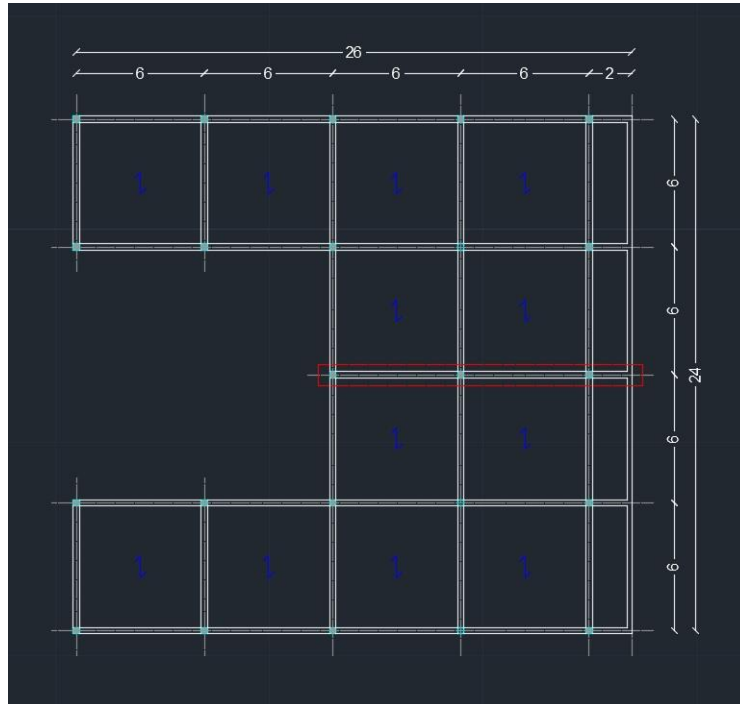


## Esercitazione 2.2

### VERIFICA DIMENSIONAMENTO del TELAIO in C.A., ACCIAIO, LEGNO.

#### VERIFICA TELAIO in CLS ARMATO



Terminata la fase di progetto (esercitazione precedente), si passa alla fase di verifica. Andremo adesso ad aggiungere il peso proprio della trave alla somma dei carichi portati dalla trave stessa, calcoleremo il momento massimo e verificheremo se la sezione scelta sarà adatta anche a queste nuove caratteristiche di carico.

Peso unitario = 3,75 KN/m viene moltiplicato per  $\gamma_{G1} = 1,3$  ed il nuovo carico diventerà:

$$q'_u = q_u + (3,75 \text{ KN/m} \times 1,3) = 64,43 \text{ KN/m} + 4,875 \text{ KN/m} = \mathbf{69,31 \text{ KN/m}}$$

Sostituendo questo nuovo valore per i calcoli successivi, verrà che:

$$M'_{\max} = [69,31 \text{ KN/m} \times (6 \text{ m})^2]/8 = \mathbf{311,89 \text{ KNm}}$$

$$h'_u = \mathbf{36,50 \text{ cm}}$$

$$h_{\min} = (46,50 + 5) \text{ cm} = \mathbf{41,50 \text{ cm}} \quad \text{Quindi: } \mathbf{H = 50 \text{ cm}}$$

La sezione scelta è **verificata** in quanto  $H' < H$

1	interasse (m)	$q_s$ (KN/m <sup>2</sup> )	$q_p$ (KN/m <sup>2</sup> )	$q_a$ (KN/m <sup>2</sup> )	$q_u$ (KN/m)	luce (m)	$M_{\max}$ (KN*m)	$f_{yk}$ (N/mm <sup>2</sup> )	$f_{yd}$ (N/mm <sup>2</sup> )	$f_{ck}$ (N/mm <sup>2</sup> )	$f_{cd}$ (N/mm <sup>2</sup> )	$\beta$	r
2													
3	6,00	3,23	2,36	2,00	64,43	6,00	289,95	450,00	391,30	60,00	34,00	0,57	2,09
4					69,31	6,00	311,89	450,00	391,30	60,00	34,00	0,57	2,09

b (cm)	$h_u$ (cm)	$\delta$ (cm)	$H_{\min}$ (cm)	H	H/l	area (m <sup>2</sup> )	peso unitario (KN/m)
30,00	35,19	5,00	40,19	50,00	0,07	0,15	3,75
30,00	36,50	5,00	41,50	verificata			

## INSERIMENTO della STRUTTURA in SAP

Quick Grid Lines

Cartesian | Cylindrical

Coordinate System Name  
GLOBAL

Number of Grid Lines

X direction: 6  
Y direction: 5  
Z direction: 2

Grid Spacing

X direction: 6.  
Y direction: 6.  
Z direction: 3

First Grid Line Location

X direction: 0.  
Y direction: 0.  
Z direction: 0.

OK Cancel

Inserimento dei valori per la realizzazione della griglia di costruzione.

Define Grid System Data

Edit Format

System Name: GLOBAL Units: KN, m, C

Grid Lines: Quick Start...

X Grid Data

	Grid ID	Ordinate	Line Type	Visibility	Bubble Loc.	Grid Color
1	A	0.	Primary	Show	End	
2	B	6.	Primary	Show	End	
3	C	12.	Primary	Show	End	
4	D	18.	Primary	Show	End	
5	E	24.	Primary	Show	End	
6	F	24.	Primary	Show	End	
7						
8						

Y Grid Data

	Grid ID	Ordinate	Line Type	Visibility	Bubble Loc.	Grid Color
1	1	0.	Primary	Show	Start	
2	2	6.	Primary	Show	Start	
3	3	12.	Primary	Show	Start	
4	4	18.	Primary	Show	Start	
5	5	24.	Primary	Show	Start	
6						
7						
8						

Z Grid Data

	Grid ID	Ordinate	Line Type	Visibility	Bubble Loc.	Grid Color
1	Z1	0.	Primary	Show	End	
2	Z2	3.	Primary	Show	End	
3						
4						
5						
6						
7						
8						

Display Grids as:  
 Ordinates  Spacing

Hide All Grid Lines  
 Glue to Grid Lines

Bubble Size: 1,25

Reset to Default Color  
Reorder Ordinates

OK Cancel

Modica del valore dell'ultima campata (Mensola).

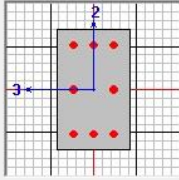
**Rectangular Section**

**Section Name**

Section Notes

Properties  Property Modifiers  Material

Dimensions  
 Depth (t3)   
 Width (t2)



Display Color

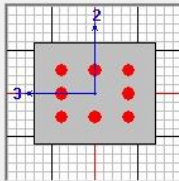
**Rectangular Section**

**Section Name**

Section Notes

Properties  Property Modifiers  Material

Dimensions  
 Depth (t3)   
 Width (t2)



Display Color

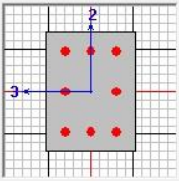
**Rectangular Section**

**Section Name**

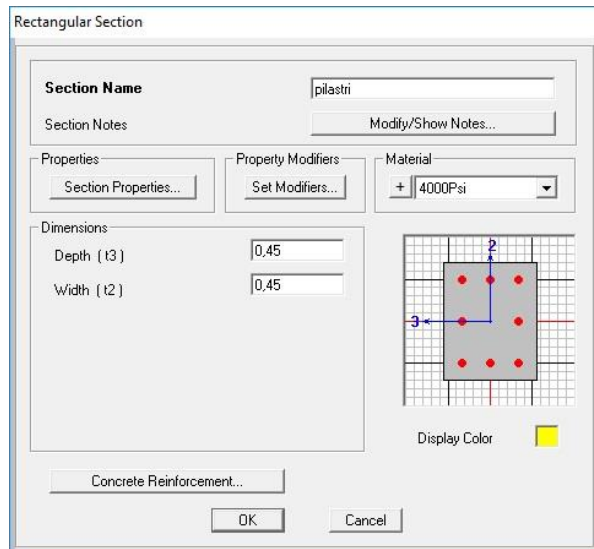
Section Notes

Properties  Property Modifiers  Material

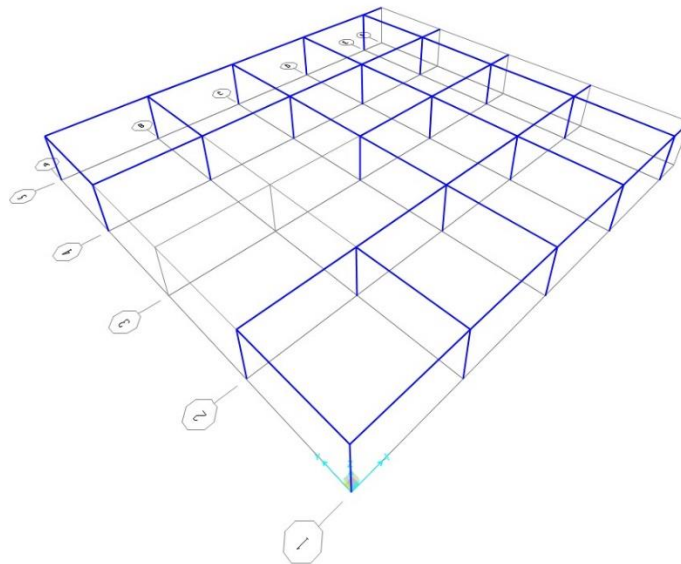
Dimensions  
 Depth (t3)   
 Width (t2)



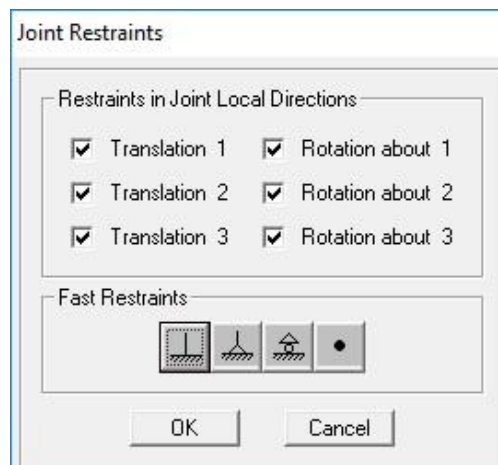
Display Color

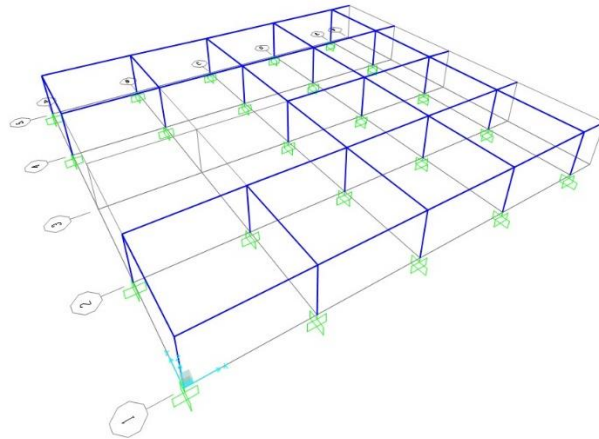


Definizione delle sezioni.



Costruzione del primo telaio.





Assegnazione degli incastri alla base dei pilastri.

Define Load Patterns

Load Pattern Name	Type	Self Weight Multiplier	Auto Lateral Load Pattern
qp	DEAD	0	
DEAD	DEAD	1	
qs	DEAD	0	
qa	DEAD	0	
qp	DEAD	0	

Click To:

- Add New Load Pattern
- Modify Load Pattern
- Modify Lateral Load Pattern...
- Delete Load Pattern
- Show Load Pattern Notes...

OK Cancel

Frame Distributed Loads

Load Pattern Name: + qs Units: KN, m, C

Load Type and Direction:  Forces  Moments  
 Coord Sys: GLOBAL Direction: Gravity

Options:  Add to Existing Loads  Replace Existing Loads  Delete Existing Loads

Trapezoidal Loads:

	1.	2.	3.	4.
Distance	0.	0,25	0,75	1.
Load	0.	0.	0.	0.

Relative Distance from End-I  Absolute Distance from End-I

Uniform Load: Load 19,38

OK Cancel

Frame Distributed Loads

Load Pattern Name: + qp Units: KN, m, C

Load Type and Direction:  Forces  Moments  
 Coord Sys: GLOBAL Direction: Gravity

Options:  Add to Existing Loads  Replace Existing Loads  Delete Existing Loads

Trapezoidal Loads:

	1.	2.	3.	4.
Distance	0.	0,25	0,75	1.
Load	0.	0.	0.	0.

Relative Distance from End-I  Absolute Distance from End-I

Uniform Load: Load 14,16

OK Cancel

**Frame Distributed Loads**

Load Pattern Name:  Units:

Load Type and Direction:  Forces  Moments  
 Coord Sys:   
 Direction:

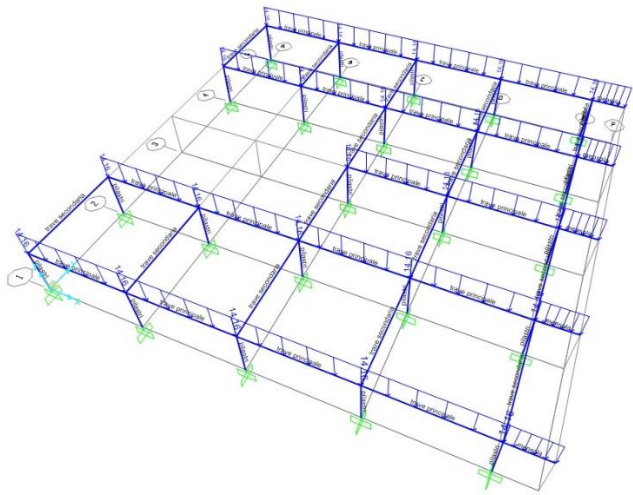
Options:  Add to Existing Loads  
 Replace Existing Loads  
 Delete Existing Loads

Trapezoidal Loads:

	1.	2.	3.	4.
Distance	<input type="text" value="0,"/>	<input type="text" value="0,25"/>	<input type="text" value="0,75"/>	<input type="text" value="1,"/>
Load	<input type="text" value="0,"/>	<input type="text" value="0,"/>	<input type="text" value="0,"/>	<input type="text" value="0,"/>

Relative Distance from End-I  Absolute Distance from End-I

Uniform Load:



Definizione e assegnazione dei carichi, facendo attenzione a moltiplicare ogni carico (Kn/m<sup>2</sup>) per l'interasse (m), per ottenere il peso a ml.

**Load Combination Data**

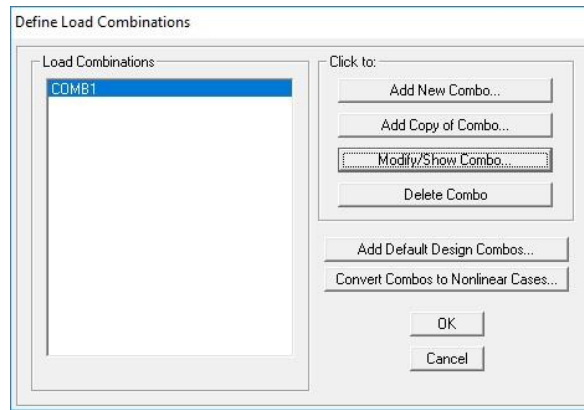
Load Combination Name (User-Generated):   
 Notes:

Load Combination Type:

Options:

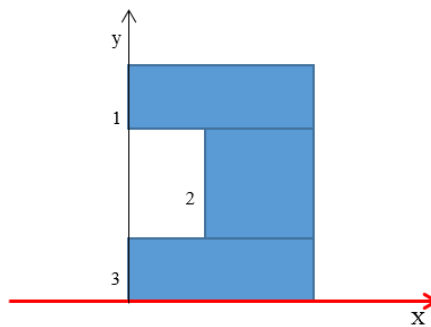
Define Combination of Load Case Results:

Load Case Name	Load Case Type	Scale Factor
DEAD	Linear Static	1,3
DEAD	Linear Static	1,3
qa	Linear Static	1,5
qs	Linear Static	1,3
qp	Linear Static	1,5



Assegnazione dei coefficienti di sicurezza e successiva combinazione dei carichi.

### Calcolo del Centro di Massa



Calcoliamo il centro di massa dell'impalcato sapendo che il suo peso al  $m^2$  risulta essere di  $323 \text{ kg/m}^2$ .

Dato che i valori delle aree delle tre porzioni di solaio sono:

$$A_1: 156,00 \text{ m}^2$$

$$A_2: 168,00 \text{ m}^2$$

$$A_3: 156,00 \text{ m}^2$$

E' possibile ricavare il valore delle masse associate ad ogni porzione di solaio:

$$m_1: 323 \text{ kg/m}^2 \times 156,00 \text{ m}^2 = 50.388,00 \text{ kg}$$

$$m_2: 323 \text{ kg/m}^2 \times 168,00 \text{ m}^2 = 54.264,00 \text{ kg}$$

$$m_3: 323 \text{ kg/m}^2 \times 156,00 \text{ m}^2 = 50.388,00 \text{ kg}$$

$$m_{\text{tot}} : \mathbf{155.040,00 \text{ kg}}$$

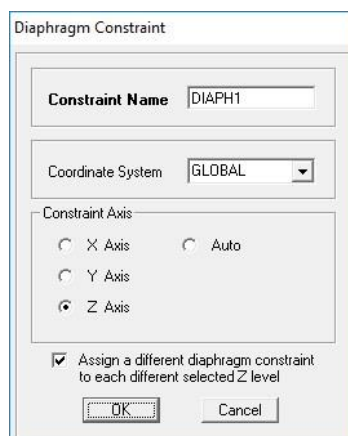
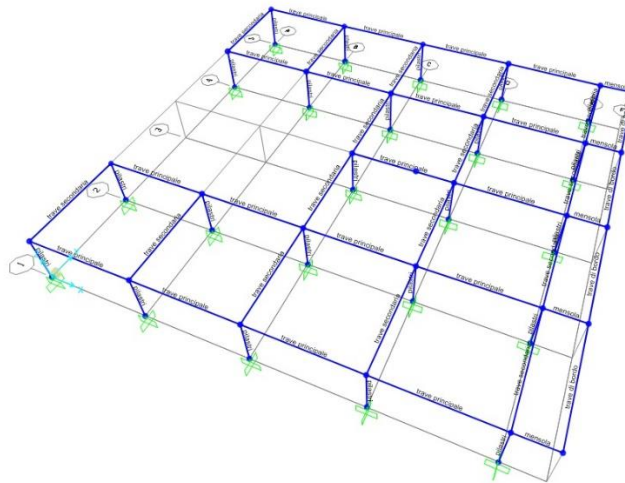
In pianta, le porzioni di solaio hanno la forma di tre rettangoli, di cui conosciamo il baricentro:

$$C_1: (13;21)$$

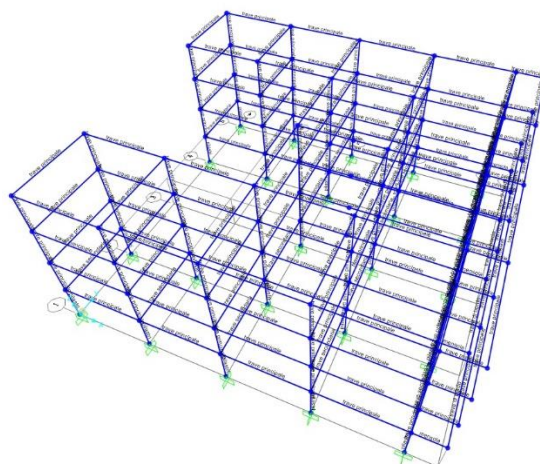
$$C_2: (21;12)$$

$$C_3: (13;3)$$

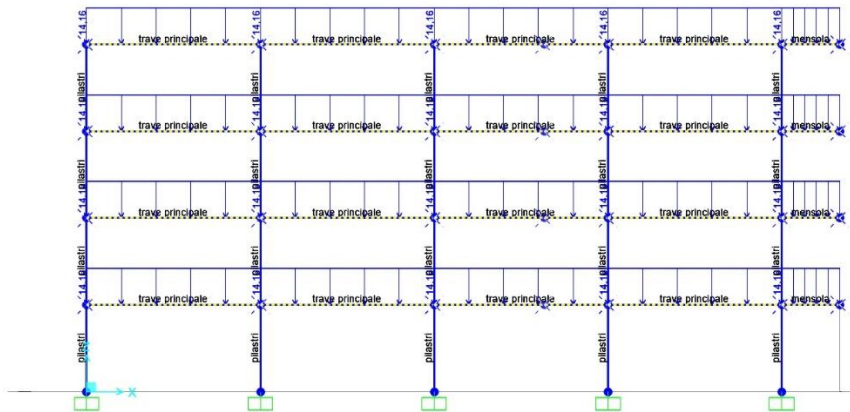
$$C_m = \begin{cases} x_c = \frac{(13 \times 50388) + (21 \times 54264) + (13 \times 50388)}{155040} \\ y_c = \frac{(21 \times 50388) + (12 \times 54264) + (3 \times 50388)}{155040} \end{cases} \quad C_m = \begin{cases} x_c = 15,80 \\ y_c = 12 \end{cases}$$



Inserimento del centro di massa e creazione del Diaphragm. In tal modo abbiamo affermato che l'impalcato è rigido.







Copia del primo impalcato per il numero dei piani ( $n^4$ ).

Set Load Cases to Run

Case Name	Type	Status	Action
DEAD	Linear Static	Not Run	Run
MODAL	Modal	Not Run	Do Not Run
qs	Linear Static	Not Run	Run
qa	Linear Static	Not Run	Run
qp	Linear Static	Not Run	Run

Click to:

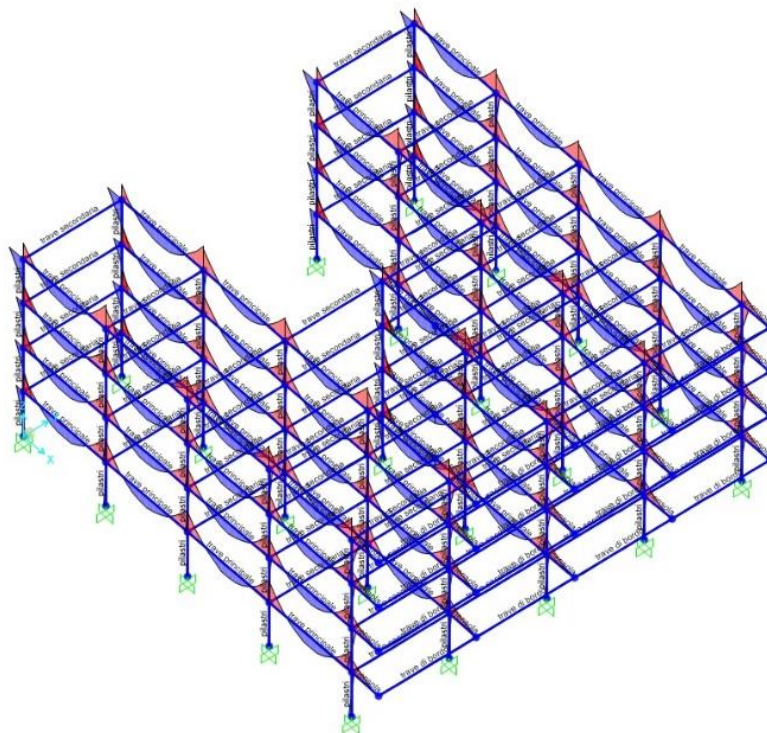
Run/Do Not Run Case  
 Show Case...  
 Delete Results for Case  
 Run/Do Not Run All  
 Delete All Results  
 Show Load Case Tree...

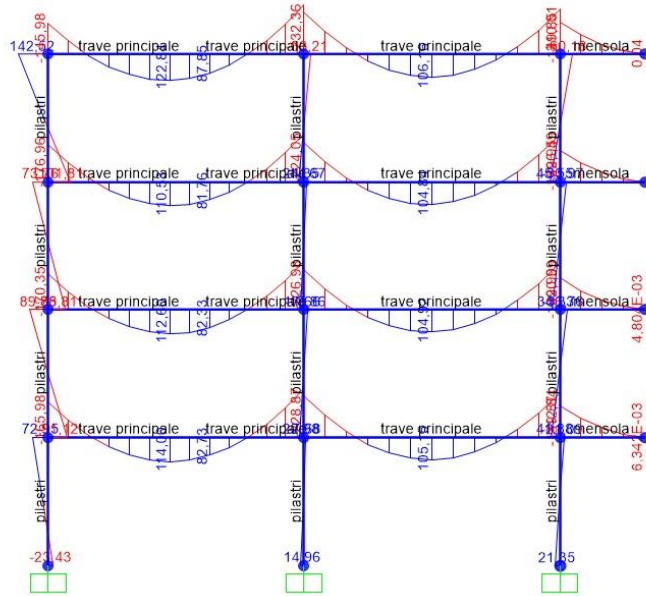
Analysis Monitor Options

Always Show  
 Never Show  
 Show After  seconds

Model-Alive  
 Run Now  
 OK Cancel

Avviamo l'analisi strutturale.





Una volta individuato su SAP il momento flettente massimo della trave maggiormente sollecitata, lo confrontiamo e verificiamo che sia minore del nostro  $M_{\max}$  pari a 311,89 kN x m, trovato nei nostri calcoli precedenti.

Successivamente abbiamo creato quattro combinazioni di carico a cui sottoporre il telaio maggiormente sollecitato.

$$\text{Comb1} = q_a + q_s + q_p + q_n + q_v$$

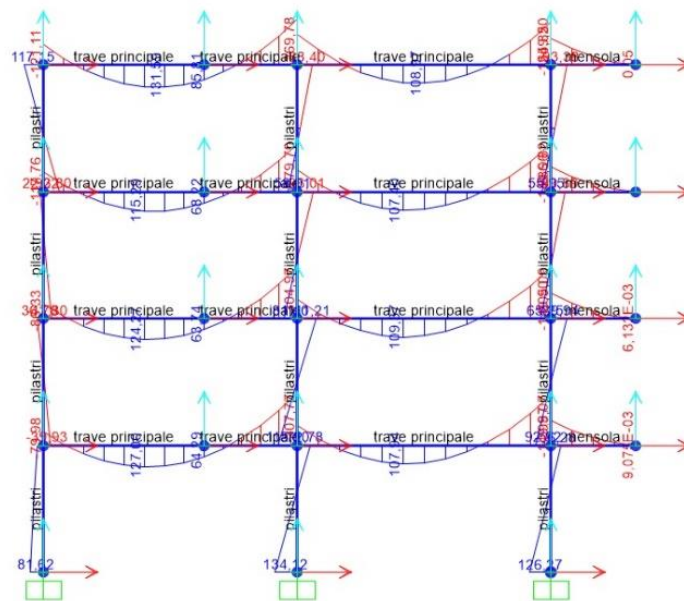
$$\text{Comb2} = q_a + q_s + q_p + q_n + q_v2$$

$$\text{Comb3} = q_a + q_s + q_p + q_n + f_x$$

$$\text{Comb4} = q_a + q_s + q_p + q_n + f_y$$

**Dai dati ricavati da Sap abbiamo riscontrato che la combinazione di carichi più gravosa per il nostro telaio risulta essere la comb3.**

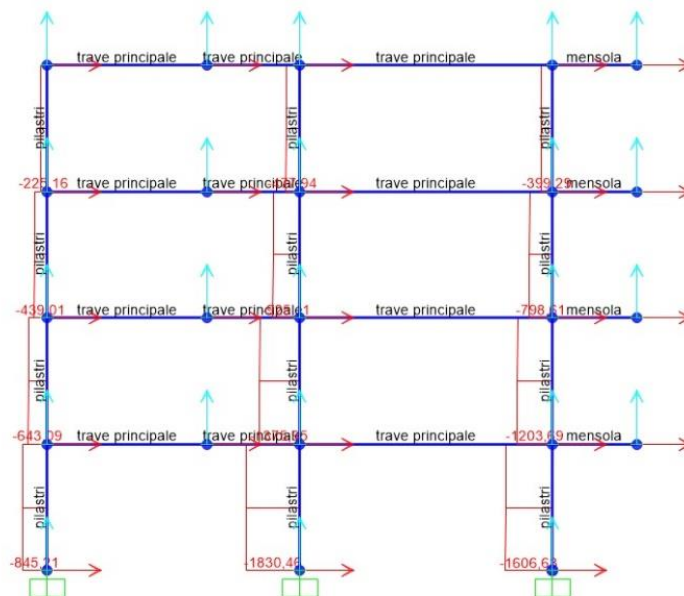
## VERIFICA TELAIO in C.A.



Momento max travi= 269,78 kNm

Momento max mensole= 155,84 kNm

Momento max pilastri= 134,13 kNm



Sforzo Normale max travi= 240,87 kN

Sforzo Normale max mensole= 139,46 kN

Sforzo Normale max pilastri= 1.830,46 kN

### Verifica Travi: VERIFICATO

Momento di progetto:

Mmax (KN*m)	f <sub>yk</sub> (N/mm <sup>2</sup> )	f <sub>yd</sub> (N/mm <sup>2</sup> )	f <sub>ck</sub> (N/mm <sup>2</sup> )	f <sub>cd</sub> (N/mm <sup>2</sup> )	β	r	b (cm)	h <sub>u</sub> (cm)	δ (cm)	H <sub>min</sub> (cm)	H
289,953	450	391,30435	60	34	0,565847	2,087143	30	35,18974	5	40,18974	50
311,89	450	391,30435	60	34	0,565847	2,087143	30	36,49664	5	41,49664	verificata

Momento derivato da SAP:

Mmax (KN*m)	f <sub>yk</sub> (N/mm <sup>2</sup> )	f <sub>yd</sub> (N/mm <sup>2</sup> )	f <sub>ck</sub> (N/mm <sup>2</sup> )	f <sub>cd</sub> (N/mm <sup>2</sup> )	β	r	b (cm)	h <sub>u</sub> (cm)	δ (cm)	H <sub>min</sub> (cm)	H
289,953	450	391,30435	60	34	0,565847	2,087143	30	35,18974	5	40,18974	50
269,78	450	391,30435	60	34	0,565847	2,087143	30	33,94354	5	38,94354	verificata

La trave risulta verificata in quanto, sostituendo il valore del momento di progetto con il valore del momento ricavato da Sap, abbiamo un'altezza minima di 38,94 cm, minore dell'altezza di design (50,00 cm).

### Verifica Mensole: VERIFICATO

Momento di progetto:

Mmax	f <sub>y</sub>	f <sub>d_f</sub>	f <sub>ck</sub>	f <sub>d_c</sub>	alfa	r	b	h <sub>u</sub>	delta	H <sub>min</sub>	H <sub>design</sub>
kN*m	N/mm <sup>2</sup>	N/mm <sup>2</sup>	N/mm <sup>2</sup>	N/mm <sup>2</sup>			cm	cm	cm	cm	cm
128,868	235	204,35	35	20,00	0,59	2,05	30	30,01	5	35,01	40

Momento derivato da SAP:

Mmax	f <sub>y</sub>	f <sub>d_f</sub>	f <sub>ck</sub>	f <sub>d_c</sub>	alfa	r	b	h <sub>u</sub>	delta	H <sub>min</sub>	H <sub>design</sub>
kN*m	N/mm <sup>2</sup>	N/mm <sup>2</sup>	N/mm <sup>2</sup>	N/mm <sup>2</sup>			cm	cm	cm	cm	cm
155,84	235	204,35	35	20,00	0,59	2,05	30	33,00	5	38,00	40

La mensola risulta verificata in quanto, sostituendo il valore del momento di progetto con il valore del momento ricavato da Sap, abbiamo un'altezza minima di 38,00 cm, minore dell'altezza di design (40,00 cm).

### Verifica Pilastri (pressoflessione):

$$e = M_{max} / N_{max} = 134,13 \text{ kNm} / 1.830,46 \text{ kN} = 0,073 \text{ m}$$

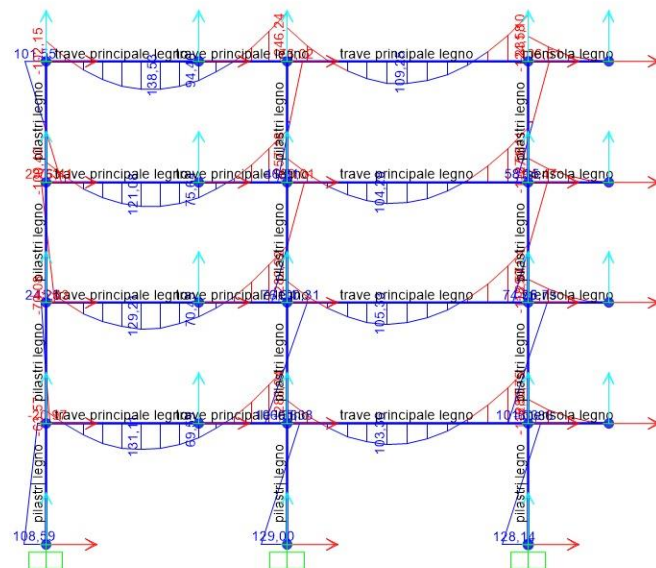
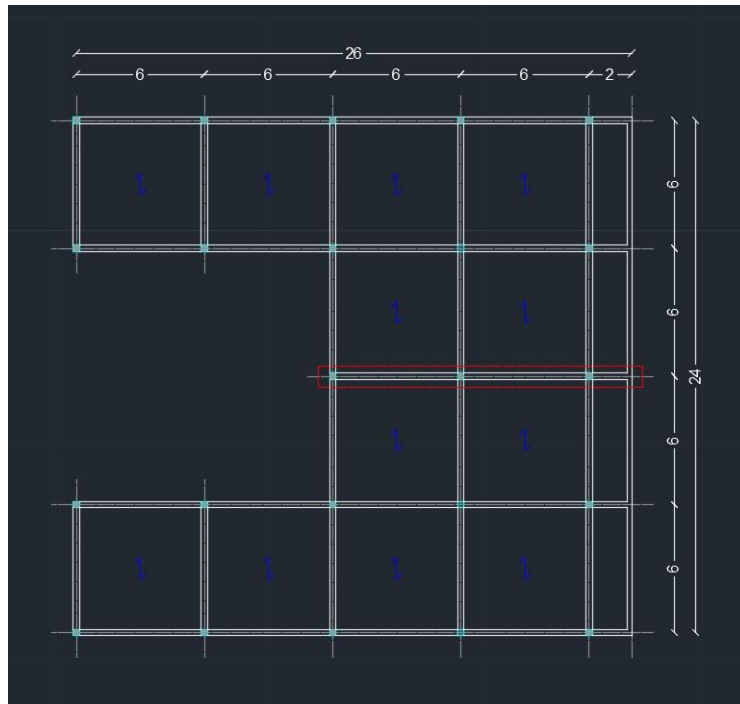
$$H / 6 = 0,45 \text{ m} / 6 = 0,075$$

$$1^\circ \text{ caso (piccola eccentricità)} \rightarrow e = M_{max} / N_{max} \leq H / 6 = 0,073 \leq 0,075$$

$$\sigma_{max} = (N / A) + (M / W) = (1.830,46 \text{ kN} / 0,20 \text{ m}^2) + (134,13 \text{ kNm} / 0,0151875 \text{ m}^3) = 17.983,90 \text{ kN/m}^2$$

$$17,98 \text{ MPa} < f_{cd} (28,30 \text{ MPa})$$

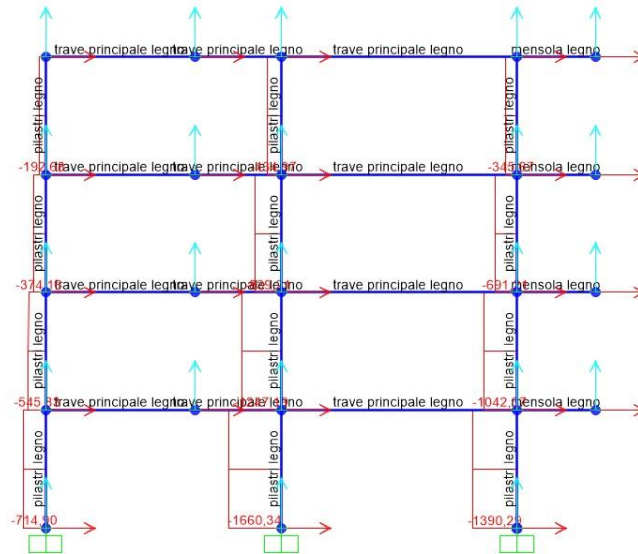
## VERIFICA TELAIO in LEGNO



Momento max travi= 246,24 kNm

Momento max mensole= 124,58 kNm

Momento max pilastri= 128,99 kNm



Sforzo Normale max travi= 230,61 kN

Sforzo Normale max mensole= 120,95 kN

Sforzo Normale max pilatri= 1.660,34 kN

### Verifica Travi: VERIFICATO

Momento di progetto:

$M_{max}$ (KN*m)	$f_{m,k}$ (N/mm <sup>2</sup> )	$k_{mod}$	$\gamma_m$	$f_d$ (N/mm <sup>2</sup> )	b (cm)	$h_{min}$ (cm)	H (cm)
410,26	27,00	0,80	1,45	14,90	35,00	68,71	70,00

Momento derivato da SAP:

$M_{max}$ (KN*m)	$f_{m,k}$ (N/mm <sup>2</sup> )	$k_{mod}$	$\gamma_m$	$f_d$ (N/mm <sup>2</sup> )	b (cm)	$h_{min}$ (cm)	H (cm)
246,24	27,00	0,80	1,45	14,90	35,00	53,23	70,00

La trave risulta verificata in quanto, sostituendo il valore del momento di progetto con il valore del momento ricavato da Sap, abbiamo un'altezza minima di 53,23 cm, minore dell'altezza di design (70,00 cm).

### Verifica Mensola: VERIFICATO

Momento di progetto:

M	f <sub>m,k</sub>	F <sub>d</sub>	b	h <sub>min</sub>	h <sub>d</sub>	E	I <sub>x</sub>	v <sub>max</sub>	I/v <sub>max</sub>
kN*m	N/mm <sup>2</sup>	N/mm <sup>2</sup>	cm	cm	cm	N/mm <sup>2</sup>	cm <sup>4</sup>	cm	
94,5	27	14,90	35	32,98	40	7700	186667	0,66	304,20

Momento derivato da SAP:

M	f <sub>m,k</sub>	F <sub>d</sub>	b	h <sub>min</sub>	h <sub>d</sub>	E	I <sub>x</sub>	v <sub>max</sub>	I/v <sub>max</sub>
kN*m	N/mm <sup>2</sup>	N/mm <sup>2</sup>	cm	cm	cm	N/mm <sup>2</sup>	cm <sup>4</sup>	cm	
124,58	27	14,90	35	37,86	40	7700	186667	0,66	304,20

La mensola risulta verificata in quanto, sostituendo il valore del momento di progetto con il valore del momento ricavato da Sap, abbiamo un'altezza minima di 37,86 cm, minore dell'altezza di design (40,00 cm).

### Verifica Pilastri (pressoflessione): VERIFICATO

**Tensione a compressione** →  $f_{c0d} = (f_{c0k} / \gamma_m) \times k_{mod} = (22 / 1,50) \times 0,80 = 11,73 \text{ N/mm}^2$

**Tensione a flessione** →  $f_{fd} = (f_{mk} / \gamma_m) \times k_{mod} = (27 / 1,50) \times 0,80 = 14,40 \text{ N/mm}^2$

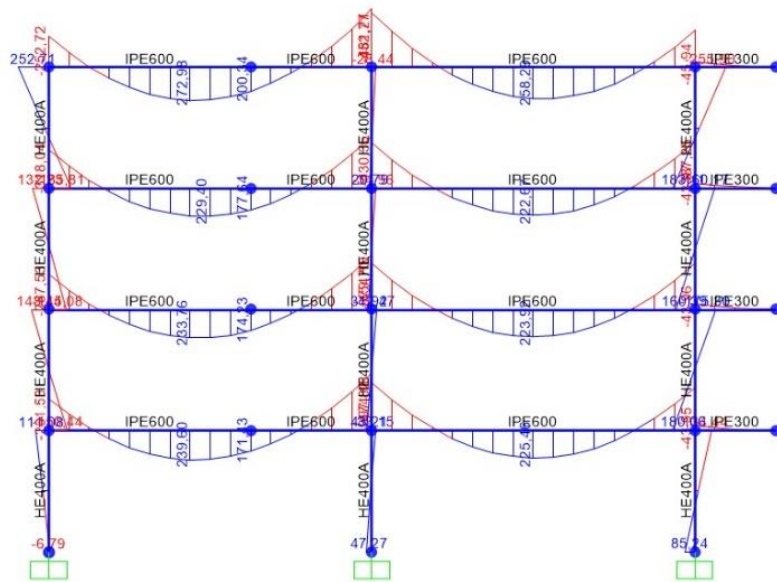
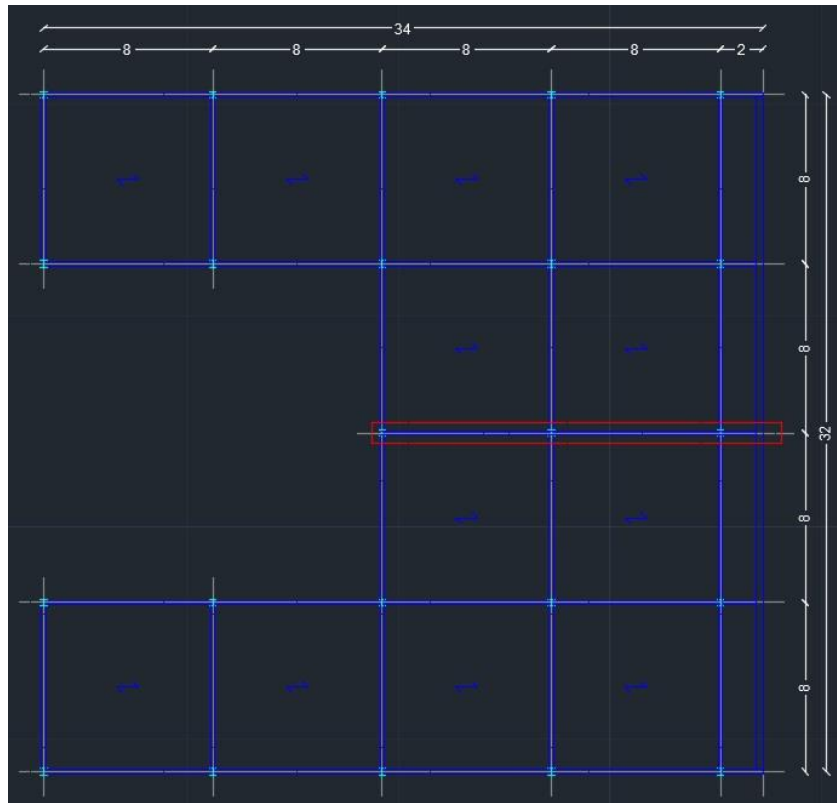
Dalla compressione ricaviamo  $\sigma_c = N / A$

Dalla flessione ricaviamo  $\sigma_f = M / W$

**Verifica:  $\sigma_c / f_{c0d} + \sigma_f / f_{fd} \leq 1$  →**

$$(6,77 \text{ N/mm}^2 / 11,73 \text{ N/mm}^2) + (5,26 \text{ N/mm}^2 / 14,40 \text{ N/mm}^2) = 0,57 \text{ N/mm}^2 + 0,36 \text{ N/mm}^2 = \mathbf{0,93 \text{ N/mm}^2 < 1}$$

## VERIFICA TELAIO in ACCIAIO

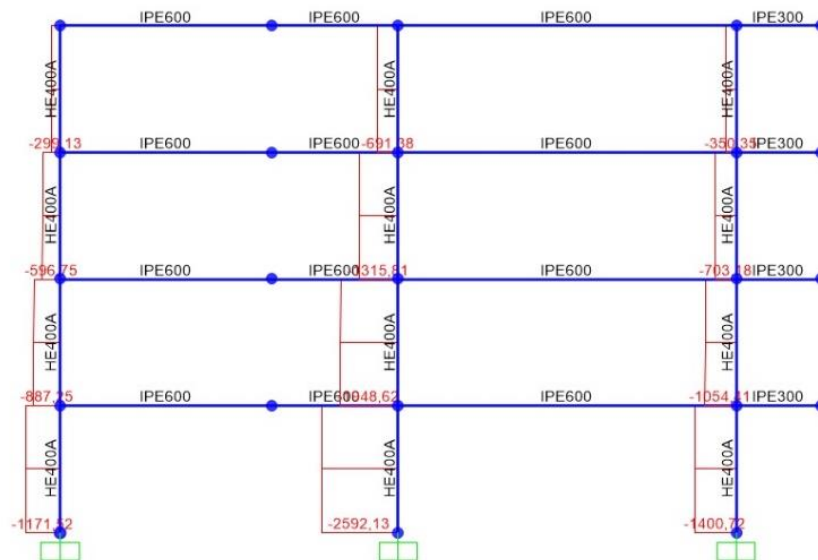


Momento max travi= 481,20 kNm

Momento max mensole= 45,94 kNm

Momento max pilastri= 47,27 kNm





Sforzo Normale max travi= 346,357 kN  
 Sforzo Normale max mensole= 42,98 kN  
 Sforzo Normale max pilatri= 2.592,12 kN

**Verifica Travi: VERIFICATO**

Momento di progetto:

interasse (m)	q <sub>s</sub> (KN/m <sup>2</sup> )	q <sub>p</sub> (KN/m <sup>2</sup> )	q <sub>a</sub> (KN/m <sup>2</sup> )	q <sub>u</sub> (KN/m)	luce (m)	M <sub>max</sub> (KN*m)	f <sub>y,k</sub> (N/mm <sup>2</sup> )	f <sub>d</sub> (N/mm <sup>2</sup> )	W <sub>x,min</sub> (cm <sup>3</sup> )	W <sub>x</sub> (cm <sup>3</sup> )
8,00	1,97	2,45	2,00	73,89	8,00	591,10	235,00	223,81	2641,10	3069,00

Momento derivato da SAP:

interasse (m)	q <sub>s</sub> (KN/m <sup>2</sup> )	q <sub>p</sub> (KN/m <sup>2</sup> )	q <sub>a</sub> (KN/m <sup>2</sup> )	q <sub>u</sub> (KN/m)	luce (m)	M <sub>max</sub> (KN*m)	f <sub>y,k</sub> (N/mm <sup>2</sup> )	f <sub>d</sub> (N/mm <sup>2</sup> )	W <sub>x,min</sub> (cm <sup>3</sup> )	W <sub>x</sub> (cm <sup>3</sup> )
8,00	1,97	2,45	2,00	73,89	8,00	481,20	235,00	223,81	2150,04	3069,00

La trave in acciaio risulta verificata in quanto, sostituendo il valore del momento di progetto con il valore del momento ricavato da Sap, abbiamo un valore del modulo di resistenza a flessione W<sub>x,min</sub> pari a 2.150,04 cm<sup>3</sup>, è minore di W<sub>x</sub> di progetto pari a 3.069,00 cm<sup>3</sup>.

### Verifica Mensole: VERIFICATO

Momento di progetto:

interax	qs	qp	qa	q	luce	M	fy,k	f <sub>d</sub>	Wx	lx	peso	q	E	vmax	l/vmax	
m	kN/mq	kN/mq	kN/mq	kN/m	m	kN*m	N/mmq	N/mmq	cm <sup>3</sup>	cm <sup>4</sup>	kN/m	kN/m	N/mmq	cm		
8	1,97	2,45	2,00	51,36	2	102,72	235	204,35	502,67	8356	0,422	51,782	210000	0,5902	338,87	Si

Momento derivato da SAP:

interax	qs	qp	qa	q	luce	M	fy,k	f <sub>d</sub>	Wx	lx	peso	q	E	vmax	l/vmax	
m	kN/mq	kN/mq	kN/mq	kN/m	m	kN*m	N/mmq	N/mmq	cm <sup>3</sup>	cm <sup>4</sup>	kN/m	kN/m	N/mmq	cm		
8	1,97	2,45	2,00	51,36	2	45,94	235	204,35	224,81	8356	0,422	51,782	210000	0,5902	338,87	Si

La mensola in acciaio risulta verificata in quanto, sostituendo il valore del momento di progetto con il valore del momento ricavato da Sap, abbiamo un valore del modulo di resistenza a flessione  $W_{x_{min}}$  pari a 224,81 cm<sup>3</sup>, è minore di  $W_x$  di progetto pari a 338,87 cm<sup>3</sup>.

### Verifica Pilastri (pressoflessione): VERIFICATO

$$\sigma_{max} = (N / A) + (M / W) \leq f_d \rightarrow (2.592,12 \text{ kN} / 0,0159 \text{ m}^2) + (47,27 \text{ kNm} / 0,002311 \text{ m}^3) = 163.026 \text{ kN/m}^2 + 20.454,34 \text{ kN/m}^2 = \mathbf{183.480,75 \text{ kN/m}^2} \rightarrow \mathbf{183,48 \text{ MPa}}$$

$$\mathbf{183,48 \text{ MPa} < f_{cd} (223,81 \text{ MPa})}$$