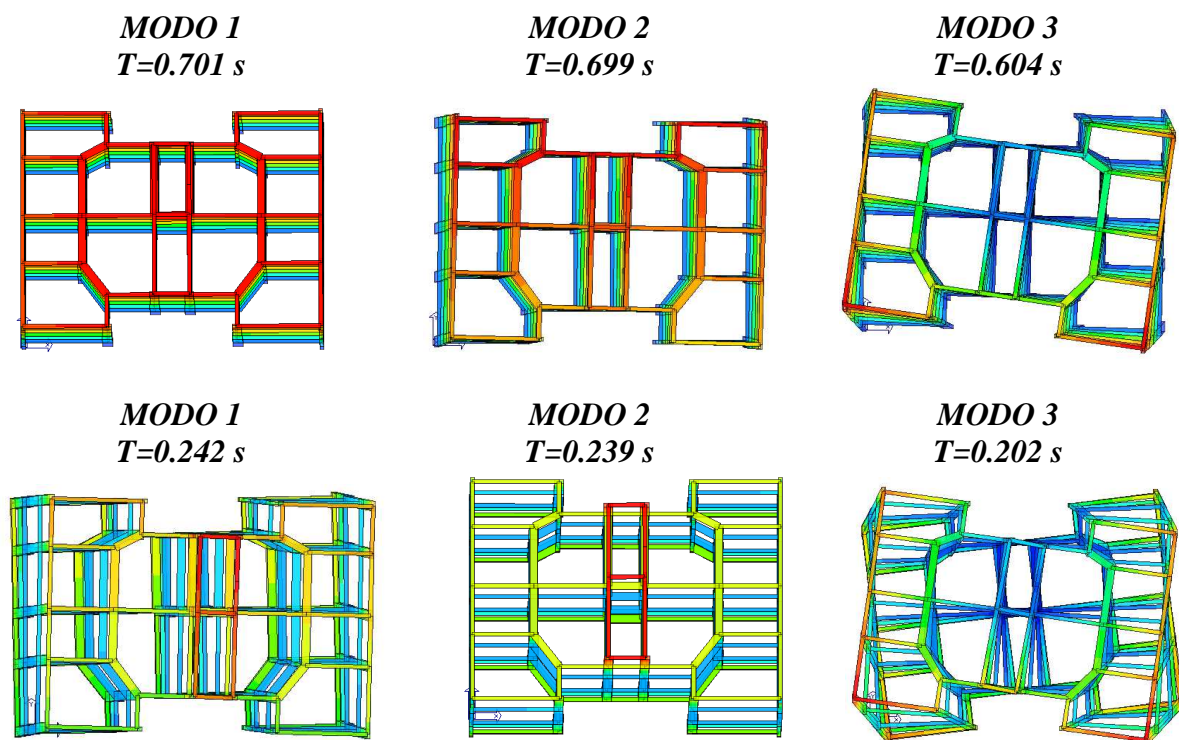


Fig. 11. Modi di oscillazione libera della struttura incastrata alla base (Pro_Sap)

Modellazione struttura con fondazione alla base

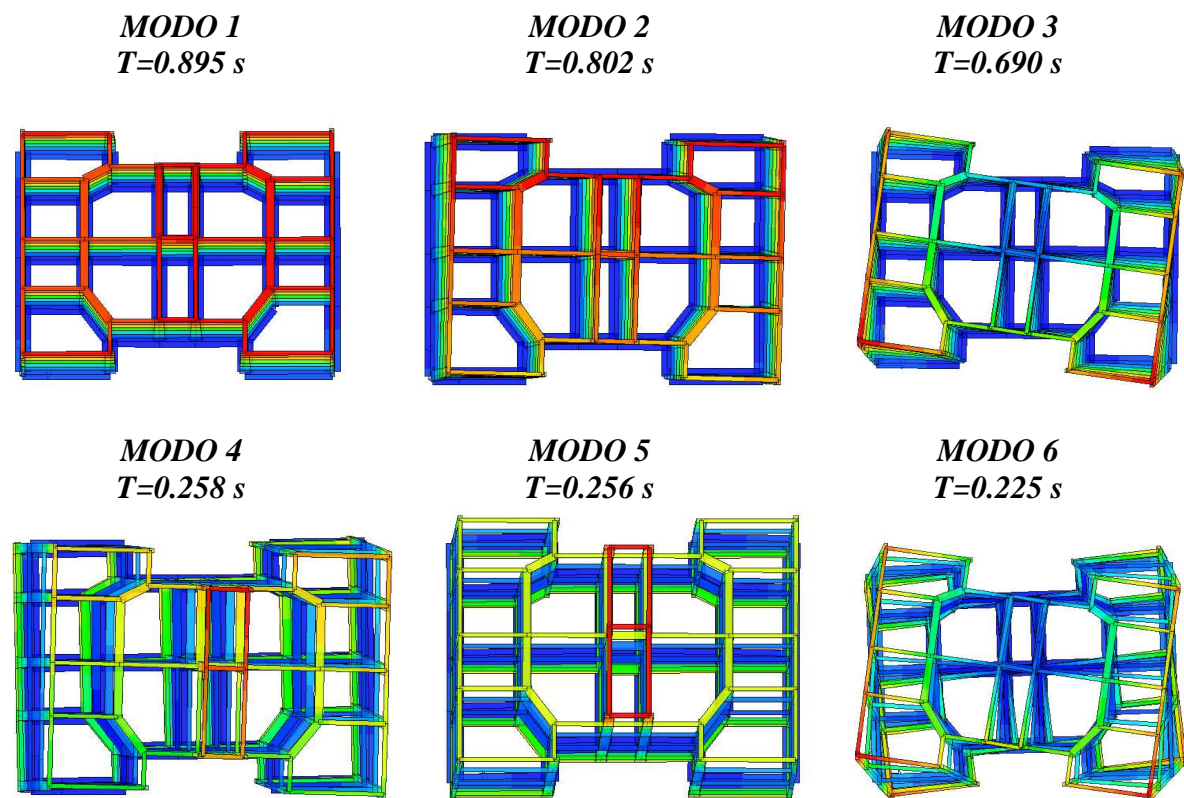


Fig. 12. Modi di oscillazione libera della struttura con fondazione alla base (Pro_Sap)

Successivamente sono state analizzate e confrontate le sollecitazioni che nascono negli elementi principali della struttura, in particolare nella trave e nel pilastro oggetto di studio, cioè la trave 102 e il pilastro 30 (vedi carpenteria).

TRAVE 102

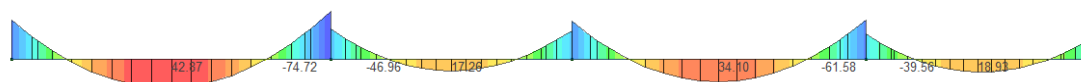
MOMENTO FLETTENTE

DIAGRAMMI DEL MOMENTO (PROSAP)

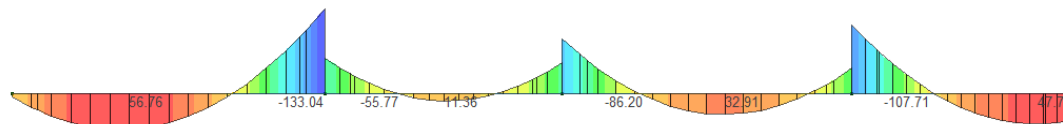
Combinazione:

$G_d + Q_d$

STRUTTURA INCASTRATA ALLA BASE



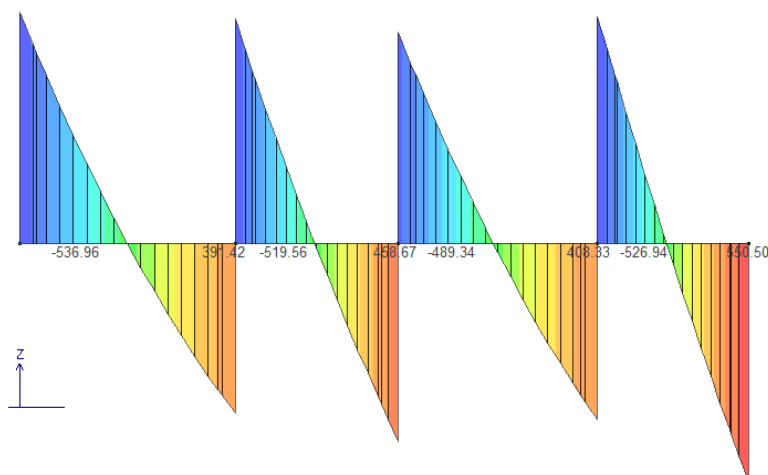
STRUTTURA CON FONDAZIONE



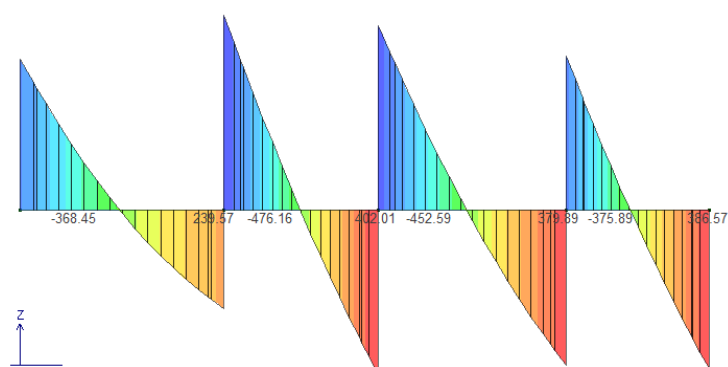
Combinazione:

$G_k + \psi_{02} Q_k + (F_y - M_y) - 0,3(F_x + M_x)$

STRUTTURA INCASTRATA ALLA BASE

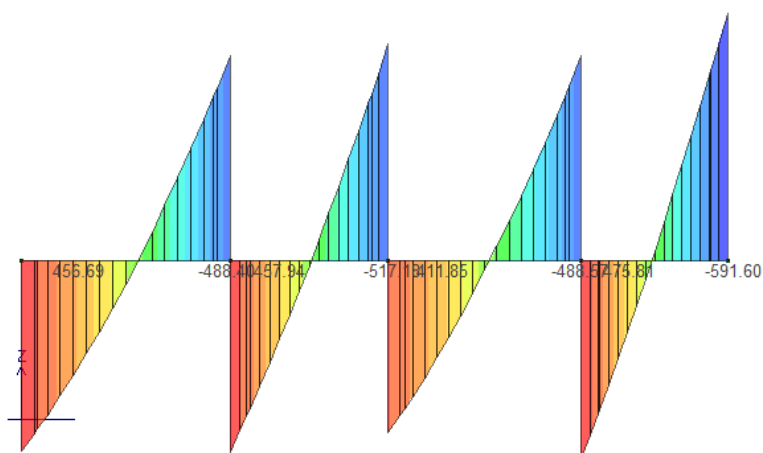


STRUTTURA CON FONDAZIONE

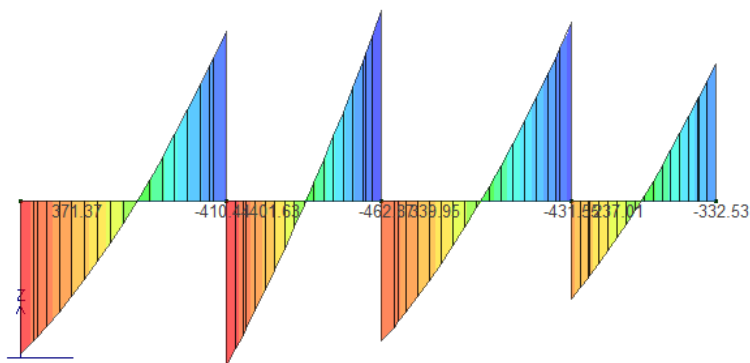


Combinazione:
 $G_k + \psi_{02} Q_k - (F_y - M_y) + 0,3(F_x + M_x)$

STRUTTURA INCASTRATA ALLA BASE



STRUTTURA CON FONDAZIONE



CONFRONTO TRA I VALORI DI MOMENTO FLETTENTE NELLA TRAVE 102

Combinazione (SLU) per soli carichi verticali:
 $G_d + Q_d$

MOMENTO FLETTENTE TRAVE 1-27									
TRAVE	COMBINAZIONE DI CARICO: $G_d + Q_d$								
	Primo ESTREMO			Secondo ESTREMO			CAMPATA		
	Prosap	Prosap con Fondazione	Differenze [%]	Prosap	Prosap con Fondazione	Differenze [%]	Prosap	Prosap con Fondazione	Differenze [%]
1-9	-60,9	4,6	-107,6%	-74,7	-133,0	78,1%	42,9	56,8	32,4%
9-13	-47,0	-55,8	18,8%	-42,0	-48,0	14,3%	17,3	11,4	-34,2%
13-19	-59,2	-86,2	45,6%	-61,6	-39,8	-35,4%	34,1	32,9	-3,5%
19-27	-39,6	-107,7	172,3%	-31,0	42,8	-237,9%	18,9	47,7	152,0%

Combinazione (SLV) in condizioni sismiche:
 $G_k + \psi_{02} Q_k + (F_y - M_y) - 0,3(F_x + M_x)$

ESTREMO TRAVE	SOLLECITAZIONE	COMBINAZIONE DI CARICO: $G_k + \psi_{02} Q_k + (F_y - M_y) - 0,3(F_x + M_x)$		U.M.	Differenze [kNm]	Differenze %
		<i>Prosap</i>	<i>Prosap con Fondazione</i>			
1	Msin	-537,0	-368,5	[kNm]	168,5	-31,4%
9	Mdes	391,4	239,6	[kNm]	-151,9	-38,8%
9	Msin	-519,6	-476,2	[kNm]	43,4	-8,4%
13	Mdes	453,7	402,0	[kNm]	-51,7	-11,4%
13	Msin	-489,3	-452,6	[kNm]	36,8	-7,5%
19	Mdes	408,3	379,9	[kNm]	-28,4	-7,0%
19	Msin	-526,9	-375,9	[kNm]	151,1	-28,7%
27	Mdes	550,5	386,6	[kNm]	-163,9	-29,8%

Combinazione (SLV) in condizioni sismiche:
 $G_k + \psi_{02} Q_k - (F_y - M_y) + 0,3(F_x + M_x)$

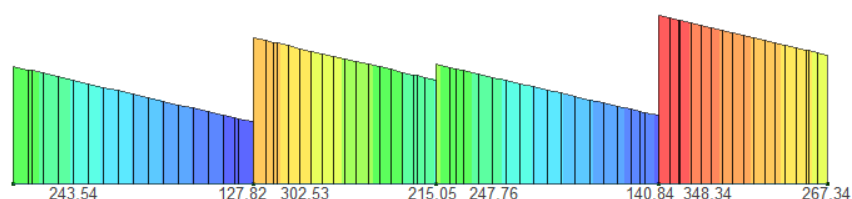
ESTREMO TRAVE	SOLLECITAZIONE	COMBINAZIONE DI CARICO: $G_k + \psi_{02} Q_k - (F_y - M_y) + 0,3(F_x + M_x)$		U.M.	Differenze [kNm]	Differenze %
		<i>Prosap</i>	<i>Prosap con Fondazione</i>			
1	Msin	456,7	371,4	[kNm]	-85,3	-18,7%
9	Mdes	-488,4	-410,4	[kNm]	78,0	-16,0%
9	Msin	457,9	401,7	[kNm]	-56,3	-12,3%
13	Mdes	-517,2	-462,9	[kNm]	54,3	-10,5%
13	Msin	411,9	400,0	[kNm]	-11,9	-2,9%
19	Mdes	-488,6	-431,6	[kNm]	57,0	-11,7%
19	Msin	475,8	237,0	[kNm]	-238,8	-50,2%
27	Mdes	-591,6	-332,5	[kNm]	259,1	-43,8%

TAGLIO

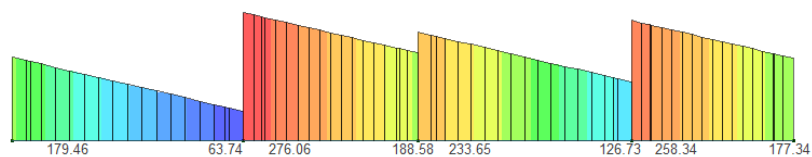
DIAGRAMMI DEL TAGLIO (PROSAP)

Combinazione:
 $G_k + \psi_{02} Q_k + (F_y - M_y) - 0,3(F_x + M_x)$

STRUTTURA INCASTRATA ALLA BASE



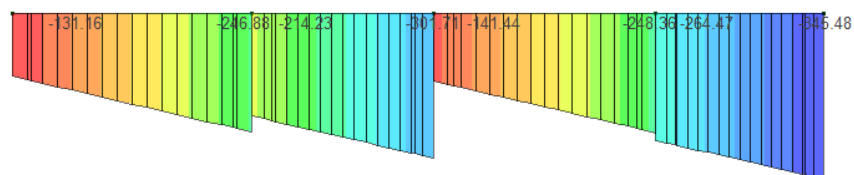
STRUTTURA CON FONDAZIONE



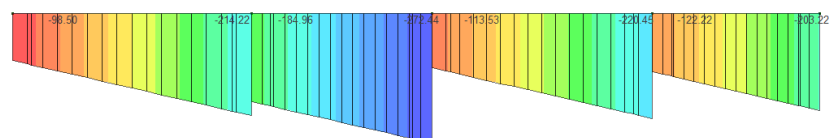
Combinazione:

$$G_k + \psi_{02} Q_k - (F_y - M_y) + 0,3(F_x + M_x)$$

STRUTTURA INCASTRATA ALLA BASE



STRUTTURA CON FONDAZIONE



CONFRONTO TRA I VALORI DI TAGLIO NELLA TRAVE 102

Combinazione (SLV) in condizioni sismiche:

$$G_k + \psi_{02} Q_k + (F_y - M_y) - 0,3(F_x + M_x)$$

ESTREMO TRAVE	SOLLECITAZIONE	COMBINAZIONE DI CARICO: $G_k + \psi_{02} Q_k + (F_y - M_y) - 0,3(F_x + M_x)$		U.M.	Differenze [kN]	Differenze %
		<i>Prosap</i>	<i>Prosap con Fondazione</i>			
1	Vsin	243,5	179,5	[kN]	-64,1	-26,3%
9	Vdes	127,8	63,7	[kN]	-64,1	-50,1%
9	Vsin	302,5	276,1	[kN]	-26,5	-8,7%
13	Vdes	215,1	188,6	[kN]	-26,5	-12,3%
13	Vsin	247,8	233,7	[kN]	-14,1	-5,7%
19	Vdes	140,8	126,7	[kN]	-14,1	-10,0%
19	Vsin	348,3	258,3	[kN]	-90,0	-25,8%
27	Vdes	267,3	177,3	[kN]	-90,0	-33,7%

Combinazione (SLV) in condizioni sismiche:
 $G_k + \psi_{02} Q_k - (F_y - M_y) + 0,3(F_x + M_x)$

ESTREMO TRAVE	SOLLECITAZIONE	COMBINAZIONE DI CARICO: $G_k + \psi_{02} Q_k - (F_y - M_y) + 0,3(F_x + M_x)$		U.M.	Differenze [kN]	Differenze %
		<i>Prosap</i>	<i>Prosap con Fondazione</i>			
1	Vsin	-131,2	-98,5	[kN]	32,7	-24,9%
9	Vdes	-246,9	-214,2	[kN]	32,7	-13,2%
9	Vsin	-214,2	-185,0	[kN]	29,3	-13,7%
13	Vdes	-301,7	-272,4	[kN]	29,3	-9,7%
13	Vsin	-141,4	-113,5	[kN]	27,9	-19,7%
19	Vdes	-248,4	-220,5	[kN]	27,9	-11,2%
19	Vsin	-264,5	-122,2	[kN]	142,3	-53,8%
27	Vdes	-345,5	-203,2	[kN]	142,3	-41,2%

PILASTRO 30

SFORZO NORMALE

CONFRONTO TRA I VALORI DI SFORZO NORMALE NEL PILASTRO 30

Combinazione (SLU) per soli carichi verticali:
 $G_d + Q_d$

Sforzo normale N	Impalcato	$G_d + Q_d$		U.M.	Differenze [kN]	Differenze %
		<i>Prosap</i>	<i>Prosap con Fondazione</i>			
	6	-179,0	-165,3	[kN]	13,7	-8,3%
	5	-424,7	-391,7	[kN]	33,0	-8,4%
	4	-669,5	-616,9	[kN]	52,6	-8,5%
	3	-918,4	-837,4	[kN]	81,1	-9,7%
	2	-1168,4	-1055,1	[kN]	113,3	-10,7%
	1	-1416,4	-1264,5	[kN]	151,8	-12,0%

Combinazione (SLV) in condizioni sismiche:
Sisma prevalente in direzione y

Sforzo normale N	Impalcato	COMBINAZIONE DI CARICO: $G_k + \psi_{02} Q_k - (F_y + M_y) - 0,3(F_x - M_x)$		U.M.	Differenze [kN]	Differenze %
		<i>Prosap</i>	<i>Prosap con Fondazione</i>			
	6	-148,08	-90,14	[kN]	57,9	-39,1%
	5	-406,21	-328,53	[kN]	77,7	-19,1%
	4	-722,76	-571,9	[kN]	150,9	-20,9%
	3	-1114,92	-852,43	[kN]	262,5	-23,5%
	2	-1549,25	-1158,92	[kN]	390,3	-25,2%
	1	-2006,76	-1467,39	[kN]	539,4	-26,9%

TAGLIO

CONFRONTO TRA I VALORI DI TAGLIO NEL PILASTRO 30

Combinazione (SLU) per soli carichi verticali:

G_d+Q_d

Direzione x

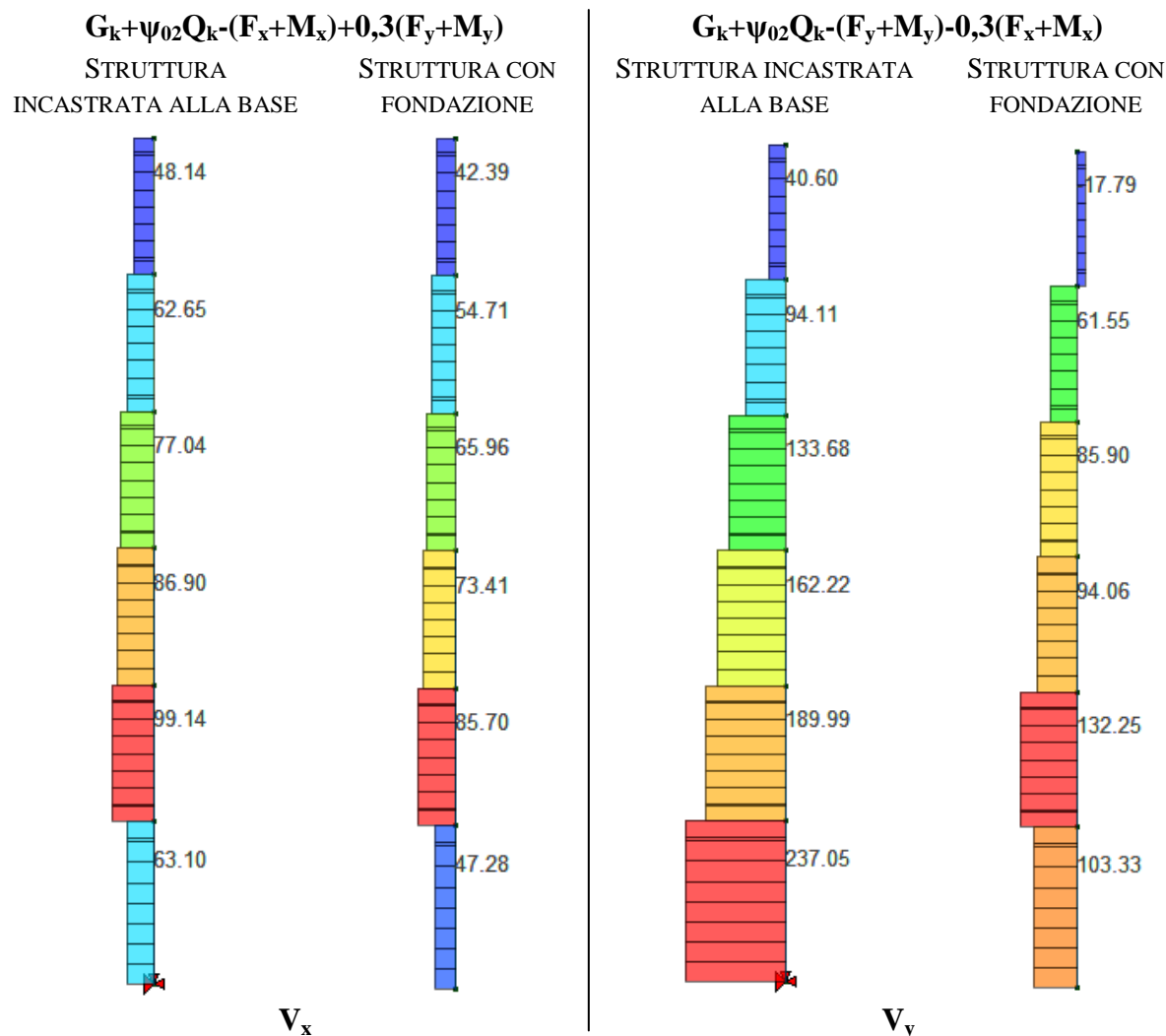
Taglio V_x	Impalcato	G_d+Q_d		U.M.	Differenze [kN]	Differenze %
		<i>Prosap</i>	<i>Prosap con Fondazione</i>			
	6	38,7	34,5	[kN]	-4,1	-10,7%
	5	36,1	32,7	[kN]	-3,4	-9,3%
	4	33,3	29,5	[kN]	-3,8	-11,4%
	3	32,7	27,6	[kN]	-5,0	-15,4%
	2	35,4	32,3	[kN]	-3,1	-8,8%
	1	13,9	0,7	[kN]	-13,2	-95,2%

Direzione y

Taglio V_y	Impalcato	G_d+Q_d		U.M.	Differenze [kN]	Differenze %
		<i>Prosap</i>	<i>Prosap con Fondazione</i>			
	6	13,4	2,4	[kN]	-11,0	-82,3%
	5	11,0	2,9	[kN]	-8,1	-73,6%
	4	10,4	0,5	[kN]	-9,9	-95,3%
	3	11,9	-4,2	[kN]	-16,1	-135,2%
	2	11,0	-4,2	[kN]	-15,2	-138,0%
	1	4,4	-30,8	[kN]	-35,2	-797,3%

DIAGRAMMI DEL TAGLIO (PROSAP)

Combinazioni sismiche:



CONFRONTO TRA I VALORI DI TAGLIO NEL PILASTRO 30

Combinazione sismica (SLV):

$G_k + \psi_{02} Q_k - (F_x + M_x) + 0,3(F_y + M_y)$

Taglio V_x	Impalcato	COMBINAZIONE DI CARICO: $G_k + \psi_{02} Q_k - (F_x + M_x) + 0,3(F_y + M_y)$		U.M.	Differenze [kN]	Differenze %
		<i>Prosap</i>	<i>Prosap con Fondazione</i>			
	6	48,1	42,4	[kN]	-5,8	-11,9%
	5	62,7	54,7	[kN]	-7,9	-12,7%
	4	77,0	66,0	[kN]	-11,1	-14,4%
	3	86,9	73,4	[kN]	-13,5	-15,5%
	2	99,1	85,7	[kN]	-13,4	-13,6%
	1	63,1	47,3	[kN]	-15,8	-25,1%

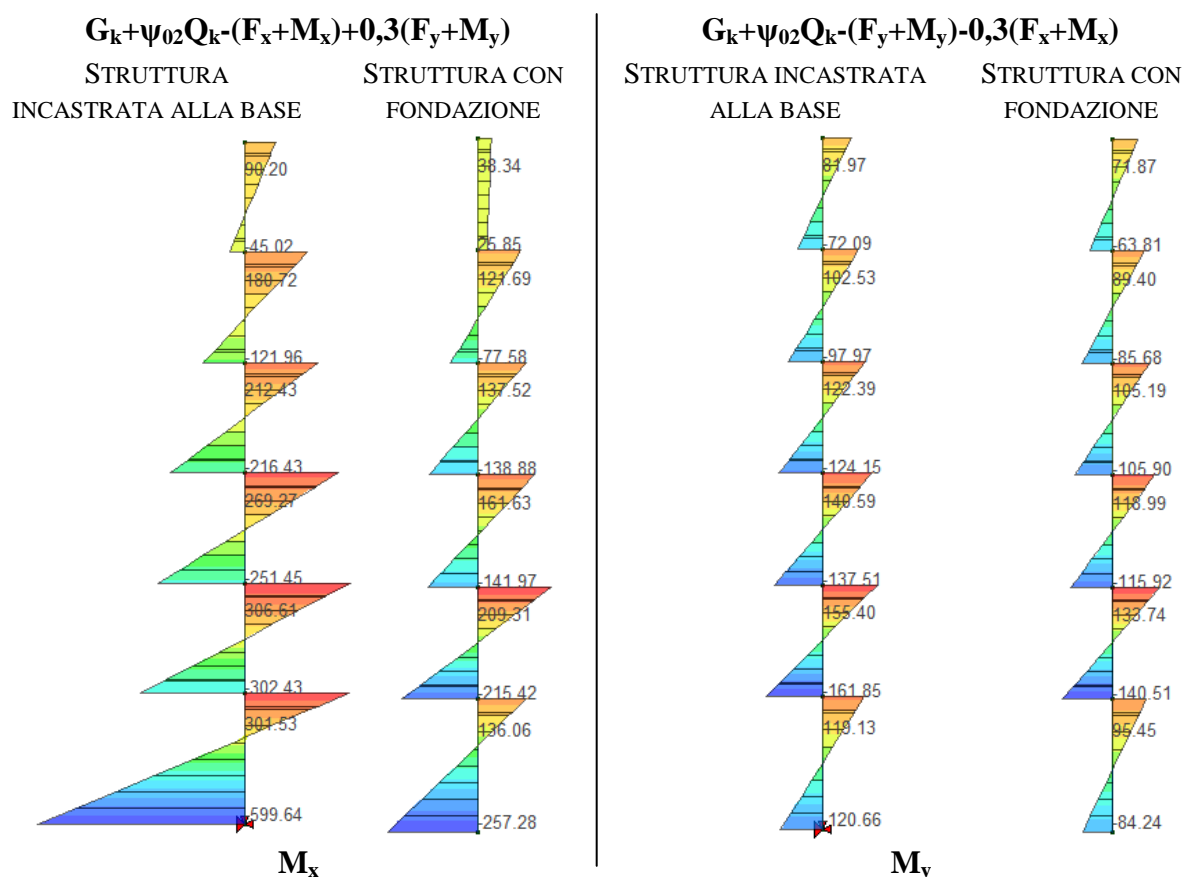
Combinazione sismica (SLV):
 $G_k + \psi_{02} Q_k - (F_y + M_y) - 0,3(F_x + M_x)$

Taglio V_y	Impalcato	COMBINAZIONE DI CARICO: $G_k + \psi_{02} Q_k - (F_y + M_y) - 0,3(F_x + M_x)$		U.M.	Differenze [kN]	Differenze %
		<i>Prosap</i>	<i>Prosap con Fondazione</i>			
	6	40,6	17,8	[kN]	-22,8	-56,2%
	5	94,1	61,6	[kN]	-32,6	-34,6%
	4	133,7	85,9	[kN]	-47,8	-35,7%
	3	162,2	94,1	[kN]	-68,2	-42,0%
	2	190,0	132,3	[kN]	-57,7	-30,4%
	1	237,1	103,3	[kN]	-133,7	-56,4%

MOMENTO FLETTENTE

DIAGRAMMI DEL MOMENTO FLETTENTE (PROSAP)

Combinazioni sismiche:



CONFRONTO TRA I VALORI DI MOMENTO FLETTENTE NEL PILASTRO 30

Combinazione sismica (SLV):

$$G_k + \psi_{02} Q_k - (F_x + M_x) + 0,3(F_y + M_y)$$

	Impalcato	SOLLECITAZIONE	COMBINAZIONE DI CARICO: $G_k + \psi_{02} Q_k - (F_x + M_x) + 0,3(F_y + M_y)$		U.M.	Differenze [kNm]	Differenze %
			<i>Prosap</i>	<i>Prosap con Fondazione</i>			
M_y	6	M_{sup}	82,0	71,9	[kNm]	-10,1	-12,3%
	6	M_{inf}	-72,1	-63,8	[kNm]	-8,3	-11,5%
	5	M_{sup}	102,5	89,4	[kNm]	-13,1	-12,8%
	5	M_{inf}	-98,0	-85,7	[kNm]	-12,3	-12,5%
	4	M_{sup}	122,4	105,2	[kNm]	-17,2	-14,1%
	4	M_{inf}	-124,2	-105,2	[kNm]	-19,0	-15,3%
	3	M_{sup}	140,6	119,0	[kNm]	-21,6	-15,4%
	3	M_{inf}	-137,5	-115,9	[kNm]	-21,6	-15,7%
	2	M_{sup}	155,4	133,7	[kNm]	-21,7	-13,9%
	2	M_{inf}	-161,9	-140,5	[kNm]	-21,3	-13,2%
	1	M_{sup}	119,1	95,5	[kNm]	-23,7	-19,9%
	1	M_{inf}	-120,7	-84,2	[kNm]	-36,4	-30,2%

Combinazione sismica (SLV):

$$G_k + \psi_{02} Q_k - (F_y + M_y) - 0,3(F_x + M_x)$$

	Impalcato	SOLLECITAZIONE	COMBINAZIONE DI CARICO: $G_k + \psi_{02} Q_k - (F_y + M_y) - 0,3(F_x + M_x)$		U.M.	Differenze [kNm]	Differenze %
			<i>Prosap</i>	<i>Prosap con Fondazione</i>			
M_x	6	M_{sup}	90,2	38,3	[kNm]	-51,9	-57,5%
	6	M_{inf}	-45,0	25,9	[kNm]	-70,9	-157,4%
	5	M_{sup}	180,7	121,7	[kNm]	-59,0	-32,7%
	5	M_{inf}	-122,0	-77,6	[kNm]	-44,4	-36,4%
	4	M_{sup}	212,4	137,5	[kNm]	-74,9	-35,3%
	4	M_{inf}	-216,4	-138,9	[kNm]	-77,6	-35,8%
	3	M_{sup}	269,3	161,6	[kNm]	-107,6	-40,0%
	3	M_{inf}	-251,5	-142,0	[kNm]	-109,5	-43,5%
	2	M_{sup}	306,6	209,3	[kNm]	-97,3	-31,7%
	2	M_{inf}	-302,4	-215,4	[kNm]	-87,0	-28,8%
	1	M_{sup}	301,5	136,1	[kNm]	-165,5	-54,9%
	1	M_{inf}	-599,6	-257,3	[kNm]	-342,4	-57,1%

Confronto tra Prosap-struttura con fondazione e Prosap-struttura con fondazione e fili fissi

La risposta sismica della struttura in termini di periodi modali e masse partecipanti, per sisma agente in direzione x e in direzione y, è di seguito riportata:

Modi	Prosap con Fondazione			Prosap con Fond.+ fili fissi			Differenze [%]		
	Periodo T [s]	M _x [%]	M _y [%]	Periodo T [s]	M _x [%]	M _y [%]	Periodo T [s]	M _x [%]	M _y [%]
1	0,895	0,00%	83,30%	0,902	0,00%	83,20%	0,78%	0,00%	-0,12%
2	0,802	82,70%	0,00%	0,801	82,50%	0,00%	-0,12%	-0,24%	0,00%
3	0,690	2,40%	0,00%	0,694	2,70%	0,00%	0,58%	12,50%	0,00%
4	0,258	10,60%	0,00%	0,261	10,80%	0,00%	1,16%	1,89%	0,00%
5	0,256	0,00%	12,40%	0,258	0,00%	12,80%	0,78%	0,00%	3,23%
6	0,225	0,00%	0,00%	0,228	0,00%	0,00%	1,33%	0,00%	0,00%
7	0,182	0,00%	0,00%	0,178	0,00%	0,00%	-2,20%	0,00%	0,00%
8	0,174	0,00%	0,00%	0,172	0,00%	0,00%	-1,15%	0,00%	0,00%
9	0,162	0,00%	0,00%	0,163	0,00%	0,00%	0,62%	0,00%	0,00%

Di seguito vengono riportate le deformate modali della struttura ottenute da Prosap nei due casi di modellazione confrontati:

Modellazione struttura con fondazione alla base

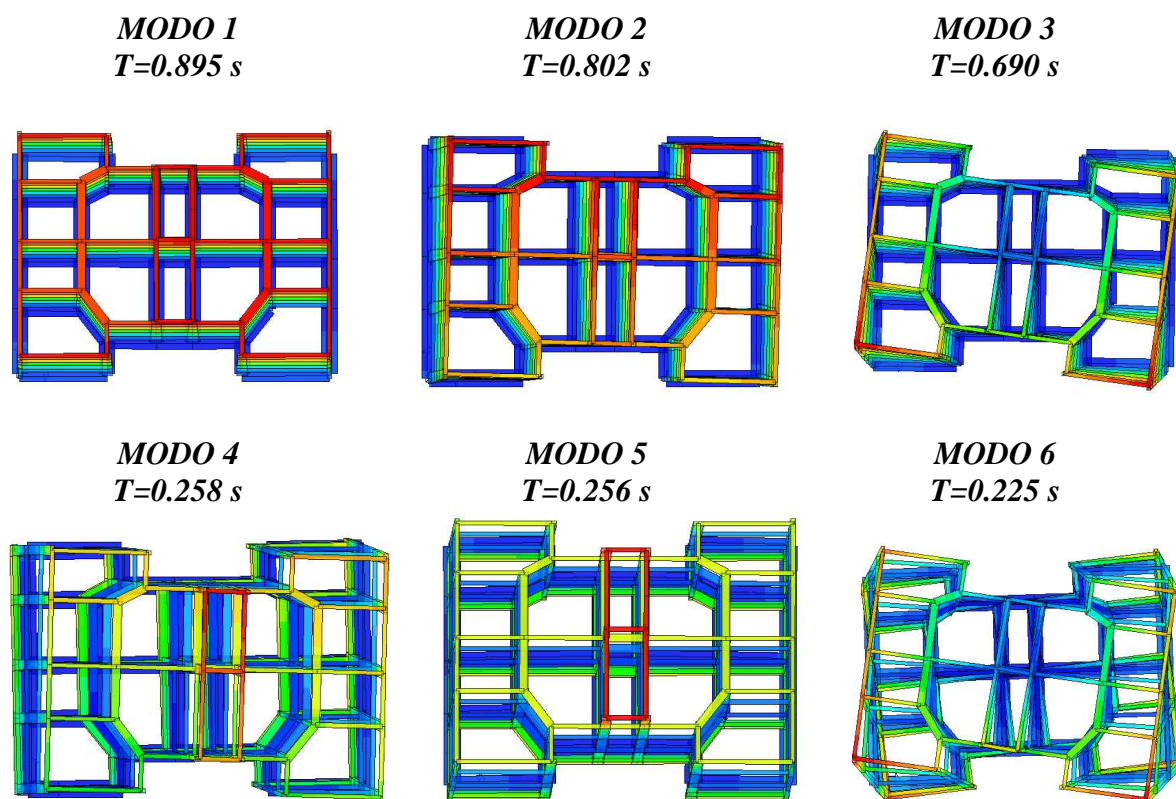


Fig. 13. Modi di oscillazione libera della struttura con fondazione alla base (Pro_Sap)

Modellazione struttura con fondazione alla base e fili fissi

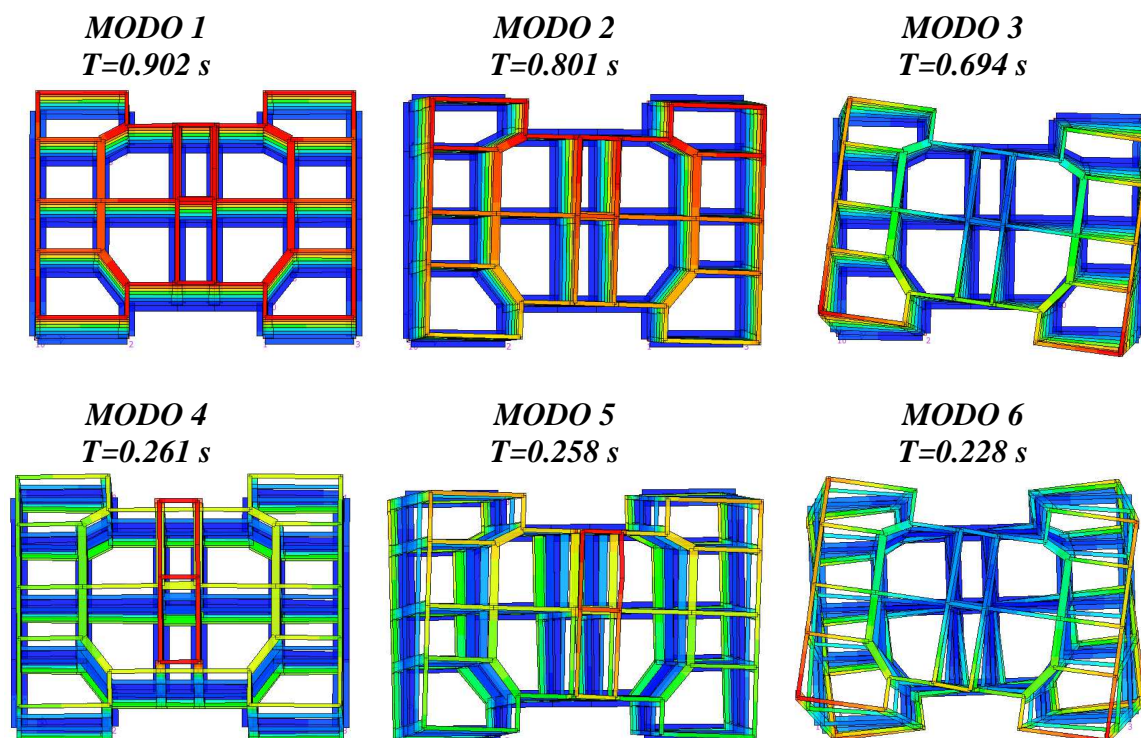


Fig. 14. Modi di oscillazione libera della struttura con fondazione alla base e fili fissi (Pro_Sap)

TRAVE 102

MOMENTO FLETTENTE

CONFRONTO TRA I VALORI DI MOMENTO FLETTENTE NELLA TRAVE 102

Combinazione (SLU) per soli carichi verticali:

$$G_d + Q_d$$

MOMENTO FLETTENTE TRAVE 1-27									
TRAVE	COMBINAZIONE DI CARICO: $G_d + Q_d$								
	Primo ESTREMO			Secondo ESTREMO			CAMPATA		
	Prosap con Fondazione	Prosap con Fond. + fili fissi	Differenze [%]	Prosap con Fondazione	Prosap con Fond. + fili fissi	Differenze [%]	Prosap con Fondazione	Prosap con Fond. + fili fissi	Differenze [%]
1-9	4,6	-18,2	-492,5%	-133,0	-119,5	-10,2%	56,8	47,6	-16,2%
9-13	-55,8	-41,6	-25,4%	-48,0	-58,9	22,6%	11,4	13,1	15,5%
13-19	-86,2	-80,3	-6,9%	-39,8	-44,0	10,6%	32,9	33,1	0,7%
19-27	-107,7	-87,2	-19,0%	42,8	11,1	-74,2%	47,7	27,2	-43,1%

Combinazione (SLV) in condizioni sismiche:

$$G_k + \psi_{02} Q_k + (F_y - M_y) - 0,3(F_x + M_x)$$

ESTREMO TRAVE	SOLLECITAZIONE	COMBINAZIONE DI CARICO: $G_k + \psi_{02} Q_k + (F_y - M_y) - 0,3(F_x + M_x)$		U.M.	Differenze [kNm]	Differenze %
		<i>Prosap con Fondazione</i>	<i>Prosap con Fond. + fili fissi</i>			
1	Msin	-368,5	-388,1	[kNm]	-19,7	5,3%
9	Mdes	239,6	248,1	[kNm]	8,5	3,6%
9	Msin	-476,2	-471,0	[kNm]	5,2	-1,1%
13	Mdes	402,0	398,1	[kNm]	-3,9	-1,0%
13	Msin	-452,6	-453,0	[kNm]	-0,4	0,1%
19	Mdes	379,9	381,9	[kNm]	2,0	0,5%
19	Msin	-375,9	-362,9	[kNm]	13,0	-3,5%
27	Mdes	386,6	376,0	[kNm]	-10,6	-2,7%

Combinazione (SLV) in condizioni sismiche:

$$G_k + \psi_{02} Q_k - (F_y - M_y) + 0,3(F_x + M_x)$$

ESTREMO TRAVE	SOLLECITAZIONE	COMBINAZIONE DI CARICO: $G_k + \psi_{02} Q_k - (F_y - M_y) + 0,3(F_x + M_x)$		U.M.	Differenze [kNm]	Differenze %
		<i>Prosap con Fondazione</i>	<i>Prosap con Fond. + fili fissi</i>			
1	Msin	371,4	361,1	[kNm]	-10,3	-2,8%
9	Mdes	-410,4	-401,2	[kNm]	9,2	-2,3%
9	Msin	401,7	415,3	[kNm]	13,6	3,4%
13	Mdes	-462,9	-473,4	[kNm]	-10,5	2,3%
13	Msin	400,0	348,3	[kNm]	-51,7	-12,9%
19	Mdes	-431,6	-439,2	[kNm]	-7,7	1,8%
19	Msin	237,0	251,2	[kNm]	14,2	6,0%
27	Mdes	-332,5	-364,0	[kNm]	-31,5	9,5%

TAGLIO

CONFRONTO TRA I VALORI DI TAGLIO NELLA TRAVE 102

Combinazione (SLV) in condizioni sismiche:

$$G_k + \psi_{02} Q_k + (F_y - M_y) - 0,3(F_x + M_x)$$

ESTREMO TRAVE	SOLLECITAZIONE	COMBINAZIONE DI CARICO: $G_k + \psi_{02} Q_k + (F_y - M_y) - 0,3(F_x + M_x)$		U.M.	Differenze [kN]	Differenze %
		<i>Prosap con Fondazione</i>	<i>Prosap con Fond. + fili fissi</i>			
1	Vsin	179,5	185,1	[kN]	5,7	3,1%
9	Vdes	63,7	69,4	[kN]	5,7	8,9%
9	Vsin	276,1	273,7	[kN]	-2,4	-0,9%
13	Vdes	188,6	186,2	[kN]	-2,4	-1,3%
13	Vsin	233,7	234,2	[kN]	0,5	0,2%
19	Vdes	126,7	127,3	[kN]	0,5	0,4%
19	Vsin	258,3	251,6	[kN]	-6,7	-2,6%
27	Vdes	177,3	170,6	[kN]	-6,7	-3,8%

Combinazione (SLV) in condizioni sismiche:

$$G_k + \psi_{02} Q_k - (F_y - M_y) + 0,3(F_x + M_x)$$

ESTREMO TRAVE	SOLLECITAZIONE	COMBINAZIONE DI CARICO: $G_k + \psi_{02} Q_k - (F_y - M_y) + 0,3(F_x + M_x)$		U.M.	Differenze [kN]	Differenze %
		<i>Prosap con Fondazione</i>	<i>Prosap con Fond. + fili fissi</i>			
1	Vsin	-98,5	-94,6	[kN]	3,9	-4,0%
9	Vdes	-214,2	-210,3	[kN]	3,9	-1,8%
9	Vsin	-185,0	-191,4	[kN]	-6,4	3,5%
13	Vdes	-272,4	-278,8	[kN]	-6,4	2,3%
13	Vsin	-113,5	-117,0	[kN]	-3,5	3,1%
19	Vdes	-220,5	-223,9	[kN]	-3,5	1,6%
19	Vsin	-122,2	-135,3	[kN]	-13,1	10,7%
27	Vdes	-203,2	-216,3	[kN]	-13,1	6,4%

PILASTRO 30

SFORZO NORMALE

CONFRONTO TRA I VALORI DI SFORZO NORMALE NEL PILASTRO 30

Combinazione (SLU) per soli carichi verticali:

G_d+Q_d

Sforzo normale N	Impalcato	G_d+Q_d		U.M.	Differenze [kN]	Differenze %
		Prosap con Fondazione	Prosap con Fond. + fili fissi			
	6	-165,3	-167,8	[kN]	-2,4	1,5%
	5	-391,7	-394,7	[kN]	-3,0	0,8%
	4	-616,9	-620,5	[kN]	-3,5	0,6%
	3	-837,4	-846,9	[kN]	-9,6	1,1%
	2	-1055,1	-1067,1	[kN]	-12,0	1,1%
	1	-1264,5	-1279,9	[kN]	-15,4	1,2%

Combinazione (SLV) in condizioni sismiche:

Sisma prevalente in direzione y

Sforzo normale N	Impalcato	COMBINAZIONE DI CARICO: $G_k+\psi_{02}Q_k-(F_y+M_y)-0,3(F_x-M_x)$		U.M.	Differenze [kN]	Differenze %
		Prosap con Fondazione	Prosap con Fond. + fili fissi			
	6	-90,14	-91,63	[kN]	-1,5	1,7%
	5	-328,53	-330,9	[kN]	-2,4	0,7%
	4	-571,9	-574,6	[kN]	-2,7	0,5%
	3	-852,43	-862,08	[kN]	-9,6	1,1%
	2	-1158,92	-1170,22	[kN]	-11,3	1,0%
	1	-1467,39	-1481,99	[kN]	-14,6	1,0%

TAGLIO

CONFRONTO TRA I VALORI DI TAGLIO NEL PILASTRO 30

Combinazione (SLU) per soli carichi verticali:

G_d+Q_d

Direzione x

Taglio V_x	Impalcato	G_d+Q_d		U.M.	Differenze [kN]	Differenze %
		Prosap con Fondazione	Prosap con Fond. + fili fissi			
	6	34,5	33,8	[kN]	-0,8	-2,2%
	5	32,7	31,0	[kN]	-1,7	-5,1%
	4	29,5	27,4	[kN]	-2,1	-7,1%
	3	27,6	25,8	[kN]	-1,9	-6,7%
	2	32,3	30,6	[kN]	-1,7	-5,2%
	1	0,7	-0,3	[kN]	-1,0	-145,5%

Direzione y

Taglio V_y	Impalcato	G_d+Q_d		U.M.	Differenze [kN]	Differenze %
		<i>Prosap con Fondazione</i>	<i>Prosap con Fond. + fili fissi</i>			
	6	2,4	-10,8	[kN]	-13,2	-555,7%
	5	2,9	-6,9	[kN]	-9,8	-336,3%
	4	0,5	-13,2	[kN]	-13,7	-2802,0%
	3	-4,2	-20,6	[kN]	-16,4	391,6%
	2	-4,2	-15,9	[kN]	-11,8	280,4%
	1	-30,8	-27,3	[kN]	3,5	-11,4%

Combinazione sismica (SLV):

$$G_k+\psi_{02}Q_k-(F_x+M_x)+0,3(F_y+M_y)$$

Taglio V_x	Impalcato	COMBINAZIONE DI CARICO: $G_k+\psi_{02}Q_k-(F_x+M_x)+0,3(F_y+M_y)$		U.M.	Differenze [kN]	Differenze %
		<i>Prosap con Fondazione</i>	<i>Prosap con Fond. + fili fissi</i>			
	6	42,4	40,8	[kN]	-1,6	-3,7%
	5	54,7	53,9	[kN]	-0,9	-1,6%
	4	66,0	64,8	[kN]	-1,2	-1,8%
	3	73,4	72,4	[kN]	-1,0	-1,4%
	2	85,7	84,8	[kN]	-0,9	-1,1%
	1	47,3	47,1	[kN]	-0,2	-0,4%

Combinazione sismica (SLV):

$$G_k+\psi_{02}Q_k-(F_y+M_y)-0,3(F_x+M_x)$$

Taglio V_y	Impalcato	COMBINAZIONE DI CARICO: $G_k+\psi_{02}Q_k-(F_y+M_y)-0,3(F_x+M_x)$		U.M.	Differenze [kN]	Differenze %
		<i>Prosap con Fondazione</i>	<i>Prosap con Fond. + fili fissi</i>			
	6	17,8	24,1	[kN]	6,3	35,2%
	5	61,6	51,0	[kN]	-10,6	-17,2%
	4	85,9	70,7	[kN]	-15,3	-17,8%
	3	94,1	73,8	[kN]	-20,3	-21,6%
	2	132,3	104,9	[kN]	-27,4	-20,7%
	1	103,3	110,6	[kN]	7,3	7,0%

MOMENTO FLETTENTE

CONFRONTO TRA I VALORI DI MOMENTO FLETTENTE NEL PILASTRO 30

Combinazione sismica (SLV):
 $G_k + \psi_{02} Q_k - (F_x + M_x) + 0,3(F_y + M_y)$

	Impalcato	SOLLECITAZIONE	COMBINAZIONE DI CARICO: $G_k + \psi_{02} Q_k - (F_x + M_x) + 0,3(F_y + M_y)$		U.M.	Differenze [kNm]	Differenze %
			Prosap con Fondazione	Prosap con Fond. + fili fissi			
M_y	6	M_{sup}	71,9	69,2	[kNm]	-2,6	-3,7%
	6	M_{inf}	-63,8	-61,4	[kNm]	-2,4	-3,8%
	5	M_{sup}	89,4	88,2	[kNm]	-1,2	-1,4%
	5	M_{inf}	-85,7	-84,2	[kNm]	-1,5	-1,7%
	4	M_{sup}	105,2	103,5	[kNm]	-1,7	-1,6%
	4	M_{inf}	-105,2	-103,9	[kNm]	-1,3	-1,3%
	3	M_{sup}	119,0	117,1	[kNm]	-1,9	-1,6%
	3	M_{inf}	-115,9	-114,5	[kNm]	-1,4	-1,2%
	2	M_{sup}	133,7	132,6	[kNm]	-1,1	-0,8%
	2	M_{inf}	-140,5	-138,7	[kNm]	-1,8	-1,3%
	1	M_{sup}	95,5	94,1	[kNm]	-1,3	-1,4%
	1	M_{inf}	-84,2	-84,8	[kNm]	0,6	0,7%

Combinazione sismica (SLV):
 $G_k + \psi_{02} Q_k - (F_y + M_y) - 0,3(F_x + M_x)$

	Impalcato	SOLLECITAZIONE	COMBINAZIONE DI CARICO: $G_k + \psi_{02} Q_k - (F_y + M_y) - 0,3(F_x + M_x)$		U.M.	Differenze [kNm]	Differenze %
			Prosap con Fondazione	Prosap con Fond. + fili fissi			
M_x	6	M_{sup}	38,3	21,0	[kNm]	-17,3	-45,1%
	6	M_{inf}	25,9	38,3	[kNm]	-12,4	48,0%
	5	M_{sup}	121,7	106,8	[kNm]	-14,9	-12,2%
	5	M_{inf}	-77,6	-59,5	[kNm]	-18,1	-23,3%
	4	M_{sup}	137,5	117,7	[kNm]	-19,8	-14,4%
	4	M_{inf}	-138,9	-110,3	[kNm]	-28,6	-20,6%
	3	M_{sup}	161,6	122,8	[kNm]	-38,8	-24,0%
	3	M_{inf}	-142,0	-116,9	[kNm]	-25,1	-17,7%
	2	M_{sup}	209,3	169,5	[kNm]	-39,8	-19,0%
	2	M_{inf}	-215,4	-168,2	[kNm]	-47,2	-21,9%
	1	M_{sup}	136,1	128,1	[kNm]	-8,0	-5,9%
	1	M_{inf}	-257,3	-293,1	[kNm]	35,8	13,9%