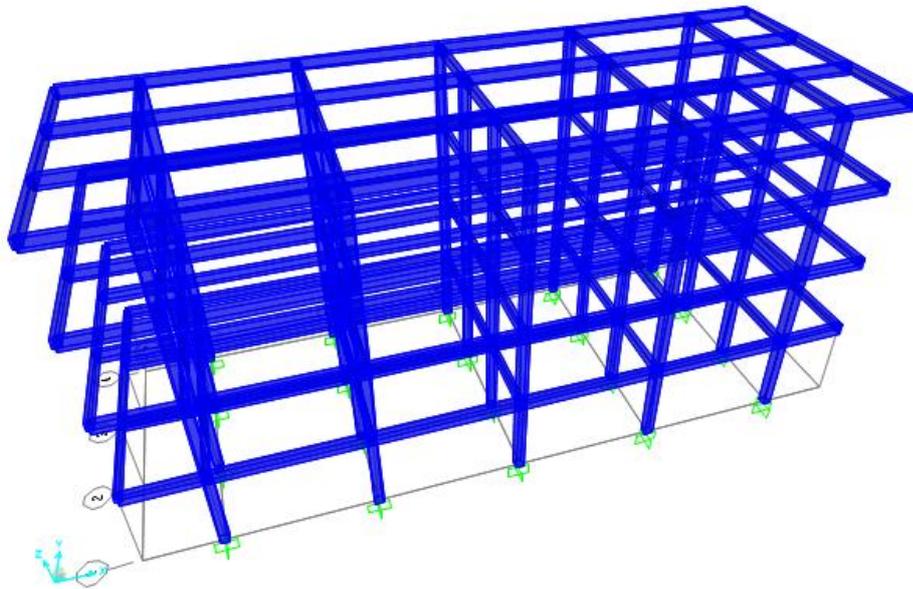
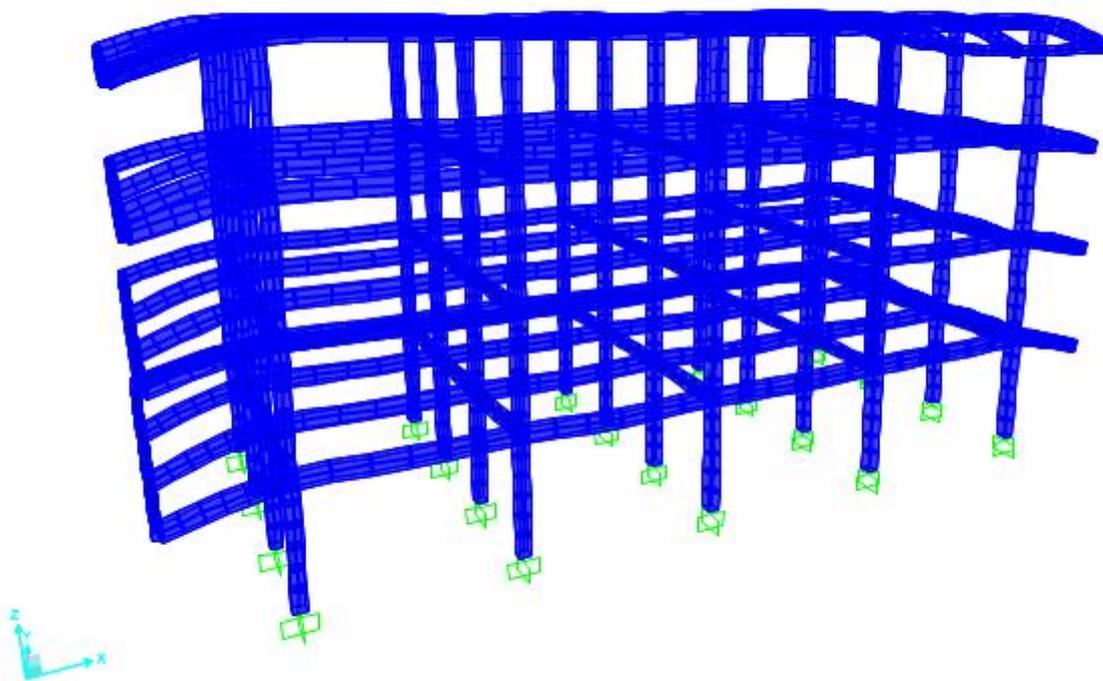


DIMENSIONAMENTO DI UN TELAIO IN CLS, LEGNO E ACCIAIO.

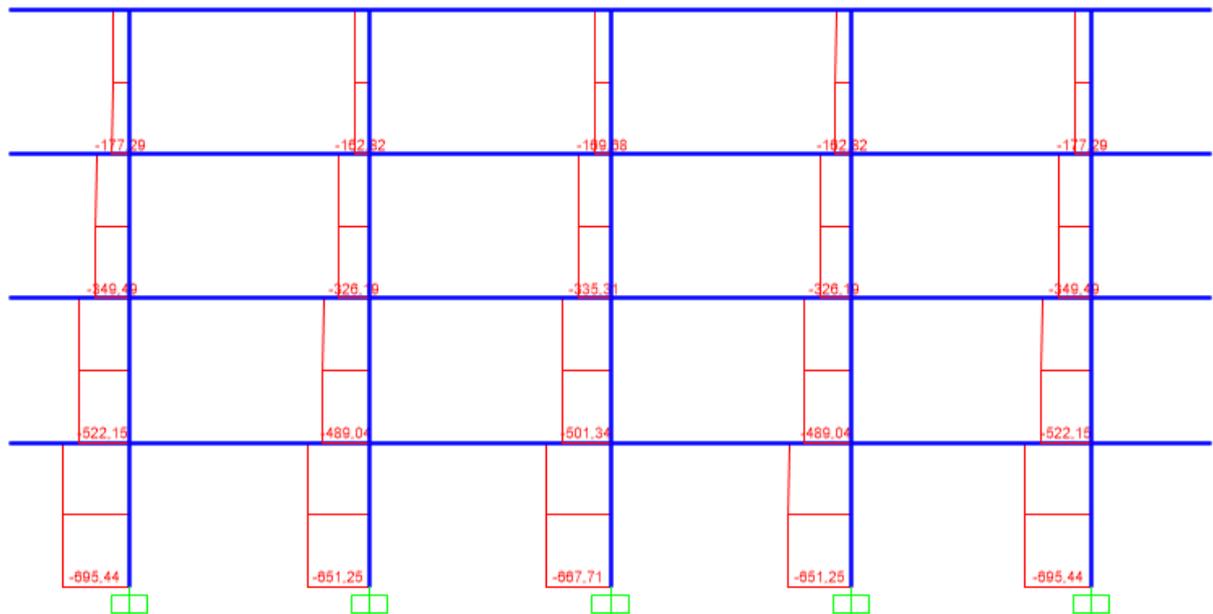
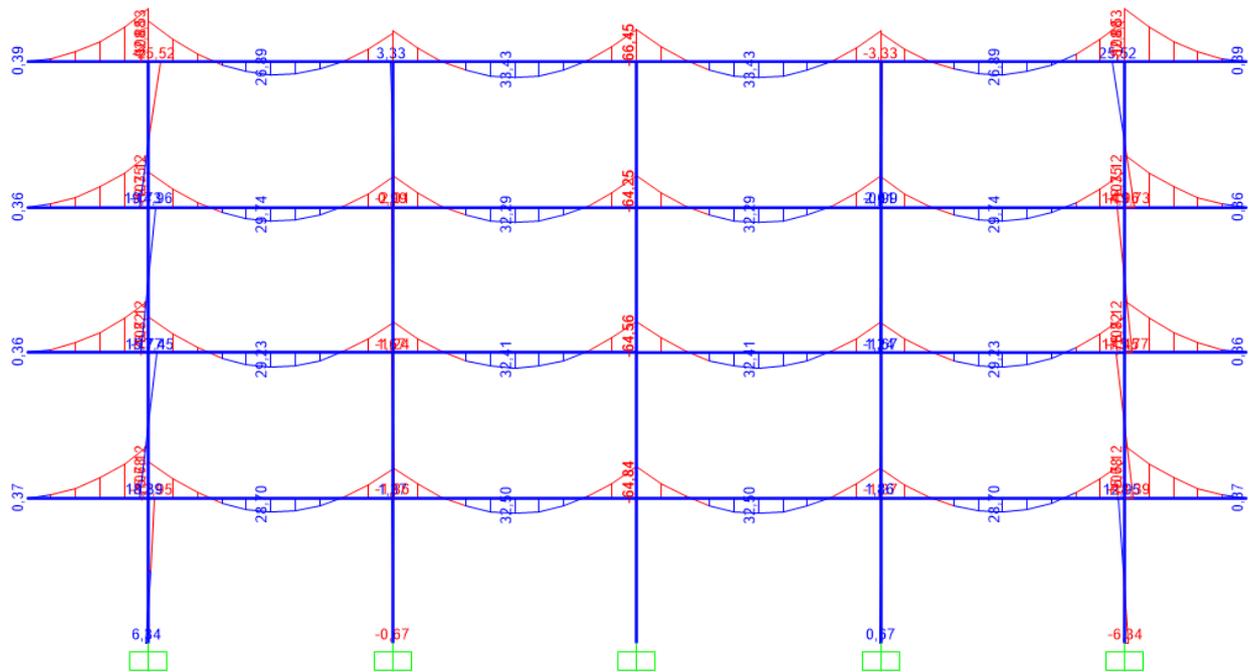
CALCESTRUZZO



Dopo aver inserito la struttura su SAP2000 con le sezioni in cls precedentemente dimensionate, avvio l'analisi con solo i carichi verticali (combinazione fondamentale allo SLU + carico della neve).



Ottenendo i seguenti diagrammi del momento e dello sforzo normale:



Esportando la tabella dati su excell, emerge che la trave più sollecitata è soggetta a un momento pari a 82,88 KNm, inferiore al momento utilizzato per il primo dimensionamento (98,37 KNm), si decide di mantenere comunque la sezione 20x40 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 _{yk} (N/mm ²)	f _{yd} (N/mm ²)	f _{ck} (N/mm ²)	f _{cd} (N/mm ²)
3,00	3,92	1,02	2,00	28,88	5,00	90,24	450,00	391,30	45,00	25,50
				31,48	5,00	98,37	450,00	391,30	45,00	25,50
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 _{yk} (N/mm ²)	f _{yd} (N/mm ²)	f _{ck} (N/mm ²)	f _{cd} (N/mm ²)
3,00	3,92	1,02	2,00	28,88	5,00	82,88	450,00	391,30	45,00	25,50
				31,15	5,00	82,88	450,00	391,30	45,00	25,50

β	r	b (cm)	h _u (cm)	δ (cm)	H _{min} (cm)	H	H/l	area (m ²)	peso unitario (KN/m)
0,49	2,20	20,00	29,28	5,00	34,28	40,00	0,07	0,08	2,00
0,49	2,20	20,00	30,57	5,00	35,57	verificata			
β	r	b (cm)	h _u (cm)	δ (cm)	H _{min} (cm)	H	H/l	area (m ²)	peso unitario (KN/m)
0,49	2,20	20,00	28,06	5,00	33,06	40,00	0,07	0,08	2,00
0,49	2,20	20,00	28,06	5,00	33,06	verificata			

Invece la mensola maggiormente sollecitata ha un momento maggiore rispetto quello del primo dimensionamento, nonostante ciò la sezione 20x40 cm è verificata.

interasse (m)	q _s (kN/mq)	q _p (kN/mq)	q _a (kN/mq)	q _u (kN/m)	luce (m)	M _{max} (kN*m)	f _{yk} (N/mm ²)	f _{yd} (N/mm ²)	f _{ck} (N/mm ²)	f _{cd} (N/mm ²)
3	3,92	1,02	2,00	28,88	2,5	90,24	450	391,30	45	25,50
				31,48	2,50	98,37	450,00	391,30	45,00	25,50
interasse (m)	q _s (kN/mq)	q _p (kN/mq)	q _a (kN/mq)	q _u (kN/m)	luce (m)	M _{max} (kN*m)	f _{yk} (N/mm ²)	f _{yd} (N/mm ²)	f _{ck} (N/mm ²)	f _{cd} (N/mm ²)
3	3,92	1,02	2,00	28,88	2,5	108,53	450	391,30	45	25,50
				31,48	2,50	108,53	450,00	391,30	45,00	25,50

β	r	b (cm)	h _u (cm)	δ (cm)	H _{min} (cm)	H (cm)	area (m ²)	peso (kN/m)	q _s	E (N/mm ²)	I _x (cm ⁴)	V _{max} (cm)	I/V _{max}
0,49	2,20	20	29,28	5	34,28	40	0,08	2,00	19,82	21000	106667	0,43	578,65
0,49	2,20	20,00	30,57	5,00	35,57	verificata							
β	r	b (cm)	h _u (cm)	δ (cm)	H _{min} (cm)	H (cm)	area (m ²)	peso (kN/m)	q _s	E (N/mm ²)	I _x (cm ⁴)	V _{max} (cm)	I/V _{max}
0,49	2,20	20	32,11	5	37,11	40	0,08	2,00	19,82	21000	106667	0,43	578,65
0,49	2,20	20,00	32,11	5,00	37,11	verificata							

Anche il pilastro è soggetto a uno sforzo normale maggiore rispetto a quello del predimensionamento, la sezione 30x30 è comunque verificata.

L _p	L _s	Area	trave _p	trave _s	q _{trave}	q _s	q _p	q _a	q _{solito}	n _{pari}	N	f _{ck}	f _{od}	A _{min}	b _{min}	E	β	l	λ*	ρ _{min}	b _{min}	b	h _{min}	h
m	m	m ²	kN/m	kN/m	kN	kN/m	kN/m	kN/m	kN		kN	Mpa	Mpa	cm ²	cm	Mpa		m		cm	cm	cm	cm	cm
5,00	3,00	15,00	2,00	2,00	20,80	3,92	1,02	2,00	144,39	4	661	45,0	25,5	259,1	16,1	21000	2,00	3,00	90,15	6,66	23,05	30,00	8,64	30,00
L _p	L _s	Area	trave _p	trave _s	q _{trave}	q _s	q _p	q _a	q _{solito}	n _{pari}	N	f _{ck}	f _{od}	A _{min}	b _{min}	E	β	l	λ*	ρ _{min}	b _{min}	b	h _{min}	h
m	m	m ²	kN/m	kN/m	kN	kN/m	kN/m	kN/m	kN		kN	Mpa	Mpa	cm ²	cm	Mpa		m		cm	cm	cm	cm	cm
5,00	3,00	15,00	2,00	2,00	20,80	3,92	1,02	2,00	144,39	4	695	45,0	25,5	272,7	16,5	21000	2,00	3,00	90,15	6,66	23,05	30,00	9,09	30,00
b _{min}	b	h _{min}	h	A _{design}	I _{design}	I _{max}	W _{max}	q _t	M _t	σ _{max}														
cm	cm	cm	cm	cm ²	cm ⁴	cm ⁴	cm ³	kN/m	kN*m	Mpa														
23,05	30,00	8,64	30,00	900	67500	67500	4500,00	28,88	60,16	20,71														
b _{min}	b	h _{min}	h	A _{design}	I _{design}	I _{max}	W _{max}	q _t	M _t	σ _{max}														
cm	cm	cm	cm	cm ²	cm ⁴	cm ⁴	cm ³	kN/m	kN*m	Mpa														
23,05	30,00	9,09	30,00	900	67500	67500	4500,00	28,88	60,16	21,10														

Applichiamo ora i carichi orizzontali: vento e sisma.

SISMA

$$F_s = c * w$$

Dove "c" è il coefficiente di intensità sismica (0,3) e w (weight) è uguale alla somma del peso dell'edificio P (strutturale e permanente), del 20% del carico della neve N e del 30% del sovraccarico accidentale Q.

$$W = P + 20\% N + 30\% Q$$

$$P = (p_s + p_p) * A = (3,92 + 1,02) \text{ KN/mq} * (25 * 9) \text{ mq} = 1111,5 \text{ KN}$$

$$N = 0,5 \text{ KN/mq} * A = 112,5 \text{ KN}$$

$$Q = 2 \text{ KN/mq} * A = 450 \text{ KN (civile abitazione)}$$

$$W = 1111,5 + 20\% 112,5 + 30\% 450 = 1269 \text{ kN}$$

$$F_s = 0,3 * 1269 = 380,7 \text{ kN}$$

La forza sismica viene applicata al centro di massa che per semplificazione in questo caso corrisponde a quello delle aree (incrocio delle diagonali essendo un rettangolo).

La forza non è uguale per tutta l'altezza:

$$F_i = F_s * (z_i * P_i) / \sum(z_i * P_i)$$

Considerando i piani uguali tra loro, quindi con lo stesso P, la formula si semplifica divenendo:

$$F_1 = F_s * 1/10 = 38,07 \text{ kN}$$

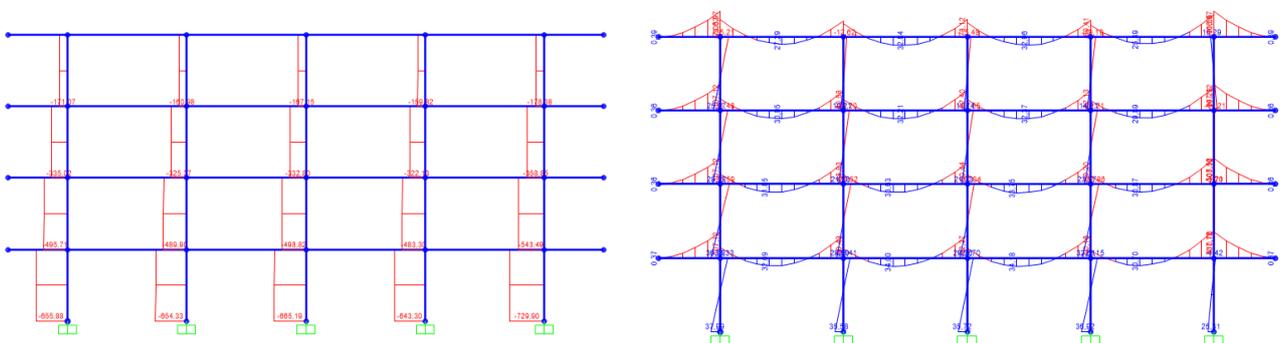
$$F_2 = F_s * 2/10 = 76,14 \text{ kN}$$

$$F_3 = F_s * 3/10 = 114,21 \text{ kN}$$

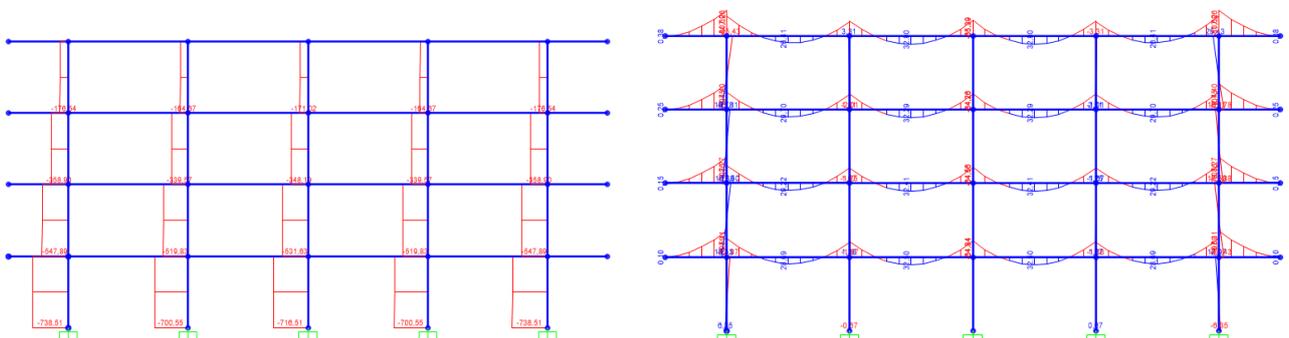
$$F_4 = F_s * 4/10 = 152,28 \text{ kN}$$

Questi vengono applicati rispettivamente al primo, secondo, terzo e quarto piano, per entrambe le direzioni ortogonali, non essendo prevedibile la direzione in cui agir  il sisma.

Direzione x



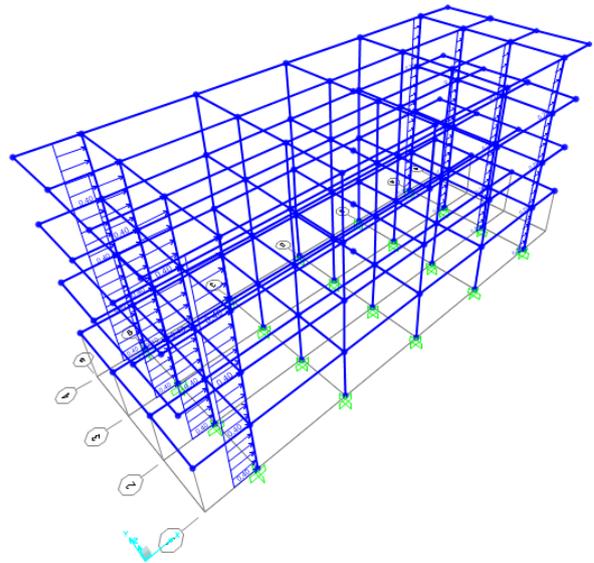
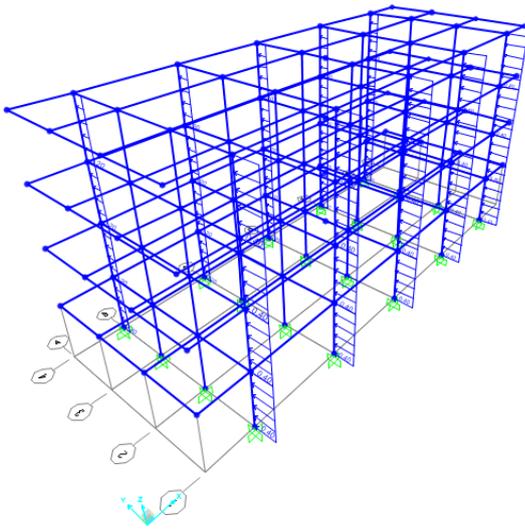
Direzione y



Anche il carico del vento viene applicato per entrambe le direzioni, distribuito perpendicolarmente ai pilastri di facciata, ed è 0,4 kN/mq in compressione e 0,2 kN/mq in decompressione.

Ventoy

Ventox



Imposto le combinazioni di carichi prima di avviare l'analisi.

Le combinazioni sono 4 e composte dai carichi verticali (con i coefficienti della combinazione allo SLU) e dal carico orizzontale (sisma x, sisma y, vento x o vento y).

Esportando le tabelle su excel, creo una colonna con il rapporto M/N.

Prendo il valore dell'eccentricità massima tra le combo (in questo caso è un pilastro dell'ultimo piano soggetto a sisma x)

$$M = 35,21 \text{ kNm}$$

$$N = 164,33 \text{ kN}$$

L'eccentricità è data da $M/N = 0,21 \text{ m}$

$$H/6 = 0,3 / 6 = 0,05 \text{ m} \quad H/2 = 0,3/2 = 0,15 \text{ m}$$

Quindi $M/N > H/2$ abbiamo una forte eccentricità, verifico il pilastro a flessione, utilizzando il foglio di calcolo delle travi, senza considerare la compressione.

M_{max} (KN*m)	f_{yk} (N/mm ²)	f_{yk} (N/mm ²)	f_{ck} (N/mm ²)	f_{cd} (N/mm ²)	β	r	b (cm)	h_u (cm)	δ (cm)	H_{min} (cm)	H	H/l	area (m ²)	peso unitario (KN/m)
35,21	450,00	391,30	45,00	25,50	0,49	2,20	30,00	14,93	5,00	19,93	30,00	0,04	0,09	2,25
35,21	450,00	391,30	45,00	25,50	0,49	2,20	30,00	14,93	5,00	19,93	verificata			

I pilastri sono verificati a pressoflessione.

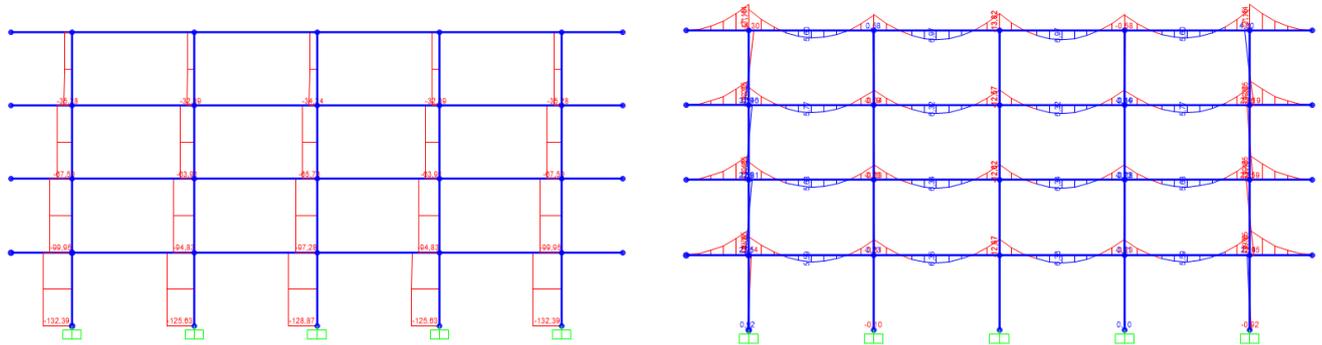
Sempre dalle tabelle esportate, cerco il momento massimo per la trave maggiormente sollecitata a carichi orizzontali e lo inserisco in tabella per verificare anche le travi. $M_{max} = 110,76 \text{ kNm}$.

M_{max} (KN*m)	f_{yk} (N/mm ²)	f_{yk} (N/mm ²)	f_{ck} (N/mm ²)	f_{cd} (N/mm ²)	β	r	b (cm)	h_u (cm)	δ (cm)	H_{min} (cm)	H	H/l	area (m ²)	peso unitario (KN/m)
110,76	450,00	391,30	45,00	25,50	0,49	2,20	20,00	32,44	5,00	37,44	40,00	0,07	0,08	2,00
110,76	450,00	391,30	45,00	25,50	0,49	2,20	20,00	32,44	5,00	37,44	verificata			

La trave è verificata.

LEGNO

Inserite su SAP le sezioni del telaio in legno e i rispettivi carichi verticali, compreso il carico della neve, avvio l'analisi:



Il momento massimo sulle travi è 17,49 kNm (rispetto i 53,21 kNm del primo dimensionamento), la sezione potrebbe essere ridotta.

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)
3,00	0,42	1,42	2,00	17,03	5,00	17,49	24,00	0,80	1,45	13,24	24,00	18,17	36,00

Stessa cosa per le mensole, la più sollecitata è soggetta a un momento di 22,26 kNm:

interasse (m)	q _s (kN/mq)	q _p (kN/mq)	q _a (kN/mq)	q _u (kN/m)	luce (m)	M _{max} (kN*m)	f _{m,k} (N/mm ²)	k _{mod}	γ _m	f _d C
3	0,42	1,42	2,00	17,028	2,5	22,26	24	0,8	1,45	13,24

f _{m,k} (N/mm ²)	k _{mod}	γ _m	f _d C	b (cm)	h _{min} (cm)	H (cm)	E (N/mm ²)	I _x (cm ⁴)	q _e (kN/m)	v _{max} (cm)	I/v _{max}	
24	0,8	1,45	13,24	24	20,50	36	11000	93312	9	0,41	616,82	Si

Anche lo sforzo normale massimo (136 kN) sui pilastri è inferiore rispetto quello del primo dimensionamento (356 kN)

L ₁	L ₂	Area	trave _p	trave _s	q _{trave}	q _s	q _p	q _a	q _{solai}	n piani	N	f _{c0,k}	k _{mod}	γ _m	f _{c0,d}	A _{min}	E,005	β	I	λ _{max}	ρ _{min}	b _{min}	b	h _{min}	h	A _{design}	I _{design}
m	m	m ²	kN/m	kN/m	kN	kN/mq	kN/mq	kN/mq	kN		kN	Mpa			Mpa	cm ²	Mpa		m		cm	cm	cm	cm	cm	cm ²	cm ⁴
5,00	3,00	15,00	0,36	0,36	3,77	0,42	1,42	2,00	85,14	4	136	21,00	0,80	1,45	11,59	117,1	7400	2,0	3,00	79,36	7,56	26,19	30,00	3,90	24,00	720	54000

Le sezioni sono verificate.

FORZE ORIZZONTALI.

SISMA

Applico alla struttura, nel centro di massa, la forza sismica in ambo le direzioni ortogonali.

Calcolo forza sismica:

$$F_s = c * w$$

$$C = 0,3$$

$$W = P + 20\% N + 30\% Q$$

$$P = (p_s + p_p) * A = (0,42 + 1,42) \text{ kN/mq} * (25 * 9) \text{ mq} = 414 \text{ kN}$$

$$N = 0,5 \text{ kN/mq} * 225 \text{ mq} = 112,5 \rightarrow 20\% * 112,5 = 22,5 \text{ kN}$$

$$Q = 2 \text{ kN/mq} * 225 \text{ mq} = 450 \text{ kN} \rightarrow 30\% * 450 = 135 \text{ kN}$$

$$W = 414 + 22,5 + 135 = 571,5 \text{ Kn}$$

$$F_s = 0,3 * 571,5 \text{ Kn} = 171,45 \text{ KN}$$

Calcolo della forza da applicare ad ogni piano:

$$F_1 = F_s / 10 = 17,145 \text{ KN}$$

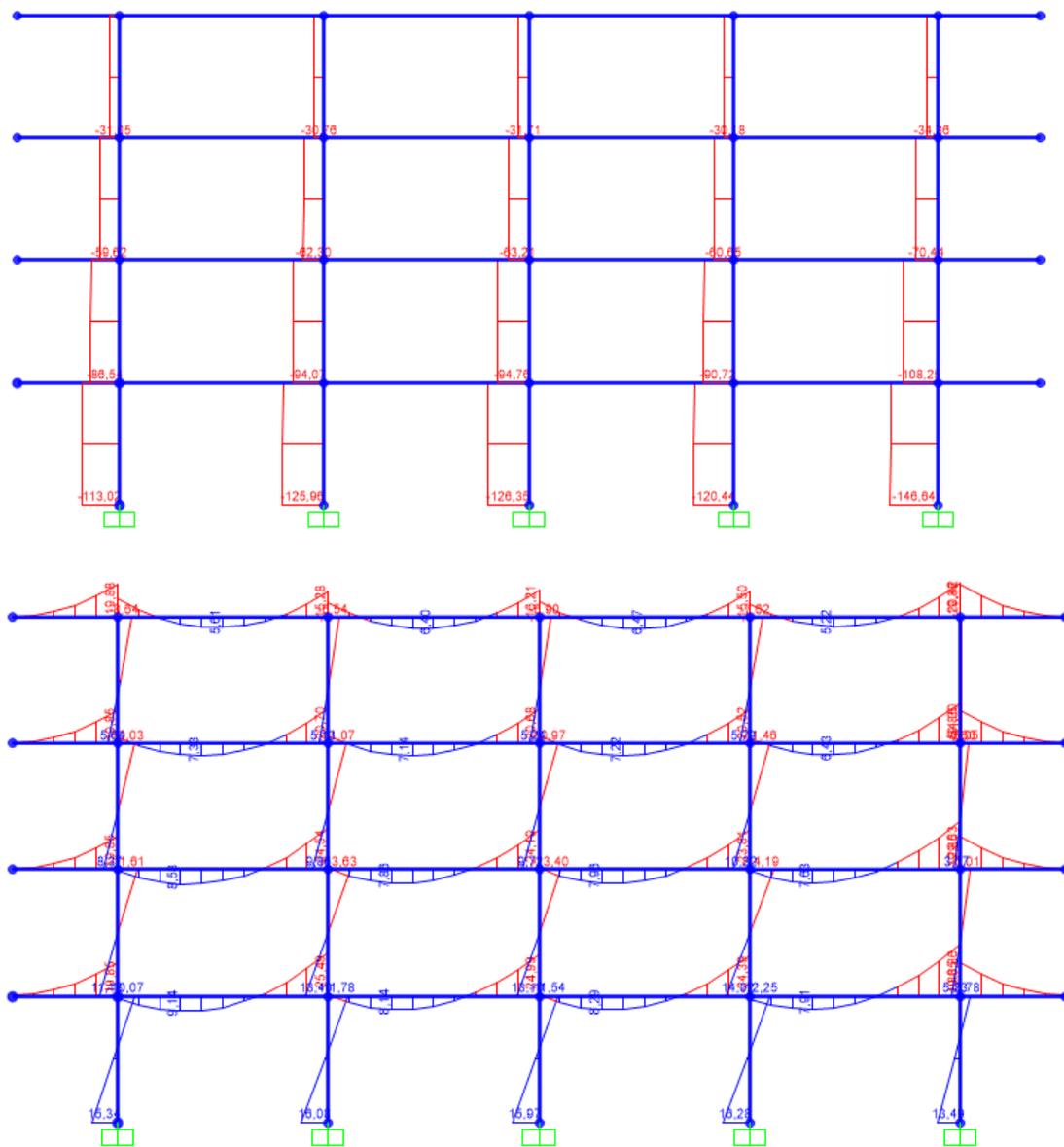
$$F_2 = 34,29 \text{ KN}$$

$$F_3 = 51,43 \text{ Kn}$$

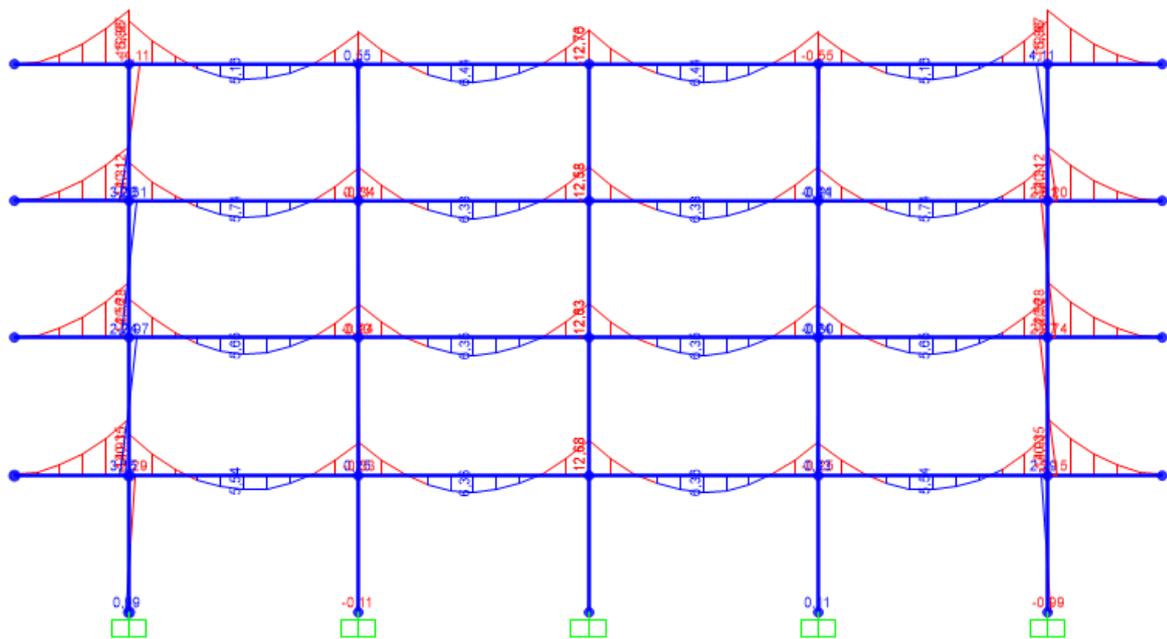
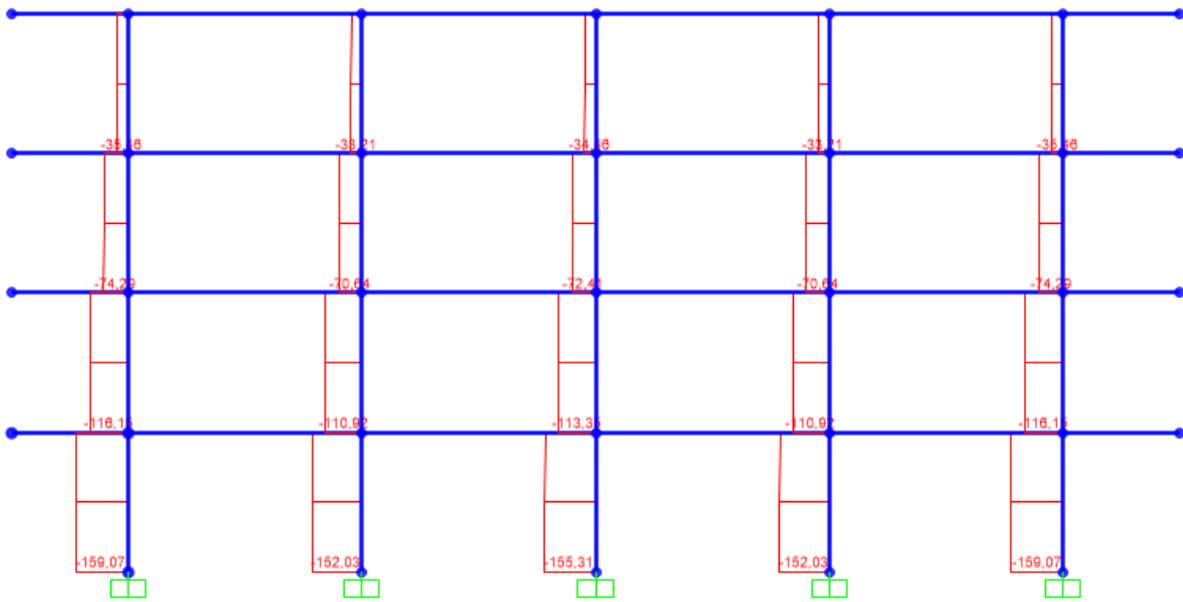
$$F_4 = 68,58 \text{ Kn}$$

Diagrammi dello sforzo assiale e del momento:

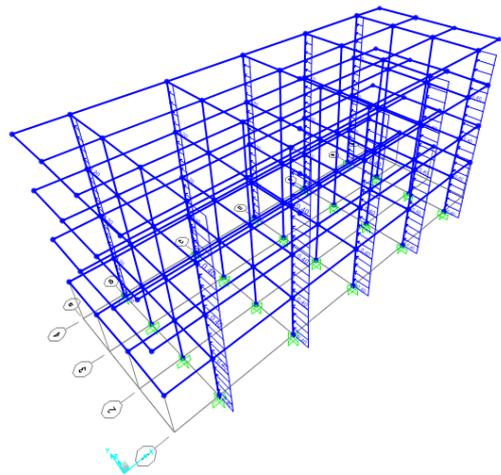
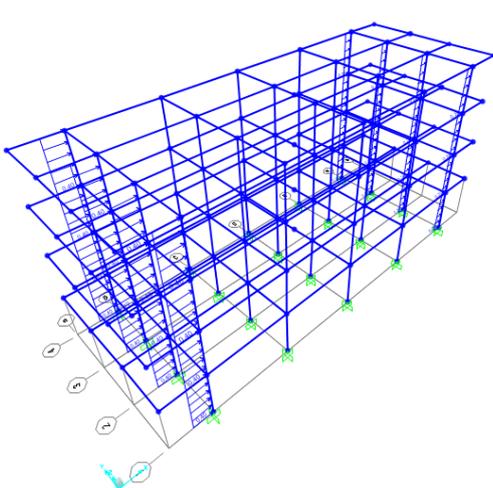
per il sisma che agisce lungo l'asse x



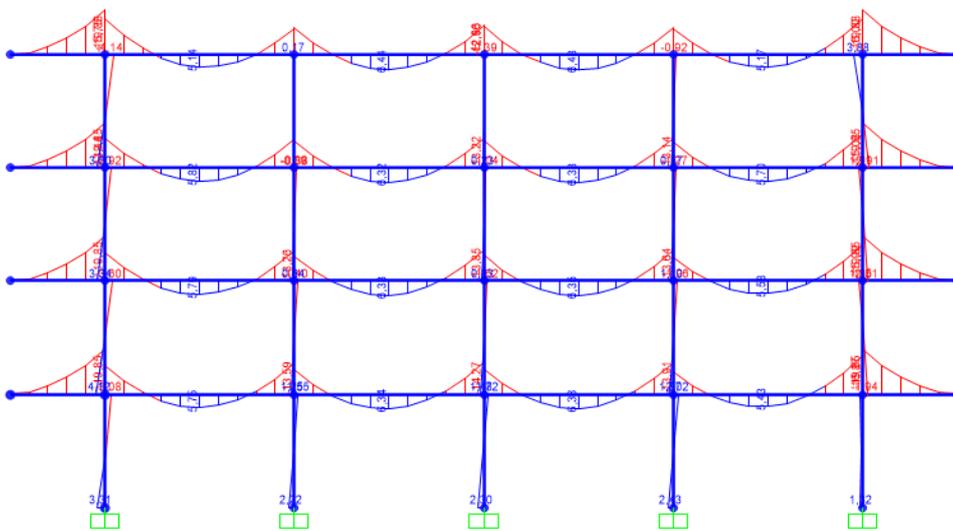
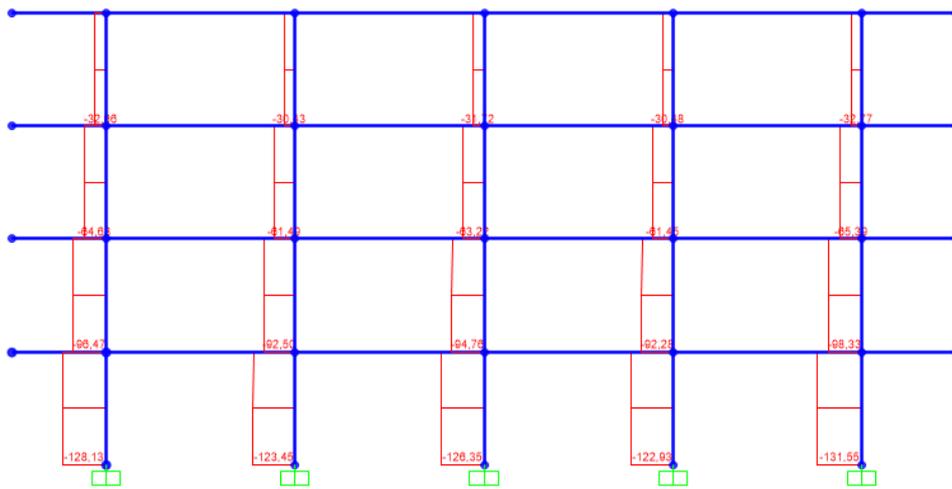
E del sisma y



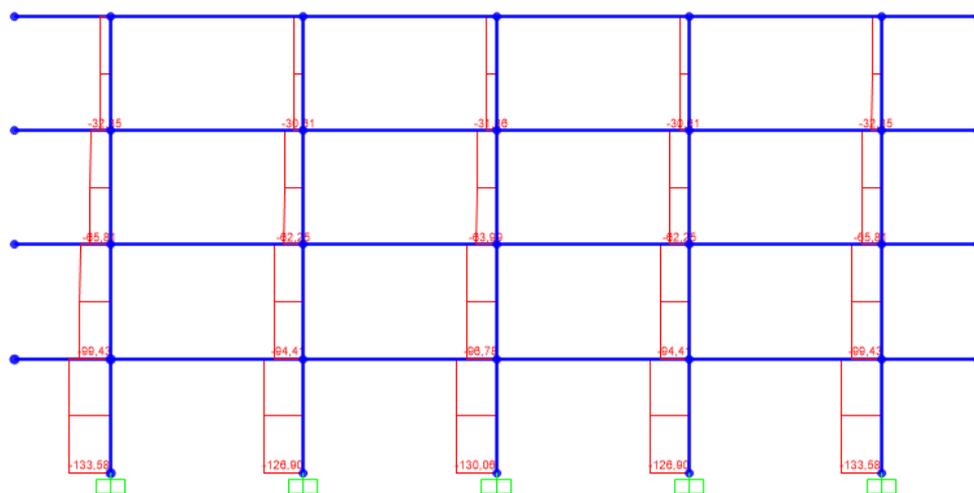
VENTO

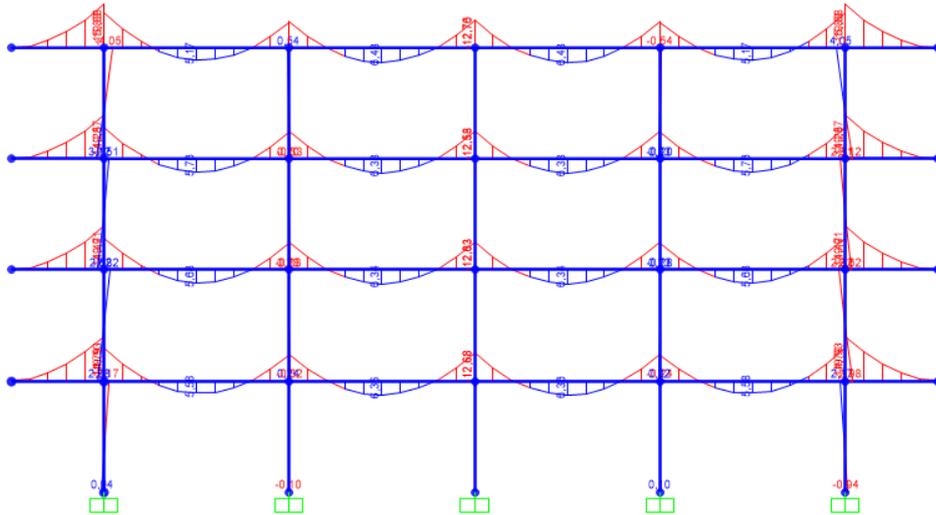


Diagrammi di Ventox



Ventoy





Esporto su excel le tabelle relative alle 4 combinazioni e le ordino dal più grande al più piccolo.

Prendo il valore massimo di sforzo normale (159,07 Kn nella combinazione del sisma asse y) e il corrispondente momento (0,99 kNm).

$$N_{max} = 159,07 \text{ kN} \quad M = 0,99 \text{ kNm}$$

Calcolo le tensioni σ_c e σ_f :

$$\sigma_c = N/A = 159070 \text{ N} / 72000 \text{ mm}^2 = 2,21 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_f = M/W = 990000 \text{ Nmm} / 2880000 \text{ mm}^3 = 0,34 \text{ N/mm}^2$$

e verifico il pilastro a pressoflessione accertandomi che la somma dei rapporti tra tensioni e resistenze caratteristiche sia minore di 1:

$$\sigma_c/f_{cd} + \sigma_f/f_{fd} < 1$$

$$f_{cd} = 11,59 \text{ MPa}$$

$$f_{fd} = 13,24 \text{ N/mm}^2$$

$$2,21/11,59 + 0,34/13,24 = 0,19 + 0,025 = 0,215 < 1 \quad \leftarrow \text{ Verificato.}$$

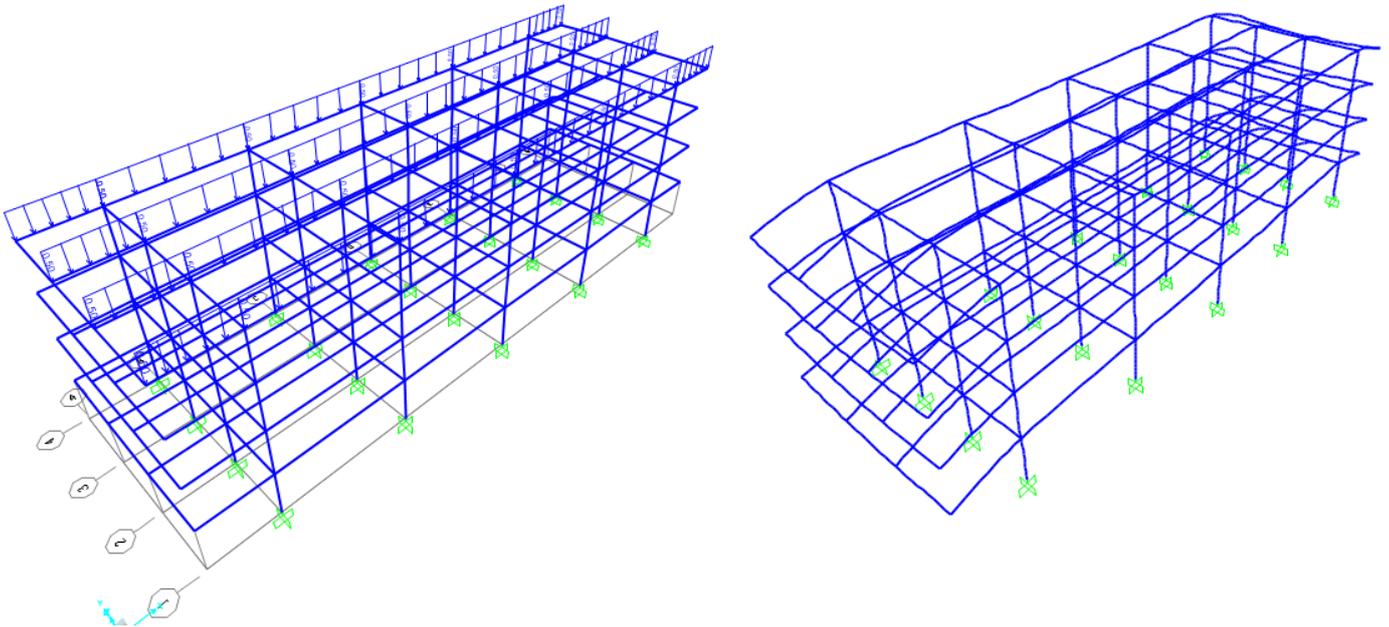
ACCIAIO

Sezioni del telaio in acciaio:

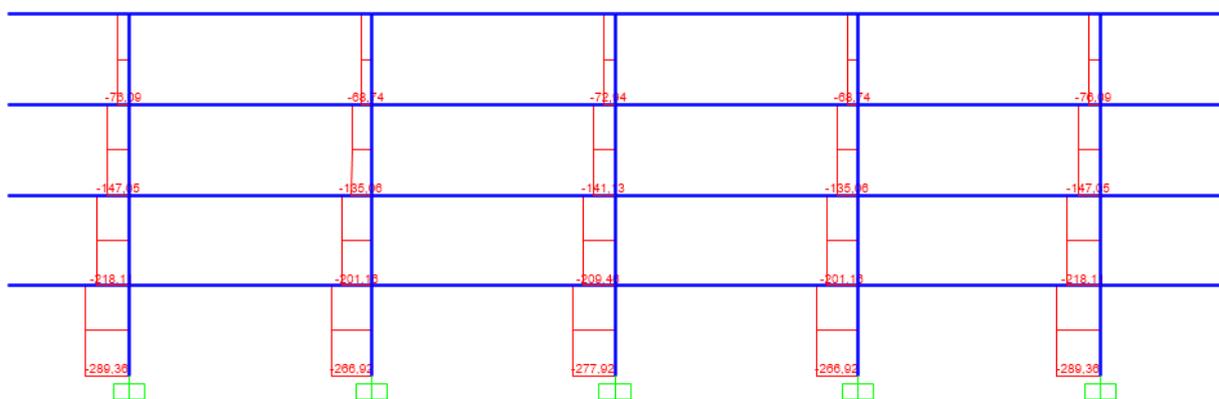
travi principali, secondarie e mensole = ipe400

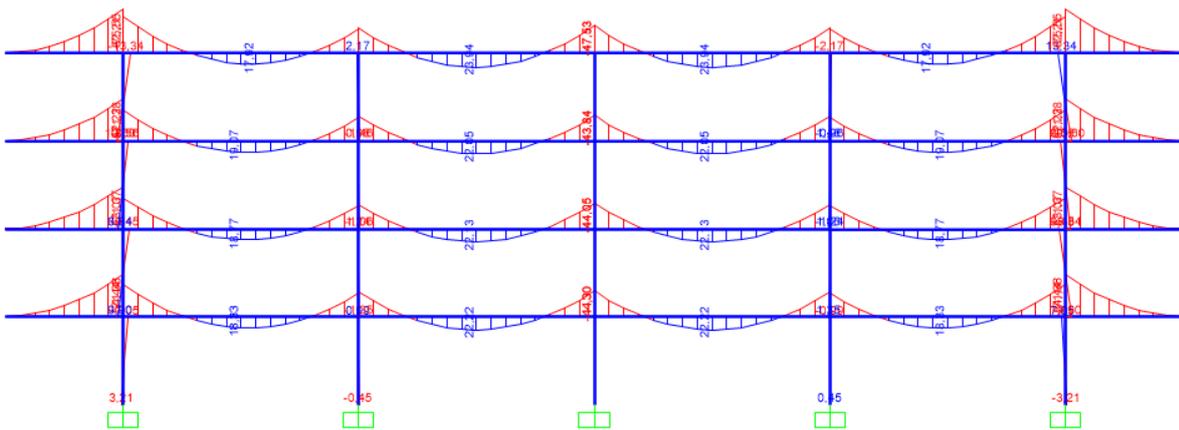
pilastri = hea220

Impostati i carichi verticali (Q_s, Q_p, Q_a) con i rispettivi coefficienti di sicurezza, più il carico della neve (0,5 kN/mq sul solaio di copertura), avvio l'analisi.



Diagrammi dello sforzo normale e del momento:





Esporto su excel le tabelle e le ordino in modo da trovare sforzo assiale e momento massimi a cui sono soggetti pilastro, trave e aggetto maggiormente sollecitati.

$N_{max} = 298,8 \text{ kN}$

N	f_{yk}	Y_m	f_{yd}	A_{min}	E	β	I	λ^*	ρ_{min}	I_{min}	A_{design}	I_{design}	ρ_{min}	λ	profilo
kN	Mpa		Mpa	cm ²	Mpa		m		cm	cm ⁴	cm ²	cm ⁴	cm		
298,8	275,00	1,05	261,90	11,4	210000	2,00	3,00	88,96	6,74	519	45,3	925	7,45	80,54	HEA180

Lo sforzo assiale del primo dimensionamento (calcolato assumendo il pilastro come pilastrata) era 1008 kN; si può pensare a un ridimensionamento a una sezione HEA180 (invece che HEA220).

Per quanto riguarda le travi il momento max è 63,56 kNm, contro 241,66 kNm del predimensionamento (calcolato come una trave doppiamente appoggiata $ql^2/8$).

interasse (m)	q_s (KN/m ²)	q_p (KN/m ²)	q_s (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)	
4,00	2,14	1,18	2,00	30,21	8,00	241,66	275,00	261,90	922,72	1156,00	ipe400
				0,00		0,00					
				0,00		0,00					
interasse (m)	q_s (KN/m ²)	q_p (KN/m ²)	q_s (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)	
4,00	2,14	1,18	2,00	30,21	8,00	63,56	275,00	261,90	242,68	252,00	ipe220

La sezione della trave può essere notevolmente ridotta: IPE220 (invece che IPE400).

Mentre l'aggetto nonostante abbia un momento inferiore a quello del primo dimensionamento ($M_{max} = 78,11 \text{ kNm}$) per questioni di natura normativa legate all'abbassamento massimo ($l/v_{max} > 250$) non è possibile ridurre la sezione che rimane un' IPE400.

M_{max} (kN*m)	$f_{y,k}$ (N/mm ²)	f_d (N/mm ²)	$W_{x,min}$ (cm ³)	I_x (cm ⁴)	peso (kN/m)	q_e (kN/m)	E (N/mm ²)	v_{max} (cm)	l/v_{max}	
241,664	275	261,90	922,72	23130	0,663	17,943	210000	1,182	338,384	Si
M_{max} (kN*m)	$f_{y,k}$ (N/mm ²)	f_d (N/mm ²)	$W_{x,min}$ (cm ³)	I_x (cm ⁴)	peso (kN/m)	q_e (kN/m)	E (N/mm ²)	v_{max} (cm)	l/v_{max}	
78,11	275	261,90	298,24	23130	0,663	17,943	210000	1,182	338,384	Si

FORZE ORIZZONTALI.

SISMA

Applico alla struttura, nel centro di massa, la forza sismica in ambo le direzioni ortogonali.

Calcolo forza sismica:

$$F_s = c * w$$

$$C = 0,3$$

$$W = P + 20\% N + 30\% Q$$

$$P = (p_s + p_p) * A = (2,14 + 1,18) \text{ kNm/m} * (40 * 12) \text{ m}^2 = 1593,6 \text{ kN}$$

$$N = 0,5 \text{ kN/m} * 480 \text{ m}^2 = 240 \rightarrow 20\% * 240 = 48 \text{ kN}$$

$$Q = 2 \text{ kN/m} * 480 \text{ m}^2 = 960 \text{ kN} \rightarrow 30\% * 960 = 288 \text{ kN}$$

$$W = 1593,6 + 48 + 288 = 1929,6 \text{ kN}$$

$$F_s = 0,3 * 1929,6 \text{ kN} = 578,88 \text{ kN}$$

Calcolo della forza da applicare ad ogni piano:

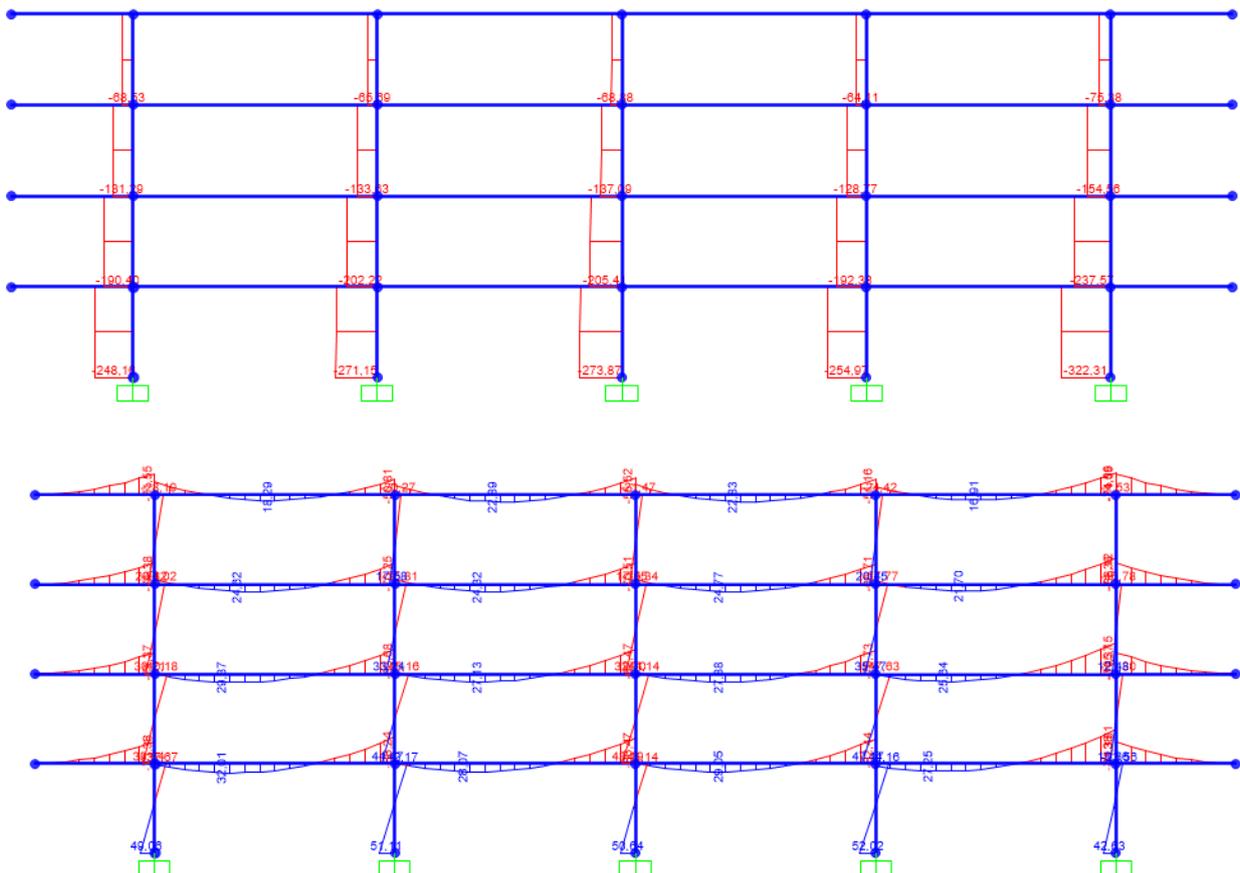
$$F_1 = F_s / 10 = 57,89 \text{ kN}$$

$$F_2 = 115,78 \text{ kN}$$

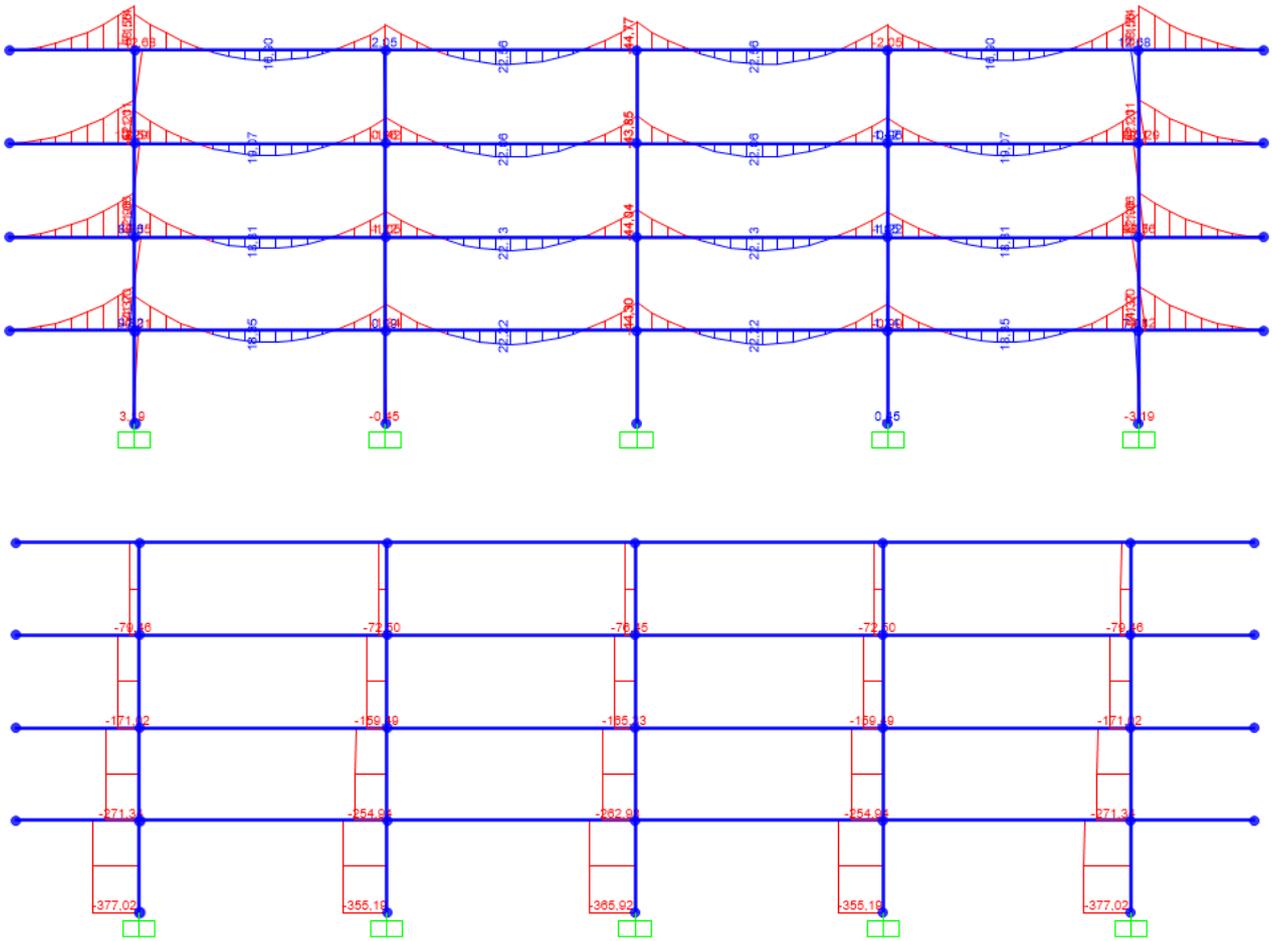
$$F_3 = 173,66 \text{ kN}$$

$$F_4 = 231,55 \text{ kN}$$

Sismax

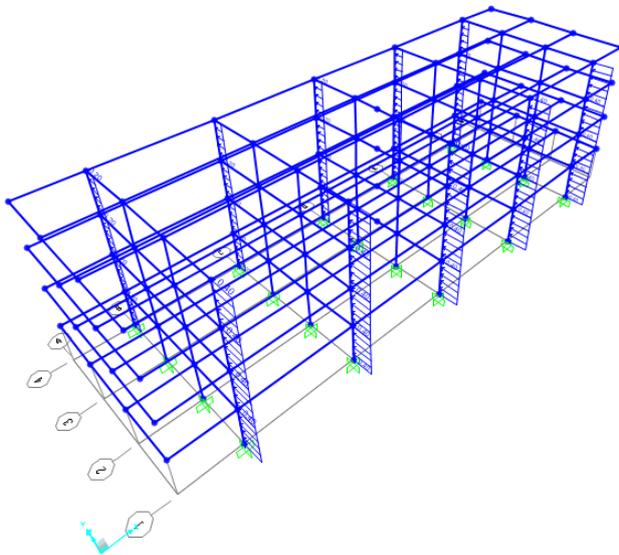


Sismay

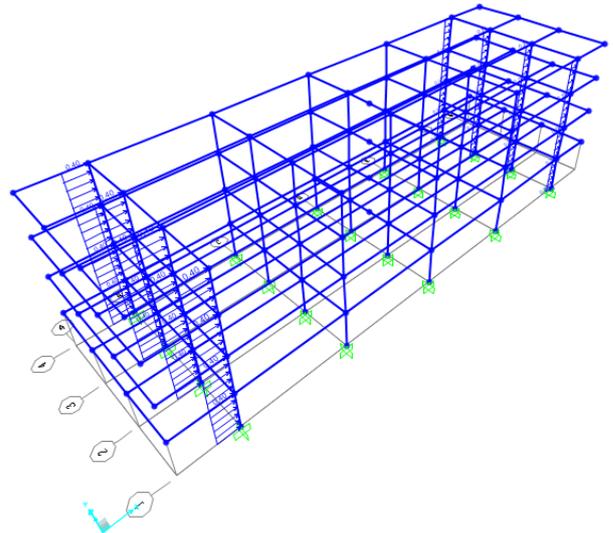


VENTO

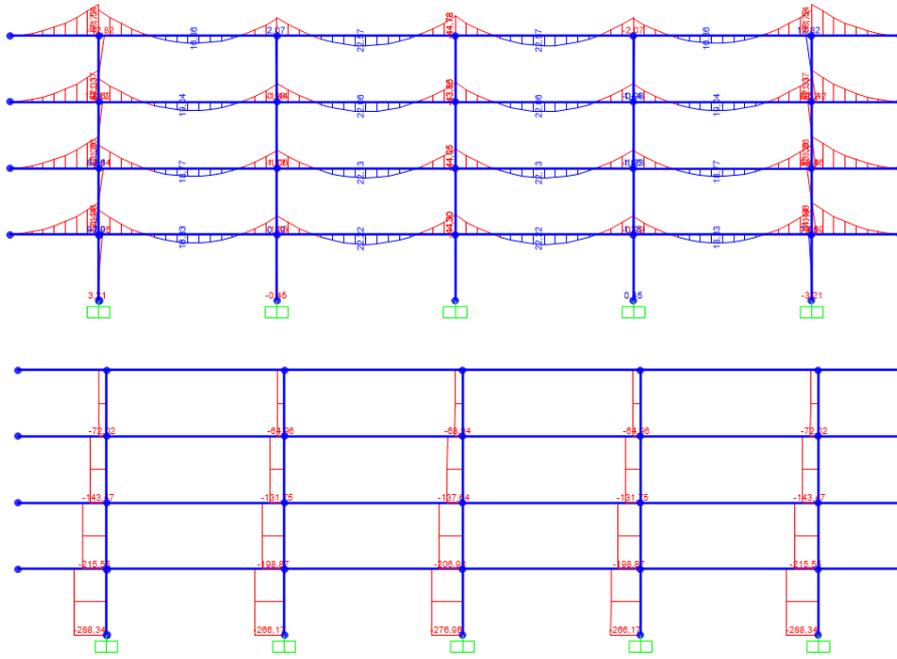
Ventoy



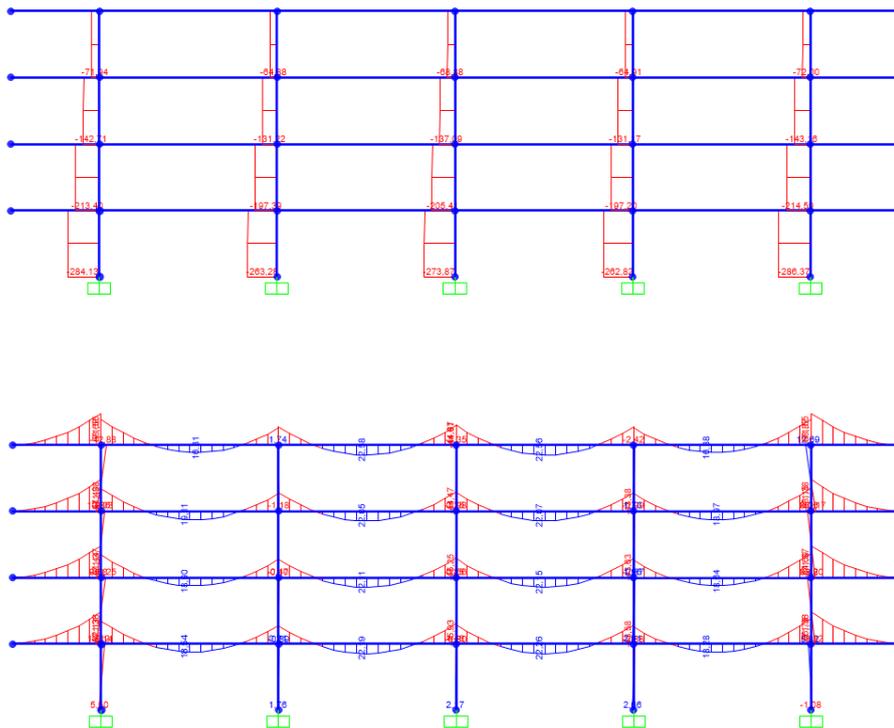
Ventox



Ventoy



Vento x



Impostate le 4 combinazioni dei carichi orizzontali:

$$SLU+SISMAX = Q_s*1,3+Q_p*1,5+Q_a*1,5+f_{1x}+f_{2x}+f_{3x}+f_{4x}$$

$$SLU+SISMAY = Q_s*1,3+Q_p*1,5+Q_a*1,5+f_{1y}+f_{2y}+f_{3y}+f_{4y}$$

$$SLU+VENTOX = Q_s*1,3+Q_p*1,5+Q_a*1,5+ventox$$

$$SLU+VENTOY = Q_s*1,3+Q_p*1,5+Q_a*1,5+ventoy$$

Importo su excel le tabelle relative all'analisi di ogni combo.

Ordino le tabelle in base allo sforzo normale per trovare il pilastro maggiormente sollecitato.

$N_{max} = 377,02$ kN per la combinazione SLU+SISMAY

Per verificare il pilastro a pressoflessione calcolo:

$$\sigma = N/A \pm M/W$$

e verifico sia inferiore alla resistenza di progetto del materiale.

$$N=377,02 \text{ kN}$$

$$A=63,3 \text{ cm}^2 = 6330 \text{ mm}^2$$

$$M=3,19 \text{ kNm} = 3190 \text{ kNmm}$$

$$W=515,2 \text{ cm}^3 = 515200 \text{ mm}^3$$

$$\sigma = 377,02 \text{ kN} / 6330 \text{ mm}^2 + 3190 \text{ kNmm} / 515200 \text{ mm}^3 = 0,059 \text{ kN/mm}^2 + 0,0062 \text{ kN/mm}^2 =$$

$$\sigma = 0,0652 \text{ kN/mm}^2 = 65,2 \text{ N/mm}^2$$

$$f_{yk} = 275 \text{ MPa}$$

$$1 \text{ MPa} = 1 \text{ n/mm}^2$$

$$\sigma = 65,2 \text{ MPa} < 275 \text{ MPa} \quad \leftarrow \text{ verificato.}$$