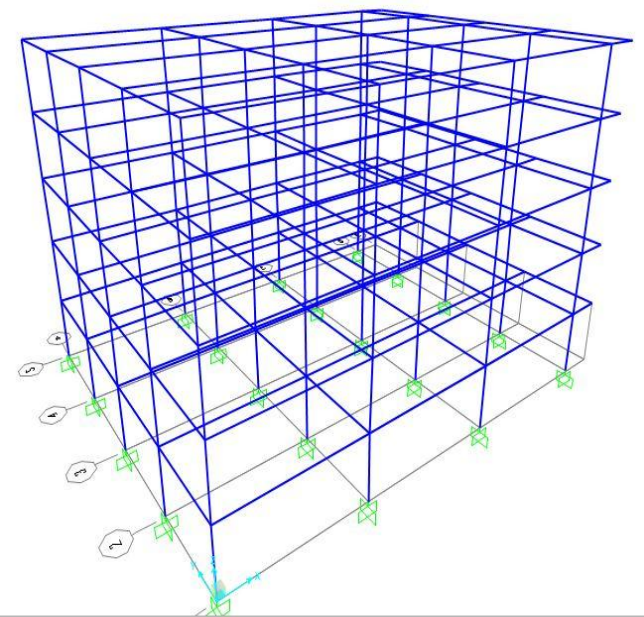


Esercitazione 3: verifica telai con aggiunta carichi orizzontali

Acciaio



Abbiamo disegnato il telaio su SAP tramite la griglia, successivamente abbiamo diviso le travi e i pilastri nei punti di intersezione (*Edit* → *edit lines* → *divide frame*). Abbiamo poi assegnato gli incastri alla base dei pilastri e un vincolo interno: il **diaphragm** (sull'asse z); quest'ultimo è necessario perché l'edificio è un impalcato rigido poiché i solai sono molto rigidi e condizionano tanti movimenti nel piano, tramite il diaphragm inseriamo su SAP l'ipotesi che l'unica rotazione uguale in tutti i punti è quella sull'asse z. Il vincolo va assegnato su tutti i joint del piano, bisogna assegnare un diaphragm diverso ad ogni piano.

Abbiamo quindi assegnato le sezioni che avevamo dimensionato nell'esercitazione precedente:

IPE 550 per trave principale

IPE 180 per trave secondaria

IPE 300 per sbalzi

HEA 300 per pilastri

Tutte in acciaio S235.

Per quanto riguarda i carichi invece abbiamo considerato:

Carichi verticali: riportiamo il valore del carico distribuito, su SAP abbiamo inserito i carichi come carichi lineari (abbiamo moltiplicato il carico per l'area d'influenza)

Qs: 2,41 KN/mq

Qp: 3,61 KN/mq

Qa: 2 KN/mq

Carico Neve

Il carico neve dipende da vari fattori : zona climatica, altitudine del sito, inclinazione delle falde, presenza di copertura riscaldata. Per Roma consideriamo un valore di 0,5 KN/mq sulla copertura.

Carichi orizzontali:

Sisma Fs

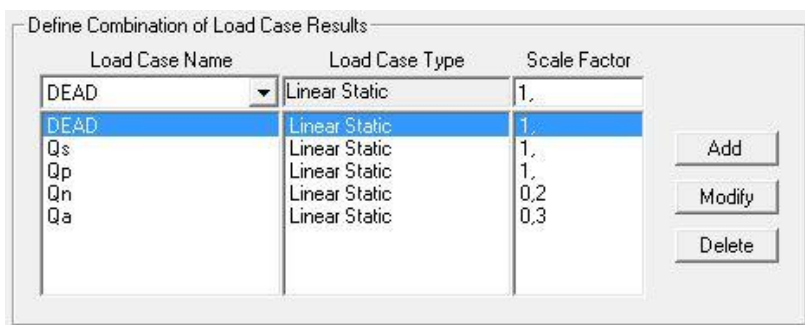
Visto che il nostro edificio è regolare nonostante il sisma sia un'azione dinamica possiamo schematizzarlo come un carico statico linearmente distribuito. Il carico totale si può stimare secondo la formula:

$$F_s = c * w$$

Dove

$c = 0,3$ e ci dice quanto è grande l'accelerazione del terreno in rapporto all'accelerazione di gravità g

$$w = Q_s \text{ tot} + Q_p \text{ tot} + 20\% \text{ carico neve} + 30\% Q_a \text{ tot}$$



Lo otteniamo mandando in SAP un'analisi con la combinazione di carico in figura e estrapolando le reazioni vincolari verticali degli incastri a terra., una volta sommai otteniamo

Joint	OutputCase	F3	W	c	FS
Text	Text	KN	KN	#	KN
51	Weight	385,682	20648,59	0,3	6194,578
53	Weight	829,725			
55	Weight	820,944			
57	Weight	623,205			
59	Weight	735,633			
61	Weight	1595,509	F1	Fs*1/15	412,9719
63	Weight	1579,737	F2	Fs*2/15	825,9437
65	Weight	1193,473	F3	Fs*3/15	1238,916
67	Weight	735,718	F4	Fs*4/15	1651,887
69	Weight	1597,683	F5	Fs*5/15	2064,859
71	Weight	1580,338			
73	Weight	1207,038			
75	Weight	1193,473			
77	Weight	623,205			
79	Weight	820,944			
81	Weight	829,725			
83	Weight	385,682			
92	Weight	1595,509			
94	Weight	1579,737			
95	Weight	735,633			

$$F_s = 6194,6 \text{ KN}$$

Fs non si ripartisce in modo uguale su tutti i piani, possiamo schematizzare il suo valore con delle forze applicate nel centro di massa di ciascun piano, calcoliamo il valore delle forze con la formula:

$$F_i = F_s z_i w_i / (\sum z_i w_i)$$

Osserviamo che la forza che prende il piano è direttamente proporzionale alla sua quota.

Dal momento che l'interpiano è costante e il peso è uguale per ogni piano otteniamo:

$$F1 = 1/15 F_s$$

$$F2 = 2/15 F_s$$

$$F3 = 3/15 F_s$$

$$F4 = 4/15 F_s$$

$$F5 = 5/15 F_s$$

Abbiamo applicato queste forze nel centro di massa, nel nostro caso corrisponde al centro dell'area che si trova all'intersezione delle due diagonali. Visto che il sisma arriva in modo casuale l'abbiamo assegnato sia in direzione x che y, e poi mandando l'analisi abbiamo scelto per la verifica la condizione peggiore.

Vento



Anche il vento, come il sisma, è un'azione dinamica che si può schematizzare con una statica. È importante ricordare che ci sono zone di pressione e depressione. Il valore del carico vento dipende da molti fattori quali l'orografia del terreno, la forma dell'edificio, la densità dell'aria ecc.. Per Roma ci si può attestare su un valore di circa 0,5 KN/mq che si moltiplica per un coefficiente di 0,8 nelle zone in

pressione e 0,4 per quelle in depressione. Otteniamo quindi :

Pressione: 0,4 KN/mq

Depressione 0,2 KN/mq

Abbiamo quindi applicato il carico vento come linearmente distribuito sui pilastri delle facce esterne. Creando un caso per il vento in direzione x e uno per quello in direzione y.

Combinazioni di carico

Una volta assegnati tutti i carichi abbiamo definito le varie combinazioni di carico che poi abbiamo usato per fare le verifiche.

Combinazioni SLU:

combinazione fondamentale:

$$\gamma_{qs} * Q_s + \gamma_{qp} * Q_p + \gamma_{q1} * Q_{a1} + \sum_i \gamma_{qi} * \psi_{0i} * Q_{ai} \quad (i > 2)$$

γ = coefficienti maggiorativi

ψ = coefficienti minorativi che tengono conto dell'improbabilità di avere tutti i carichi massimizzati contemporaneamente

E' necessario definire più combinazioni variando la scelta di Q_{a1} (carico di esercizio, neve, vento x, vento y)

Combinazione sismica:

$$Q_s + Q_p + F_s + \psi_{21} * Q_{a1} + \sum_i \psi_{2i} * Q_{ai} \quad (i \geq 2)$$

Tabella 2.5.I – Valori dei coefficienti di combinazione

Categoria/Azione variabile	ψ_{0j}	ψ_{1j}	ψ_{2j}
Categoria A Ambienti ad uso residenziale	0,7	0,5	0,3
Categoria B Uffici	0,7	0,5	0,3
Categoria C Ambienti suscettibili di affollamento	0,7	0,7	0,6
Categoria D Ambienti ad uso commerciale	0,7	0,7	0,6
Categoria E Biblioteche, archivi, magazzini e ambienti ad uso industriale	1,0	0,9	0,8
Categoria F Rimesse e parcheggi (per autoveicoli di peso ≤ 30 kN)	0,7	0,7	0,6
Categoria G Rimesse e parcheggi (per autoveicoli di peso > 30 kN)	0,7	0,5	0,3
Categoria H Coperture	0,0	0,0	0,0
Vento	0,6	0,2	0,0
Neve (a quota ≤ 1000 m s.l.m.)	0,5	0,2	0,0
Neve (a quota > 1000 m s.l.m.)	0,7	0,5	0,2
Variazioni termiche	0,6	0,5	0,0

Valori del coefficiente ψ da normativa

Load Case Name	Load Case Type	Scale Factor
DEAD	Linear Static	1,3
DEAD	Linear Static	1,3
Qs	Linear Static	1,3
Qp	Linear Static	1,5
Qa	Linear Static	1,5
VentoX	Linear Static	0,9
Qn	Linear Static	0,75

Combinazione SLU prevalente Qa

Load Case Name	Load Case Type	Scale Factor
DEAD	Linear Static	1,3
DEAD	Linear Static	1,3
Qs	Linear Static	1,3
Qp	Linear Static	1,5
Qn	Linear Static	1,5
VentoX	Linear Static	0,9
Qa	Linear Static	1,05

Combinazione SLU prevalente Qn

Load Case Name	Load Case Type	Scale Factor
DEAD	Linear Static	1,3
DEAD	Linear Static	1,3
Qs	Linear Static	1,3
Qp	Linear Static	1,5
VentoX	Linear Static	1,5
Qa	Linear Static	1,05
Qn	Linear Static	0,75

Combinazione SLU prevalente Vento X

Load Case Name	Load Case Type	Scale Factor
DEAD	Linear Static	1,3
DEAD	Linear Static	1,3
Qs	Linear Static	1,3
Qp	Linear Static	1,5
VentoY	Linear Static	1,5
Qa	Linear Static	1,05
Qn	Linear Static	0,75

Combinazione SLU prevalente Vento Y

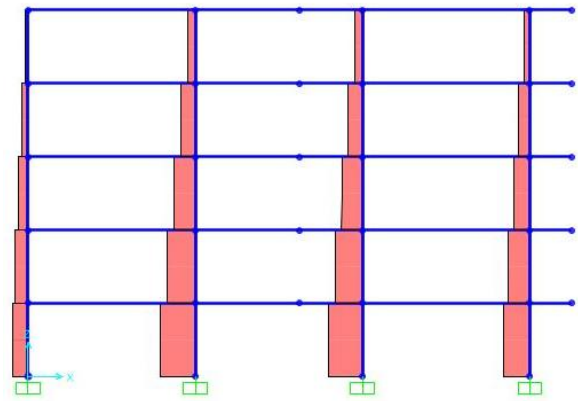
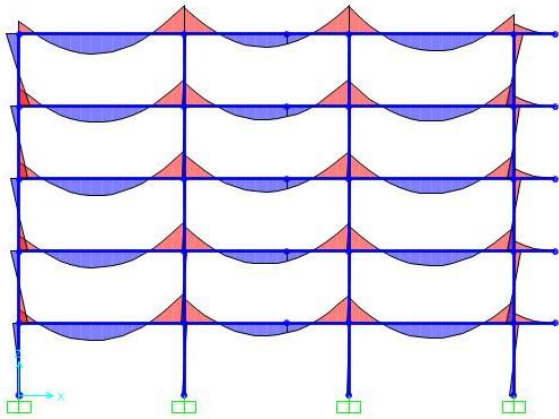
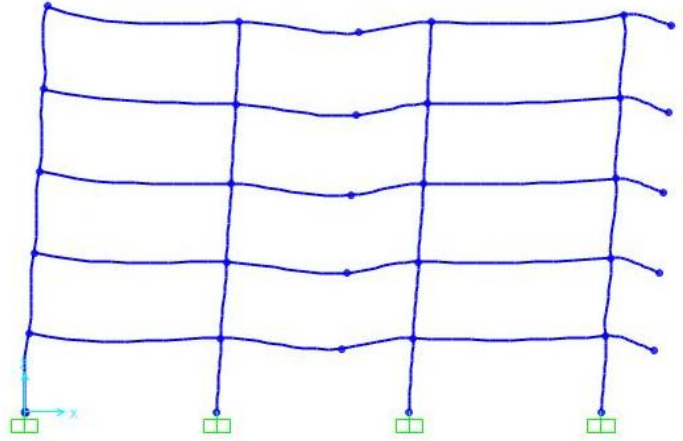
Load Case Name	Load Case Type	Scale Factor
DEAD	Linear Static	1,
Qs	Linear Static	1,
Qp	Linear Static	1,
Qa	Linear Static	0,2
FsX_3,5	Linear Static	1,
FsX_7	Linear Static	1,
FsX_10,5	Linear Static	1,
FsX_14	Linear Static	1,
FsX_17,5	Linear Static	1,

Combinazione Sismica direzione X

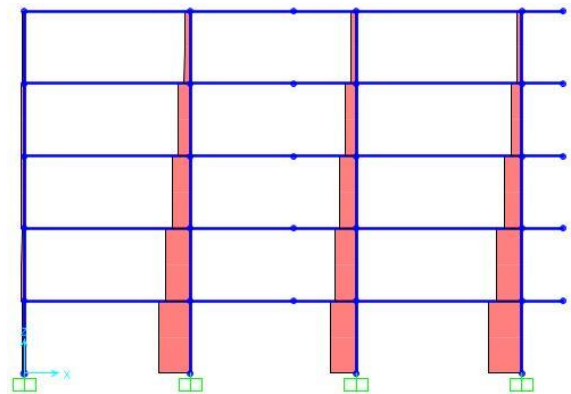
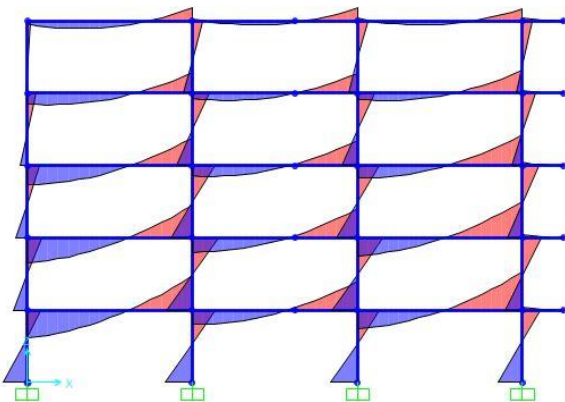
Load Case Name	Load Case Type	Scale Factor
DEAD	Linear Static	1,
Qs	Linear Static	1,
Qp	Linear Static	1,
Qa	Linear Static	0,2
FsY_3,5	Linear Static	1,
FsY_7	Linear Static	1,
FsY_10,5	Linear Static	1,
FsY_14	Linear Static	1,
FsY_17,5	Linear Static	1,

Combinazione Sismica direzione Y

Dalle analisi svolte in SAP risulta che la combinazione di carico peggiore allo SLU è quella con Q_a massimizzato, riportiamo la deformata e il diagramma dei momenti e quello degli sforzi assiali del telaio centrale, il più sollecitato. Si nota che le travi e gli sbalzi sono soggette solo a momento quindi si procederà con la verifica a flessione semplicemente i pilastri sono soggetti sia a compressione che a flessione per cui bisognerà verificarli a pressoflessione.



Guardando invece le combinazioni sismiche il caso peggiore è quello in direzione x .



Fase di verifica:

Dal programma otteniamo le tabelle relative agli sforzi sui frame divise per travi pilastri e sbalzi del telaio preso in considerazione.

Travi

Verifica a flessione: dalle tabelle ottenute da sap estrapoliamo i momenti maggiori.:

TABLE: Element Forces - Frames				
Frame	Station	OutputCase	M3	ElemStation
Text	m	Text	KN-m	m
70	0	Sisma X	-921,9162	0
130	0	Sisma X	-885,7701	0
72	0	Sisma X	-831,744	0
132	0	Sisma X	-796,125	0
70	0,5	Sisma X	-773,9168	0,5

TABLE: Element Forces - Frames				
Frame	Station	OutputCase	M3	ElemStation
Text	m	Text	KN-m	m
72		0 SLU qa	-367,6005	0
132		0 SLU qa	-351,8764	0
312		0 SLU qa	-351,8092	0
72		0 SLU Vx	-351,4126	0
311		0 SLU qa	-341,3312	0
72		0 SLU neve	-340,7306	0

A questo punto abbiamo inserito i momenti ottenuti da SAP nel foglio di verifica a flessione, è risultato che la sezione precedentemente scelta è verificata per quanto riguarda il momento dovuto alla combinazione SLU. Per resistere al momento causato dalla combinazione sismica invece occorrerebbe un W_x superiore a tutti quelli presenti sul profilario quindi riteniamo che sia necessario intervenire in altri modi sulla struttura piuttosto che aumentare sproporzionalmente la sezione.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
	interasse (m)	q_s (KN/m ²)	q_p (KN/m ²)	q_a (KN/m ²)	q_u (KN/m)	luce (m)	M_{max} (KN*m)	$f_{y,k}$ (N/mm ²)	f_d (N/mm ²)	$W_{x,min}$ (cm ³)	W_x (cm ³)	
1												
2												
3	5,00	2,41	3,61	2,00	57,76	8,00	462,08	235,00	223,81	2064,59	2440,00	IPE550
4	1,00	2,41	3,61	2,00	11,55	5,00	36,10	235,00	223,81	161,30	146,00	IPE180
5	8,00	2,41	3,61	2,00	92,42	10,00	1155,19	235,00	223,81	5161,49		
6					0,00		0,00		0,00	#DIV/0!		
7	5,00				0,00	8,00	921,92	235,00	223,81	4119,20		Non Verificata
8	5,00				0,00	8,00	367,60	235,00	223,81	1642,47		Verificato
9					0,00		0,00		0,00	#DIV/0!		

Sbalzi

Verifica a flessione: il caso peggiore è quello dovuto al momento relativo alla combinazione di carico SLU Q_a . La sezione non risulta verificata quindi la aumentiamo da un IPE300 a un IPE 330.

TABLE: Element Forces - Frames				
Frame	Station	OutputCase	M3	ElemStation
Text	m	Text	KN-m	m
309		2 SLU qa	-129,9502	2
249		2 SLU qa	-126,7589	2
189		2 SLU qa	-126,2727	2
129		2 SLU qa	-125,7256	2
69		2 SLU qa	-124,8274	2
309		2 SLU neve	-124,4563	2

interasse (m)	q _s (kN/mq)	q _e (kN/mq)	q _s (kN/mq)	q _e (kN/m)	luce (m)	M _{max} (kN*m)	f _{yk} (N/mm ²)	f _{td} (N/mm ²)	W _{pl,y} (cm ³)	I _{xx} (cm ⁴)	peso (kN/m)	q _e (kN/m)	E (N/mm ²)	v _{max} (cm)	W _{pl,y} (cm ³)	
5	2,41	3,61	2,00	57,7595	2	115,519	235	223,81	516,15	8356	0,414	35,529	210000	0,405	493,895	Si
										IPE 300						
5	2,41	3,61	2,00	57,7595	2	129,9502	235	223,81	580,63	11.770	0,481507	35,596507	210000	0,288	694,366	Si
										IPE330						

Pilastri

Verifica a pressoflessione: dobbiamo verificare che la sezione resista alla combinazione di sforzo normale e momento flettente quindi che $N/A + M/W \leq f_{yd}$. Abbiamo eseguito la verifica sul pilastro con lo sforzo N più alto, su quello con M maggiore e su quello con la combinazione più alta di M ed N (che in questo caso coincide con il primo).

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	
1	TABLE: Element Forces - Frames									
2	Frame	Station	OutputCase	CaseType	P	M3	ElemStation			
3	Text	m	Text	Text	KN	KN-m	m		M+N	
4	40	0	SLU qa	Combination	-2769,001	27,4316	0		2796,433	
5	40	3,5	SLU qa	Combination	-2765,043	-28,0926	3,5		2793,136	
6	36	0	SLU qa	Combination	-2765,467	27,4393	0		2792,906	
7	58	3,5	SLU qa	Combination	-2765,467	27,4393	3,5		2792,906	

Pilastro più sollecitato a compressione

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	
1	TABLE: Element Forces - Frames									
2	Frame	Station	OutputCase	CaseType	P	M3	ElemStation			
3	Text	m	Text	Text	KN	KN-m	m		M+N	
4	70	0	Sisma X	Combination	0	-921,9162	0		921,9162	
5	66	0	Sisma X	Combination	0	-920,9244	0		920,9244	
6	74	0	Sisma X	Combination	0	-920,9244	0		920,9244	
7	130	0	Sisma X	Combination	0	-885,7701	0		885,7701	
8	126	0	Sisma X	Combination	0	-884,5947	0		884,5947	
9	134	0	Sisma X	Combination	0	-884,5947	0		884,5947	

Pilastro più sollecitato a flessione nel sisma

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	
1	TABLE: Element Forces - Frames									
2	Frame	Station	OutputCase	CaseType	P	M3	ElemStation			
3	Text	m	Text	Text	KN	KN-m	m		M+N	
315	68	0	SLU qa	Combination	0	-367,602	0		367,602	
316	76	0	SLU qa	Combination	0	-367,602	0		367,602	
317	72	0	SLU qa	Combination	0	-367,6005	0		367,6005	
333	128	0	SLU qa	Combination	0	-351,912	0		351,912	
334	136	0	SLU qa	Combination	0	-351,912	0		351,912	
335	132	0	SLU qa	Combination	0	-351,8764	0		351,8764	

Pilastro più sollecitato a flessione in SLU Qa

A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M
#	Combinazione	Sezione	Area (cm ²)	W(cm ³)	N (kN)	σ (Mpa)	M (kN*m)	σ (Mpa)	σ tot (Mpa)	f _{yk} (Mpa)	f _{yd} (Mpa)	Verifica
40	SLU qa	HEA300	112,5	1.260	-2769	246,1334	27,4316	21,771111	267,90453	235,00	223,8095	No
70	Sisma X	HEA300	112,5	1.260	0	0	-921,916	731,67952	731,67952	235,00	223,8095	No
68	SLU qa	HEA300	112,5	1.260	0	0	-367,602	291,74762	291,74762	235,00	223,8095	No

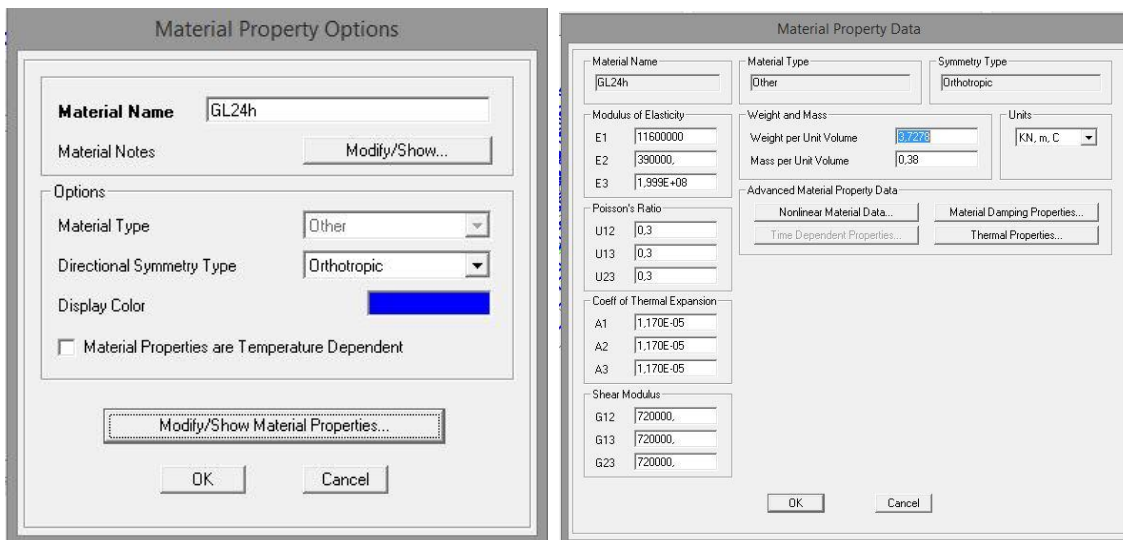
Dalle verifiche emerge che nessuno dei casi è verificato. I casi relativi allo SLU possono essere verificati con un aumento di sezione, quello che dipende dal sisma invece, come per le travi secondo noi va risolto intervenendo sul progetto della struttura piuttosto che solo sulla sezione.

40	SLU qa	HEA340	133,5	1.678	-2769	207,4158	27,4316	16,347795	223,7636	235,00	223,8095	Sì
68	SLU qa	HEA340	133,5	1.678	0	0	-367,602	219,07151	219,07151	235,00	223,8095	Sì

Legno

Abbiamo disegnato la struttura come nel caso dell'acciaio, cambiando però materiale e sezioni.

Materiale:



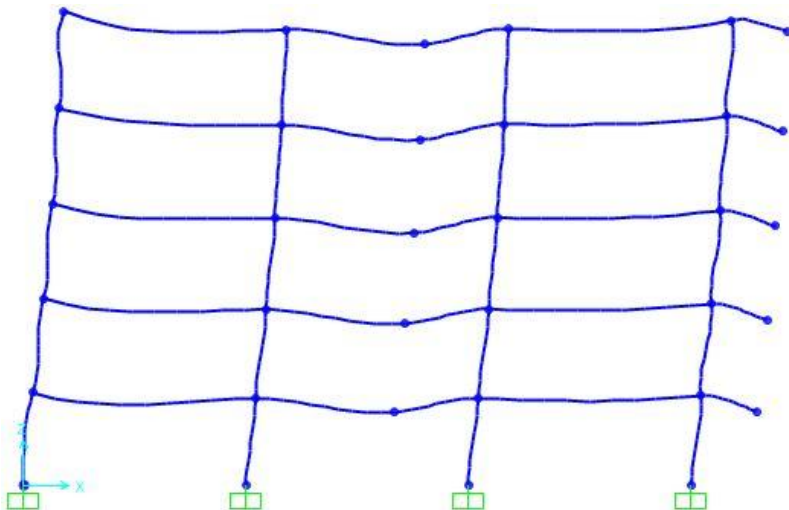
Avevamo precedentemente progettato la sezione in legno lamellare. Data la mancanza del materiale su SAP è necessario crearlo, dal momento che il legno reagisce a seconda della direzione delle fibre lo impostiamo come ortotropo. A questo punto inseriamo i dati relativi al modulo elastico, al peso e alla massa.

Combinazioni di carico:

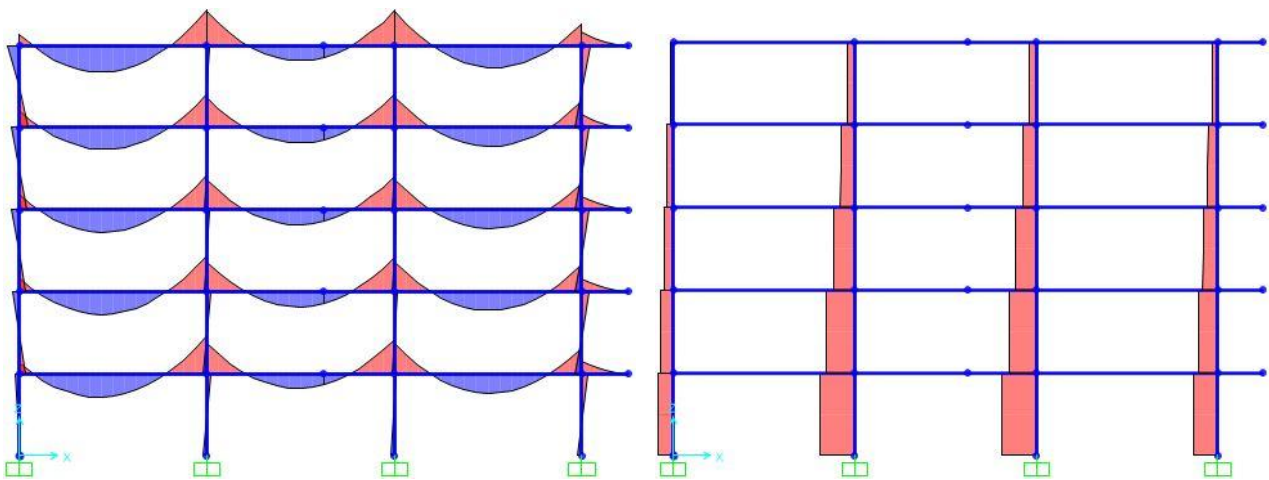
Abbiamo adottato le stesse del caso i acciaio, cambiano ovviamente i valori dei carichi. Riportiamo il calcolo della forza sismica:

	A	B	C	D	E	F	G
1	TABLE: Joint Reactions				Calcolo FS		
2	Joint	OutputCase	F3		W	C	Fs
3	Text	Text	KN		KN	n	KN
4	1	Weight	173,279		9419,626	0,3	2825,888
5	3	Weight	278,354				
6	5	Weight	393,46		Fi		
7	7	Weight	385,125		Numero Piani		5
8	9	Weight	326,064				KN
9	11	Weight	741,52		F1	Fs*1/15	188,3925
10	13	Weight	727,677		F2	Fs*2/15	376,785
11	15	Weight	519,907		F3	Fs*3/15	565,1776
12	17	Weight	327,351		F4	Fs*4/15	753,5701
13	19	Weight	326,064		F5	Fs*5/15	941,9626
14	21	Weight	173,279				
15	23	Weight	744,442				
16	25	Weight	741,52				
17	27	Weight	393,46				
18	29	Weight	729,819				
19	31	Weight	727,677				
20	33	Weight	385,125				
21	35	Weight	278,354				
22	37	Weight	519,907				
23	39	Weight	527,242				

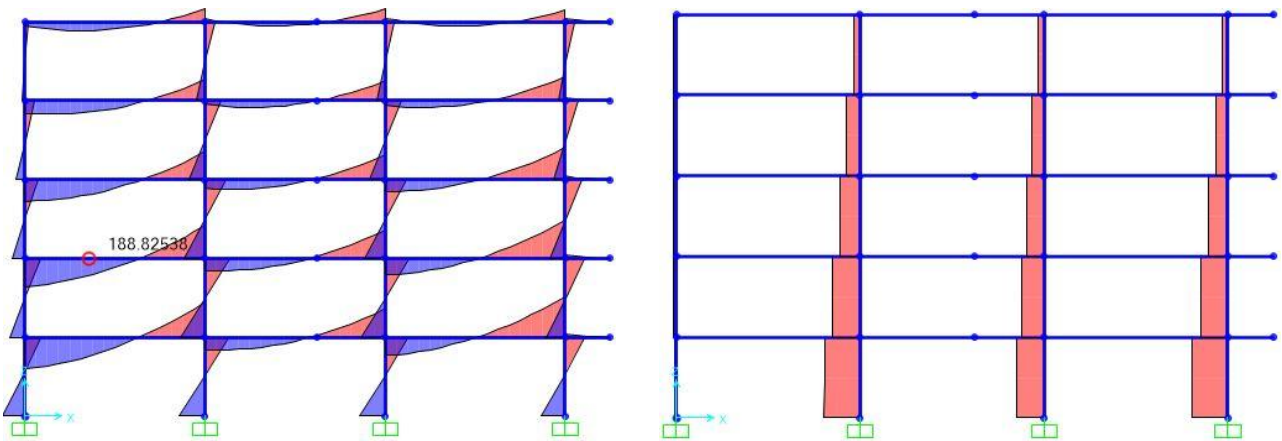
Verifiche:



Dopo aver impostato le combinazioni di carico abbiamo mandato l'analisi. Come nel caso precedente il telaio più sollecitato è quello centrale su cui poi abbiamo svolto le varie verifiche. Riportiamo la deformata e i diagrammi di sollecitazione per le due combinazioni peggiori



Momenti e Sforzi assiali- SLU Qa



Momenti e Sforzi assiali –Combinazione sismica direzione x

Verifica travi:

Verifica a flessione semplice

TABLE: Element Forces - Frames				
Frame	OutputCase	CaseType	M3	ElemStation
Text	Text	Text	KN-m	m
43	SLU - Qa	Combination	-232,2202	8
105	SLU - Qa	Combination	-221,7947	8
285	SLU - Qa	Combination	-218,8165	8
43	SLU - VentoX	Combination	-215,9231	8
165	SLU - Qa	Combination	-212,5141	8
286	SLU - Qa	Combination	-212,1438	3
44	SLU - Qa	Combination	-211,8291	3
106	SLU - Qa	Combination	-209,5132	3
287	SLU - Qa	Combination	-207,2604	0
166	SLU - Qa	Combination	-206,4095	3
286	SLU - Qa	Combination	-205,6351	0

TABLE: Element Forces - Frames				
Frame	OutputCase	CaseType	M3	ElemStation
Text	Text	Text	KN-m	m
45	Combo FsX	Combination	-453,2855	8
107	Combo FsX	Combination	-425,6162	8
43	Combo FsX	Combination	-391,0024	8
45	Combo FsX	Combination	-381,6529	7,5
105	Combo FsX	Combination	-367,0847	8
167	Combo FsX	Combination	-356,9764	8
107	Combo FsX	Combination	-356,8715	7,5
44	Combo FsX	Combination	-318,3114	3
45	Combo FsX	Combination	-314,1171	7

Per la combinazione SLU la sezione è verificata, la combinazione sismica invece no:sarebbe necessaria come h_{min} 93 cm

interasse (m)	q_s (KN/m ²)	q_p (KN/m ²)	q_a (KN/m ²)	q_u (KN/m)	luce (m)	M_{max} (KN*m)	$f_{m,k}$ (N/mm ²)	k_{mod}	γ_m	f_d (N/mm ²)	b (cm)	h_{min} (cm)	H (cm)	
5,00	0,50	2,24	2,00	35,05	8,00	280,40	24,00	0,80	1,45	13,24	24,00	72,76	76,80	
1,00	0,50	2,24	2,00	7,01	5,00	21,91	24,00	0,80	1,45	13,24	16,00	24,91	28,00	
5,00				0,00	8,00	453,29	24,00	0,80	1,45	13,24	24,00	92,51		Non Verificato FsX
5,00				0,00	8,00	232,22	24,00	0,80	1,45	13,24	24,00	66,21		Verificato SluQa

Verifiche sbalzi

TABLE: Element Forces - Frames				
Frame	OutputCase	CaseType	M3	ElemStation
Text	Text	Text	KN-m	m
288	SLU - Qa	Combination	-80,6855	0
228	SLU - Qa	Combination	-77,1729	0
168	SLU - Qa	Combination	-76,9514	0
108	SLU - Qa	Combination	-76,68	0
46	SLU - Qa	Combination	-76,2389	0
288	SLU - Neve	Combination	-75,2387	0
288	SLU - VentoY	Combination	-71,4398	0
288	SLU - VentoX	Combination	-71,4289	0
228	SLU - Neve	Combination	-67,9098	0

La combinazione peggiore per gli sbalzi è lo SLU Qa , al momento causato da questa combinazione la sezione non è verificata quindi abbiamo aumentato l'altezza da 40 a 44 cm.

interasse (m)	q_g (kN/mq)	q_p (kN/mq)	q_s (kN/mq)	q_d (kN/m)	luce (m)	M_{max} (kN*m)	f_{max} (N/mm ²)	k_{rel}	γ_s	$f_{c,c}$	b (cm)	h_{min} (cm)	H (cm)	E (N/mm ²)	I_x (cm ⁴)	q_e (kN/m)	v_{max} (cm)	W_{max}	
5	0,50	2,24	2,00	35,05	2	70,1	24	0,8	1,45	13,24	20	39,85	40	11600	108867	19	0,30	661,68	Si
5	0,50	2,24	2,00	35,05	2	80,6855	24	0,8	1,45	13,24	20	42,76	44,3	11600	144897	19	0,42	479,55	Si

Verifica pilastri:

Anche in questo caso i pilastri risultano presso inflessi quindi abbiamo eseguito la verifica sui pilastri con la N e la M maggiori e quello con la maggiore presenza di due sforzi.

TABLE: Element Forces - Frames							
Frame	Station	OutputCase	CaseType	P	M3	ElemStation	M+N
Text	m	Text	Text	KN	KN-m	m	
12	0	SLU - Qa	Combination	-1539,913	21,1876	0	1561,101
12	1,75	SLU - Qa	Combination	-1538,874	-0,4218	1,75	1539,296
12	3,5	SLU - Qa	Combination	-1537,835	-22,0312	3,5	1559,866
15	0	SLU - Qa	Combination	-1503,705	17,6595	0	1521,365
15	1,75	SLU - Qa	Combination	-1502,666	1,9086	1,75	1504,575
15	3,5	SLU - Qa	Combination	-1501,627	-13,8423	3,5	1515,469
12	0	SLU - Neve	Combination	-1367,328	20,6345	0	1387,963

Pilastro più sollecitato a compressione

TABLE: Element Forces - Frames							
Frame	Station	OutputCase	CaseType	P	M3	ElemStation	M+N
Text	m	Text	Text	KN	KN-m	m	
12	0	Combo FsX	Combination	-778,963	282,6675	0	1061,631
15	0	Combo FsX	Combination	-603,988	281,0656	0	885,0536
84	0	Combo FsX	Combination	-609,631	271,8341	0	881,4651
87	0	Combo FsX	Combination	-495,365	267,2759	0	762,6409
20	0	Combo FsX	Combination	-779,444	262,6121	0	1042,056
9	0	Combo FsX	Combination	-23,261	250,6179	0	273,8789

Pilastro più sollecitato a flessione con il sisma

TABLE: Element Forces - Frames							
Frame	Station	OutputCase	CaseType	P	M3	ElemStation	M+N
Text	m	Text	Text	KN	KN-m	m	
261	3,5	SLU - Qa	Combination	-133,842	69,8387	3,5	203,6807
261	3,5	SLU - Neve	Combination	-124,399	63,9946	3,5	188,3936
261	3,5	SLU - VentoY	Combination	-118,083	61,4713	3,5	179,5543
261	3,5	SLU - VentoX	Combination	-117,96	61,3365	3,5	179,2965
201	3,5	SLU - Qa	Combination	-268,368	48,9951	3,5	317,3631
92	0	SLU - VentoX	Combination	-776,347	48,5763	0	824,9233

Pilastro più sollecitato a flessione in SLU Qa

Dato che il legno non reagisce sempre allo stesso modo a compressione e flessione per la verifica si adotta la formula $\sigma_c / f_{cd} + \sigma_f / f_{fd} \leq 1$.

#	Combo	Base (cm)	H (cm)	A (cm ²)	W(cm ³)	N(kN)	σ_n (MPa)	M (kN ^m)	σ_m (MPa)	K,mod	γ_m	$f_c,0k$ (MPa)	f_{cd} (MPa)	$f_{m,k}$ (MPa)	f_{md} (MPa)	Verifica
261	SLU - Qa	35	35	1225	7145,833	133,842	1,092588	69,8387	9,773346	0,8	1,45	24	13,24138	24	13,24138	Si
12	SLU - Qa	35	35	1225	7145,833	1539,913	12,57072	21,1876	2,965029	0,8	1,45	24	13,24138	24	13,24138	No
12	FsX	35	35	1225	7145,833	778,963	6,358882	282,6675	39,55697	0,8	1,45	24	13,24138	24	13,24138	No
12	SLU - Qa	40	40	1600	10666,67	1539,913	9,624456	21,1876	1,986338	0,8	1,45	24	13,24138	24	13,24138	Si

Dalle verifiche si capisce che anche questo caso mentre per i pilastri non verificati in SLU basta aumentare la sezione da 35x35 a 40x40, gli sforzi generati dal sisma richiedono probabilmente un altro tipo di soluzione.

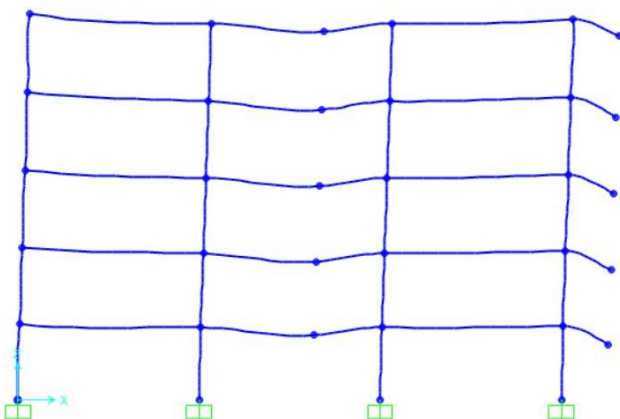
Calcestruzzo

	A	B	C	D	E	F	G
1	TABLE: Joint Reactions				Calcolo FS		
2	Joint	OutputCase	F3		W	C	Fs
3	Text	Text	KN		KN	n	KN
4	1	Weight	1544,106		35089,05	0,3	10526,72
5	3	Weight	1539,369				
6	5	Weight	1219,822		Fi		
7	7	Weight	2479,341		Numero Piani		
8	9	Weight	2475,277		KN		
9	11	Weight	1318,924		F1	Fs*1/15	701,781
10	13	Weight	845,31		F2	Fs*2/15	1403,562
11	15	Weight	1322,215		F3	Fs*3/15	2105,343
12	17	Weight	1318,924		F4	Fs*4/15	2807,124
13	19	Weight	845,31		F5	Fs*5/15	3508,905
14	21	Weight	2485,778				
15	23	Weight	2479,341				
16	25	Weight	1544,106				
17	27	Weight	2481,184				
18	29	Weight	2475,277				
19	31	Weight	1539,369				
20	33	Weight	1979,502				
21	35	Weight	1996,573				
22	37	Weight	1979,502				
23	41	Weight	1219,822				

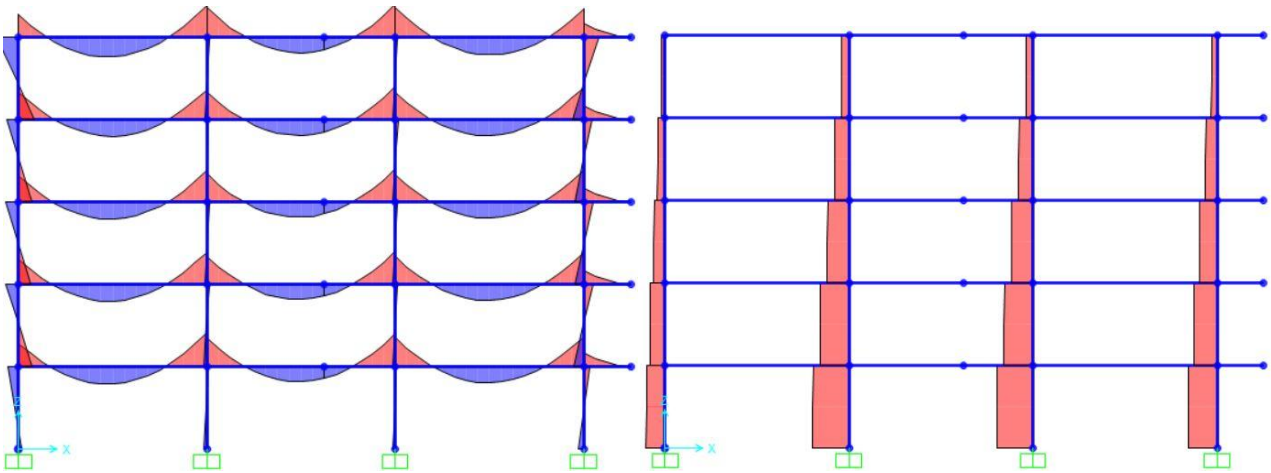
Analogamente agli altri due casi abbiamo disegnato il telaio e inserito i dati relativi al materiale, poi abbiamo definito le combinazioni di carico e assegnato i carichi, a questo punto abbiamo mandato l'analisi e abbiamo ottenuto le tabelle degli sforzi poi usate per la verifica.

Riportiamo i calcoli della forza sismica.

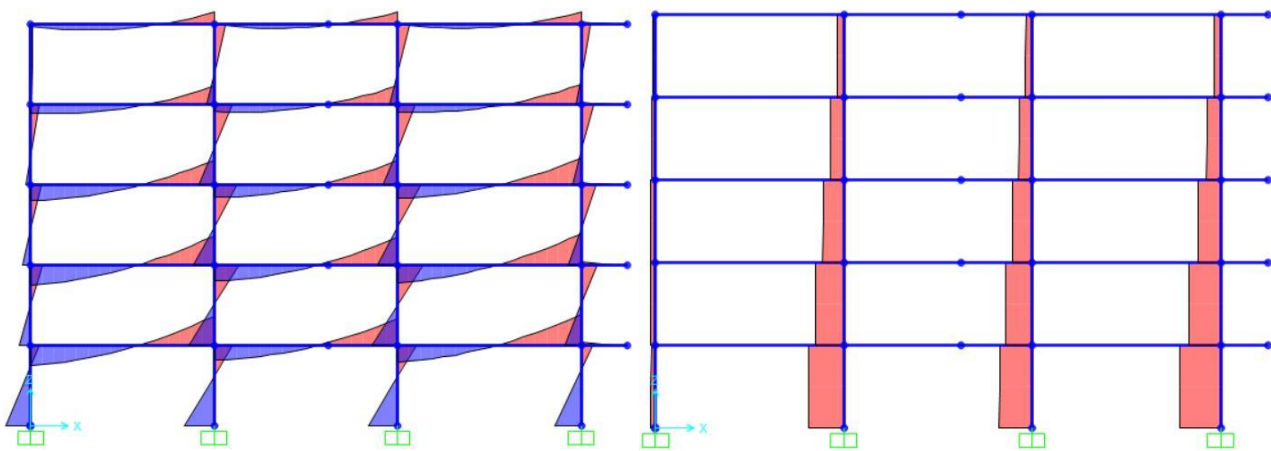
Verifiche



Per le verifiche di travi e sbalzi abbiamo usato come negli altri due materiali gli stessi fogli di calcolo del predimensionamento. Per i pilastri, che sono soggetti a pressoflessione invece abbiamo creato un foglio excel a parte.



Diagrammi M e N SLU Qa



Diagrammi M e N Forza sismica

Verifica travi:

TABLE: Element Forces - Frames			
Frame	OutputCase	M3	ElemStation
Text	Text	KN-m	m
92	Combo - Fsx	-1378,4037	0
44	Combo - Fsx	-1353,3426	0
94	Combo - Fsx	-1287,0241	0
46	Combo - Fsx	-1274,7969	0
93	Combo - Fsx	-1231,1701	0
152	Combo - Fsx	-1179,6515	0
45	Combo - Fsx	-1179,4704	0
92	Combo - Fsx	-1151,5562	0,5
44	Combo - Fsx	-1130,1174	0,5

TABLE: Element Forces - Frames			
Frame	OutputCase	M3	ElemStation
Text	Text	KN-m	m
46	SLU - Qa	-479,6034	0
93	SLU - Qa	-468,58	0
153	SLU - Qa	-467,1482	0
273	SLU - Qa	-466,2311	0
213	SLU - Qa	-465,7596	0
274	SLU - Qa	-464,8379	0
46	SLU - Vento X	-463,5876	0
212	SLU - Qa	-463,5846	0
45	SLU - Qa	-463,4583	0

A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U
interasse (m)	q _g (KN/m ²)	q _p (KN/m ²)	q ₀ (KN/m ²)	q ₀ (KN/m)	luce (m)	M _{max} (KN*m)	f _{yk} (N/mm ²)	f _{td} (N/mm ²)	f _{ck} (N/mm ²)	f _{ctd} (N/mm ²)	β	r	b (cm)	h ₀ (cm)	δ (cm)	H _{max} (cm)	H	H/I	area (m ²)	peso unitario (KN/m)
5,00	3,11	4,41	2,00	68,30	8,00	546,42	450,00	391,30	28,00	15,87	0,38	2,46	50,00	64,56	5,00	69,56	80,00	0,09	0,40	10,00
				81,30	8,00	650,42	450,00	391,30	28,00	15,87	0,38	2,46	50,00	70,43	5,00	75,43	verificata			
1,00	3,11	4,41	2,00	13,66	5,00	42,68	450,00	391,30	28,00	15,87	0,38	2,46	25,00	25,52	5,00	30,52	35,00	0,07	0,09	2,19
				16,50	5,00	51,57	450,00	391,30	28,00	15,87	0,38	2,46	25,00	28,05	5,00	33,05	verificata			
FSX																				
5,00	3,11	4,41	2,00	68,29	8,00	1378,40	450,00	391,30	28,00	15,87	0,38	2,46	50,00	102,54	5,00	107,54	80,00	0,10	0,40	10,00
				81,29	8,00	650,32	450,00	391,30	28,00	15,87	0,38	2,46	50,00	70,43	5,00	75,43	verificata			
Qa																				
5,00	3,11	4,41	2,00	68,29	8,00	479,60	450,00	391,30	28,00	15,87	0,38	2,46	50,00	60,48	5,00	65,48	80,00	0,10	0,40	10,00
				81,29	8,00	650,32	450,00	391,30	28,00	15,87	0,38	2,46	50,00	70,43	5,00	75,43	verificata			

Come negli altri due casi la trave è verificata a flessione per il momento dovuto allo SLU mentre per quello dovuto alla forza sismica servirebbe un'altezza di più di un metro che aumenterebbe di molto il peso e la forza sismica di conseguenza quindi forse è opportuno agire in altri modi.

Verifica sbalzi

TABLE: Element Forces - Frames			
Frame	OutputCase	M3	ElemStation
Text	Text	KN-m	m
264	SLU - Qa	-195,7269	2
204	SLU - Qa	-192,0997	2
144	SLU - Qa	-191,7645	2
84	SLU - Qa	-191,3476	2
35	SLU - Qa	-190,7238	2
264	SLU - Qn	-190,3495	2
264	SLU - Vento Y	-186,5725	2
264	SLU - Vento X	-186,5702	2
204	SLU - Qn	-182,9492	2

interasse (m)	q _g (kN/m ²)	q _p (kN/m ²)	q ₀ (kN/m ²)	q ₀ (kN/m)	luce (m)	M _{max} (kN*m)	f _{yk} (N/mm ²)	f _{td} (N/mm ²)	f _{ck} (N/mm ²)	f _{ctd} (N/mm ²)	β	r	b (cm)	h ₀ (cm)	δ (cm)	H _{max} (cm)	H (cm)	area (m ²)	peso (kN/m)	q ₀	E (N/mm ²)	I _y (cm ⁴)	V _{max} (cm)	W _{max}	
5	2,50	2,00	2,00	46,25	2	92,50	450	391,30	28	15,87	0,38	2,46	30	34,29	5	39,29	45	0,14	3,38	30,88	21000	227813	0,13	1549,48	SI
				50,64	2,00	101,28	450,00	391,30	28,00	15,87	0,38	2,46	30,00	35,88	5,00	40,88	verificata								
5	2,50	2,00	2,00	46,25	2	195,73	450	391,30	28	15,87	0,38	2,46	30	49,88	5	54,88	55	0,17	4,13	31,63	21000	415938	0,07	2761,96	SI
				51,61	2,00	103,23	450,00	391,30	28,00	15,87	0,38	2,46	30,00	36,22	5,00	41,22	verificata								

Verifica Pilastri:

TABLE: Element Forces - Frames					
Frame	OutputCase	P	M3	ElemStation	M+N
Text	Text	KN	KN-m	m	
11	SLU - Qa	-3945,807	39,3265	0	3985,134
14	SLU - Qa	-3937,813	33,8112	0	3971,624
11	SLU - Qa	-3921,785	6,0028	1,75	3927,788
14	SLU - Qa	-3913,79	9,1928	1,75	3922,983
11	SLU - Qa	-3897,762	-27,3208	3,5	3925,083
14	SLU - Qa	-3889,768	-15,4256	3,5	3905,194
11	SLU - Qn	-3759,169	38,3835	0	3797,553
14	SLU - Qn	-3751,132	33,2108	0	3784,343
11	SLU - Vento X	-3742,755	51,8696	0	3794,625

Pilastro più sollecitato a compressione

TABLE: Element Forces - Frames						
Frame	OutputCase	P	M3	ElemStation		
Text	Text	KN	KN-m	m		M+N
11	Combo - Fsx	-2530,683	1299,7701	0		3830,453
14	Combo - Fsx	-2336,636	1296,4396	0		3633,076
18	Combo - Fsx	-2913,327	1166,9864	0		4080,313
31	Combo - Fsx	-2004,216	1118,8349	0		3123,051
74	Combo - Fsx	-1884,388	1113,0232	0		2997,411
8	Combo - Fsx	-342,704	1100,6965	0		1443,401
134	Combo - Fsx	-1426,03	906,8077	0		2332,838
131	Combo - Fsx	-1490,329	902,1744	0		2392,503
78	Combo - Fsx	-2263,243	715,1607	0		2978,404
194	Combo - Fsx	-960,52	654,4216	0		1614,942
191	Combo - Fsx	-985,653	644,8578	0		1630,511
138	Combo - Fsx	-1605,672	555,2187	0		2160,891

Pilastro soggetto a maggior sforzo flettente combinazione di carico sismica

TABLE: Element Forces - Frames						
Frame	OutputCase	P	M3	ElemStation		
Text	Text	KN	KN-m	m		M+N
248	SLU - Qa	-411,935	-229,4065	0		641,3415
248	SLU - Vento Y	-392,847	-218,5465	0		611,3935
248	SLU - Qn	-400,409	-218,3832	0		618,7922
248	SLU - Vento X	-392,426	-215,2166	0		607,6426
258	SLU - Qa	-587,703	-211,067	3,5		798,77
258	SLU - Qn	-569,175	-202,9866	3,5		772,1616
258	SLU - Vento X	-556,536	-199,6486	3,5		756,1846
258	SLU - Vento Y	-556,019	-197,5355	3,5		753,5545
28	SLU - Qa	-1650,299	-186,6206	0		1836,92
28	SLU - Vento Y	-1578,16	-185,2729	0		1763,433
188	SLU - Qa	-829,484	-181,5495	0		1011,034

Pilastro soggetto a maggior sforzo flettente combinazione SLU Qa

TABLE: Element Forces - Frames						
Frame	OutputCase	P	M3	ElemStation		
Text	Text	KN	KN-m	m		M+N
18	Combo - Fsx	-2913,327	1166,9864	0		4080,313
11	SLU - Qa	-3945,807	39,3265	0		3985,134
14	SLU - Qa	-3937,813	33,8112	0		3971,624
11	SLU - Qa	-3921,785	6,0028	1,75		3927,788
11	SLU - Qa	-3897,762	-27,3208	3,5		3925,083
14	SLU - Qa	-3913,79	9,1928	1,75		3922,983
14	SLU - Qa	-3889,768	-15,4256	3,5		3905,194

Pilastro soggetto a maggior sforzo di combinazione N e M

La verifica a pressoflessione nel calcestruzzo si effettua in modo diverso a seconda del rapporto tra eccentricità ($e = M/N$) e altezza della sezione:

1- se $e \leq h/6$ la sezione si considera totalmente compressa e si esegue la verifica a compressione considerando che $\sigma_{\max} = N/A + M/W \leq f_{cd}$

2- se $h/6 < e < h/2$ allora si considera la sezione come se avesse una compressione variabile e, ignorando le verifiche per la parte tesa, si considera $\sigma_{\max} = 2 \cdot N / 3u \cdot b$ dove $u = h/2 - e$. La verifica è soddisfatta se $\sigma_{\max} \leq \sigma_{cd}$

3- se $e \geq h/2$ si effettua solo la verifica flessione.

Nel predimensionamento avevamo già tenuto conto della presso flessione, si vede infatti che i pilastri nelle combinazioni SLU Qa risultano verificati. Quelli nella combinazione sismica al contrario non sono verificati.

Caso da verificare											
#	Combo	B(cm)	H(cm)	N(kN)	M(kN*m)	fck (MPa)	fcd (MPa)	fyk (MPa)	fyd (MPa)	e(cm)	Verifica
11	Combo - Fsx	65	65	2530,68	1299,77	28	15,8667	450	391,304	51,3604	Caso 3
18	Combo - Fsx	65	65	2913,33	1166,99	28	15,8667	450	391,304	40,0568	Caso 3
11	SLU - Qa	65	65	3945,81	39,3265	28	15,8667	450	391,304	0,99667	Caso 1
248	SLU - Qa	65	65	363,89	319,39	28	15,8667	450	391,304	87,7711	Caso 3

Caso 1							
#	Combo	A(cm ²)	W(cm ³)	σ_c (MPa)	σ_f (MPa)	σ_{tot} (MPa)	Verifica
11	Combo - Fsx	4225	45770,8	5,98978	28,3973	34,387126	No
18	Combo - Fsx	4225	45770,8	6,89545	25,4963	32,391738	No
11	SLU - Qa	4225	45770,8	9,33919	0,8592	10,198393	Sì
248	SLU - Qa	4225	45770,8	0,86128	6,97803	7,8393049	Sì

Caso 3							
#	Combo	β	r (cm/ \sqrt{kN})	h _u (cm)	δ (cm)	H _{min}	Verifica
11	Combo - Fsx	0,3782	1,95287525	87,3275	5	92,3275	No
18	Combo - Fsx	0,3782	1,95287525	82,7467	5	87,7467	No
11	SLU - Qa	0,3782	1,95287525	15,1901	5	20,1901	Sì
248	SLU - Qa	0,3782	1,95287525	43,2891	5	48,2891	Sì