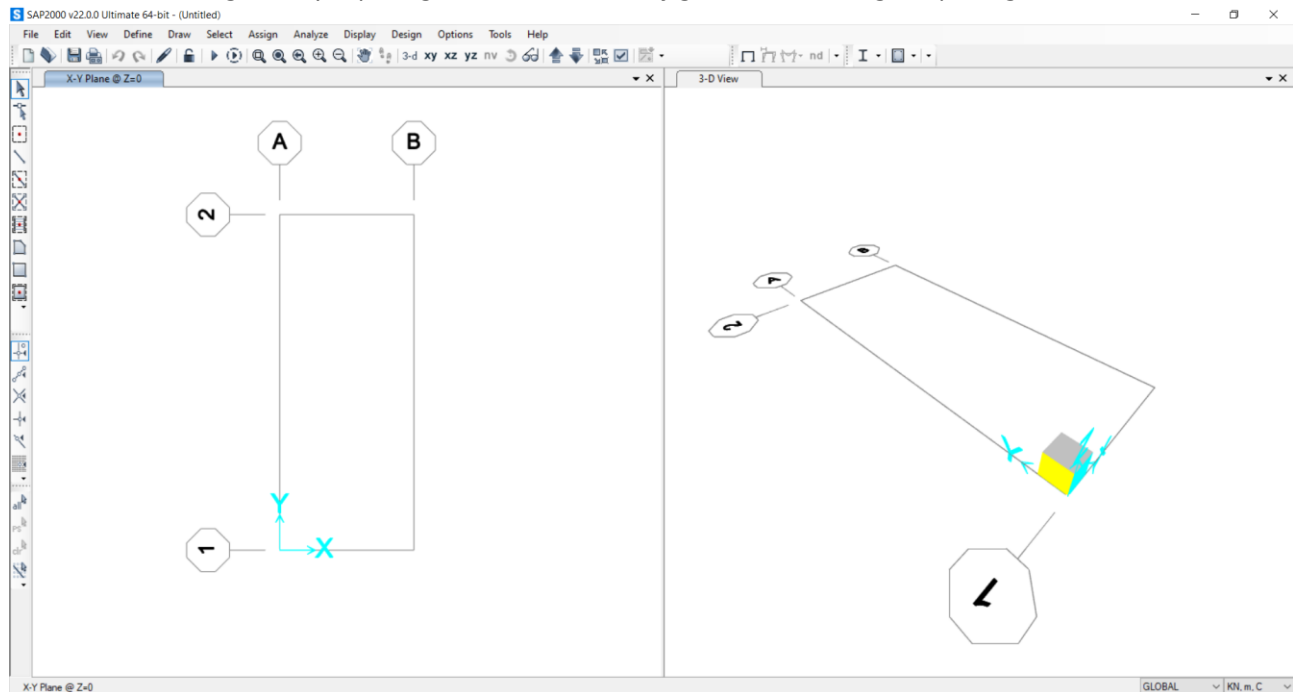


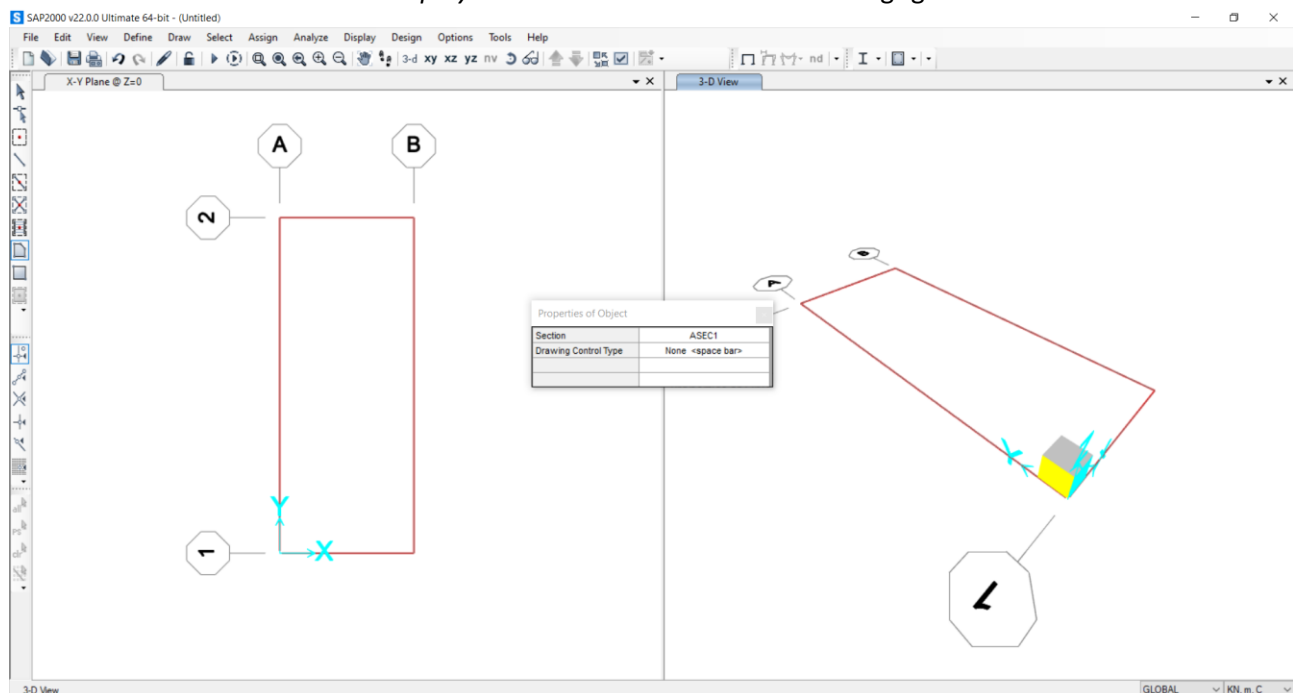
ESERCITAZIONE 2 – GRATICCIO DI TRAVI INFLESSE IN CALCESTRUZZO – Tanzariello, Tessitore

Per realizzare un graticcio si può decidere di passare per un continuo, dato che non si conoscono le caratteristiche delle sollecitazioni, e poi renderlo equivalente.

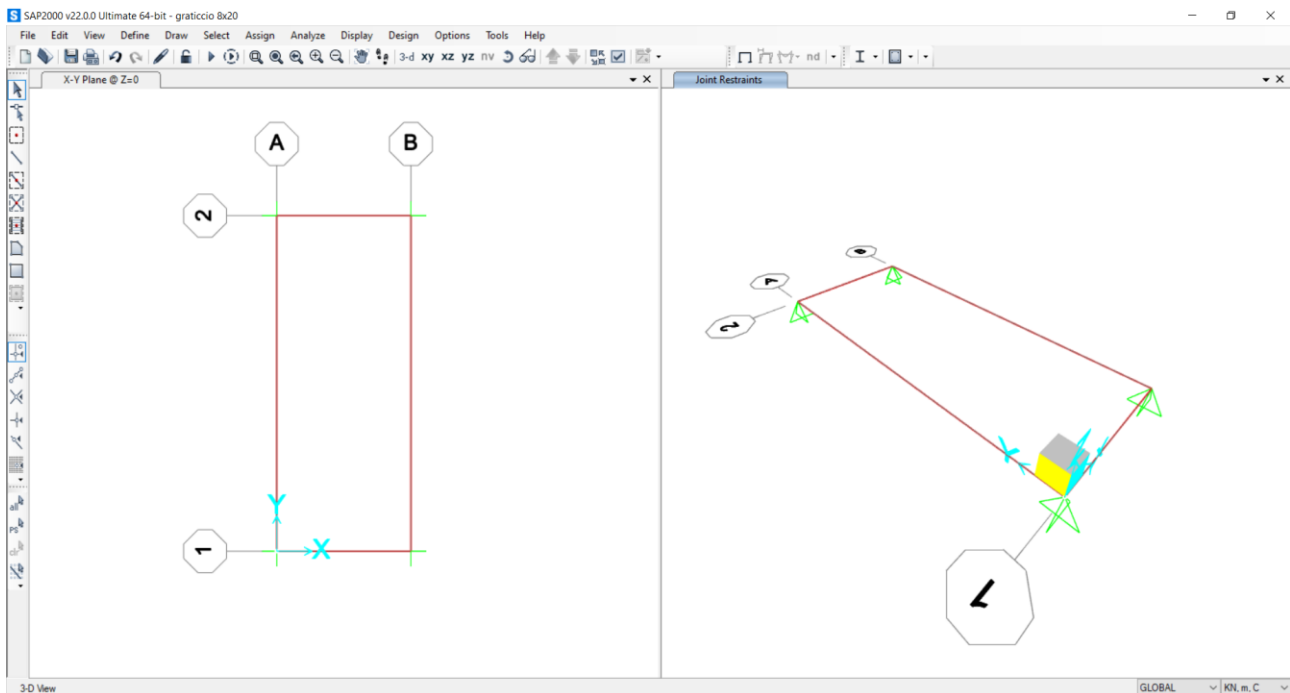
File - new model - grid only - quick grid lines - number of grid lines: 2,2,1; grid spacing: 8,20,3.



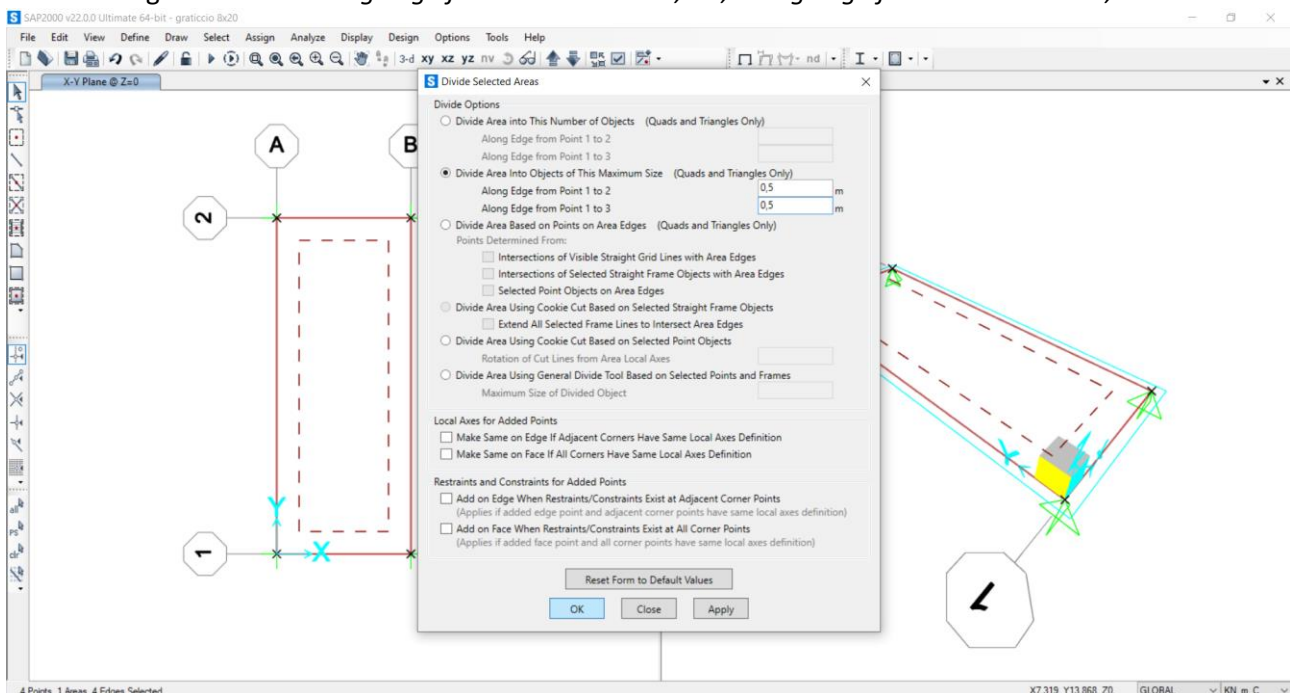
Per modellare l'area usiamo *Draw poly area* e selezioniamo i vertici della griglia



Per esercizio, ipotizziamo la situazione più sfavorevole e posizioniamo i vincoli esterni, 4 cerniere, agli spigoli. Li selezioniamo e facciamo *Assign – Joint – Restraints*, spuntiamo solo le traslazioni e diamo OK



Per semplificare il lavoro al programma, ed ottenere analisi più accurate, discretizziamo la superficie. Selezioniamo la superficie, *Edit – Edit Areas – Divide Areas*, spuntiamo la seconda opzione, che ci permette di dividere l'area in oggetti che hanno per massima la dimensione data per entrambi le direzioni degli assi locali. *Along Edge from Point 1 to 2: 0,5m; Along Edge from Point 1 to 3: 0,5m*



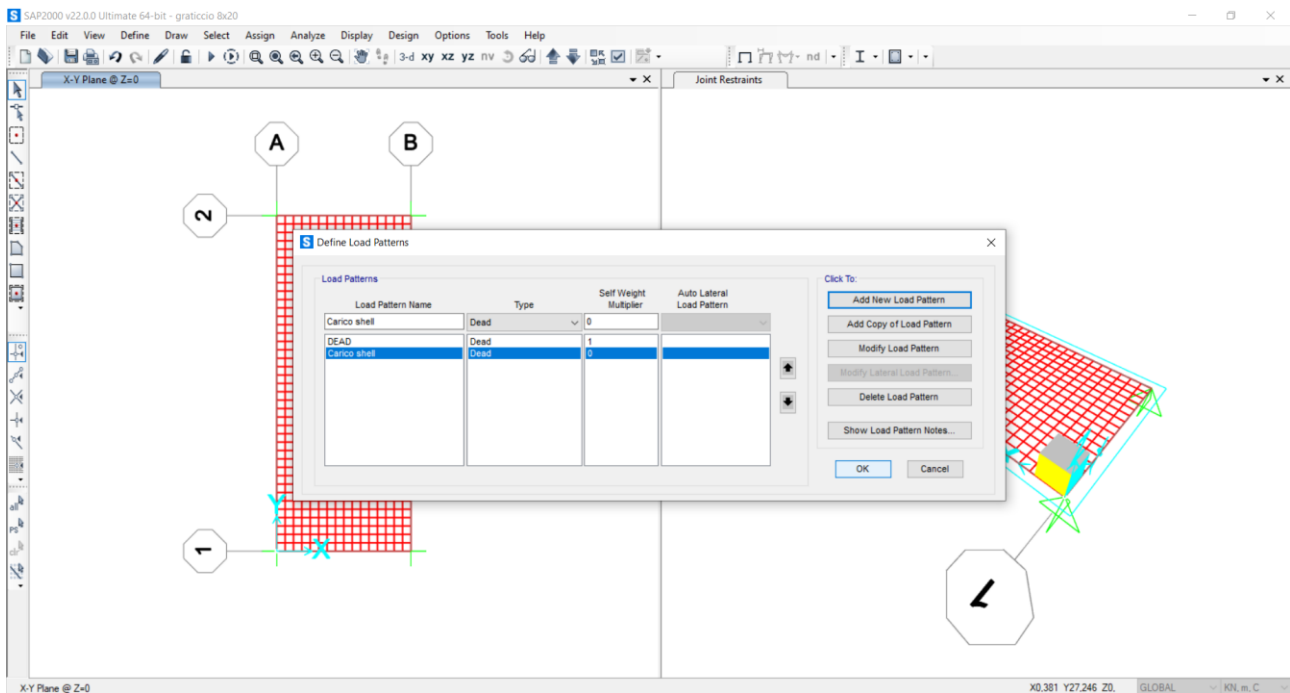
Stiamo utilizzando il graticcio come base su cui poggiare un edificio di 6 piani.

Consideriamo che ogni piano costituisca un carico di 12KN/mq, somma approssimata di un carico da 10KN/mq + vari coefficienti di sicurezza.

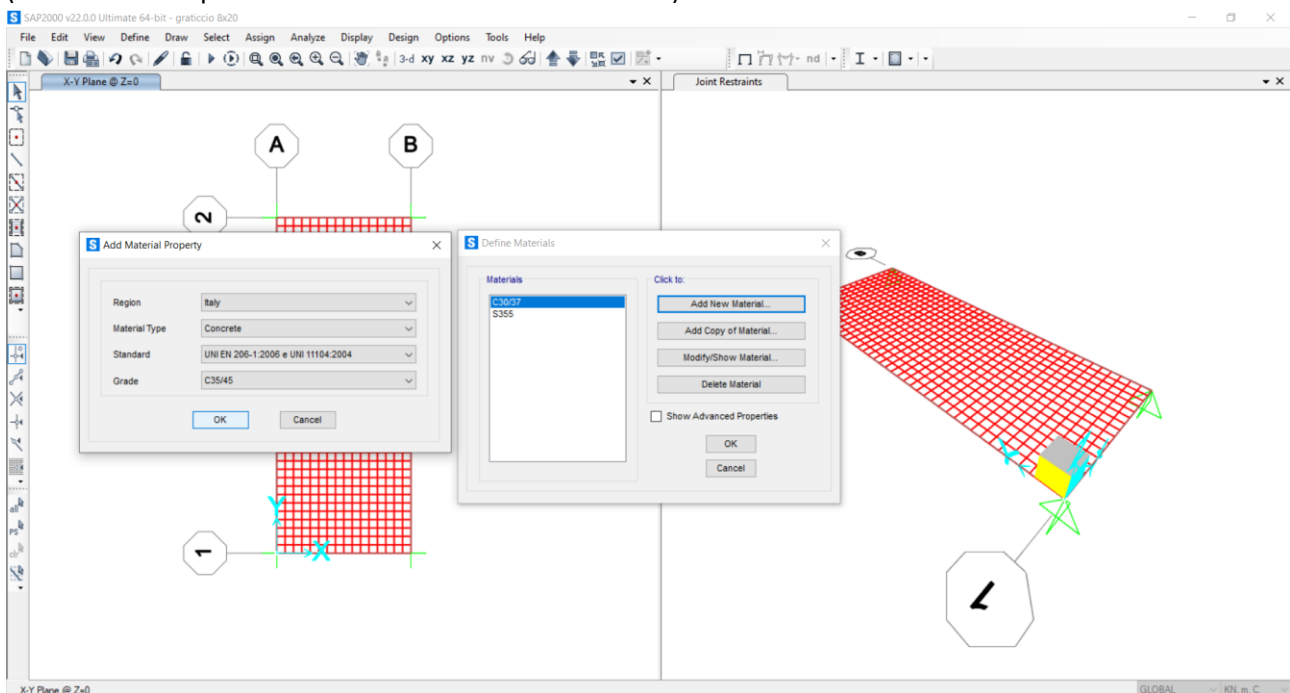
$12\text{KN/mq} \times 6 \text{ Piani} = 72\text{KN/mq}$ di carico distribuito sulla *shell*.

Siccome stiamo usando questo modello per ricavare un ordine di grandezza delle sollecitazioni con il fine di progettare il graticcio, e non la *shell* stessa, non consideriamo il suo peso proprio.

Define – Load Pattern

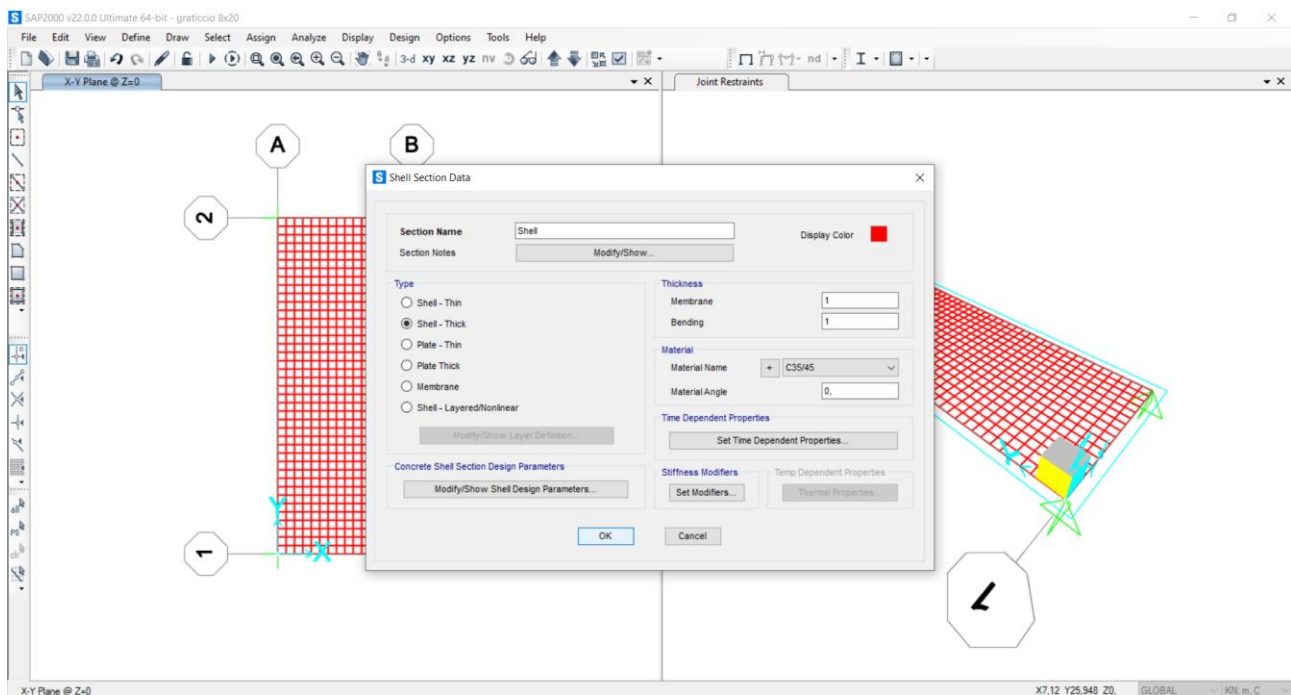


Cominciamo a definire materiali e sezioni. *Define – Material – Add new material – Italy, Concrete, C35/45* (si sale di classe poiché la struttura è fuori dall'ordinario)

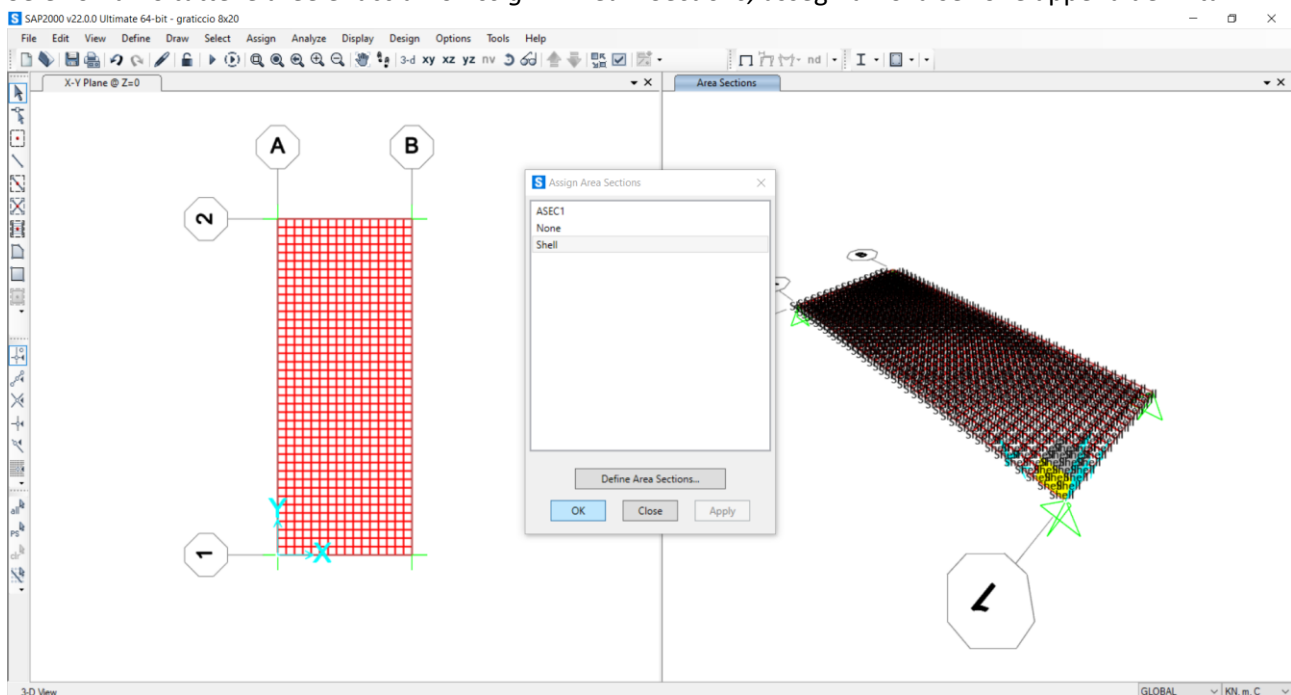


Define – Section properties – Area sections – Add new section

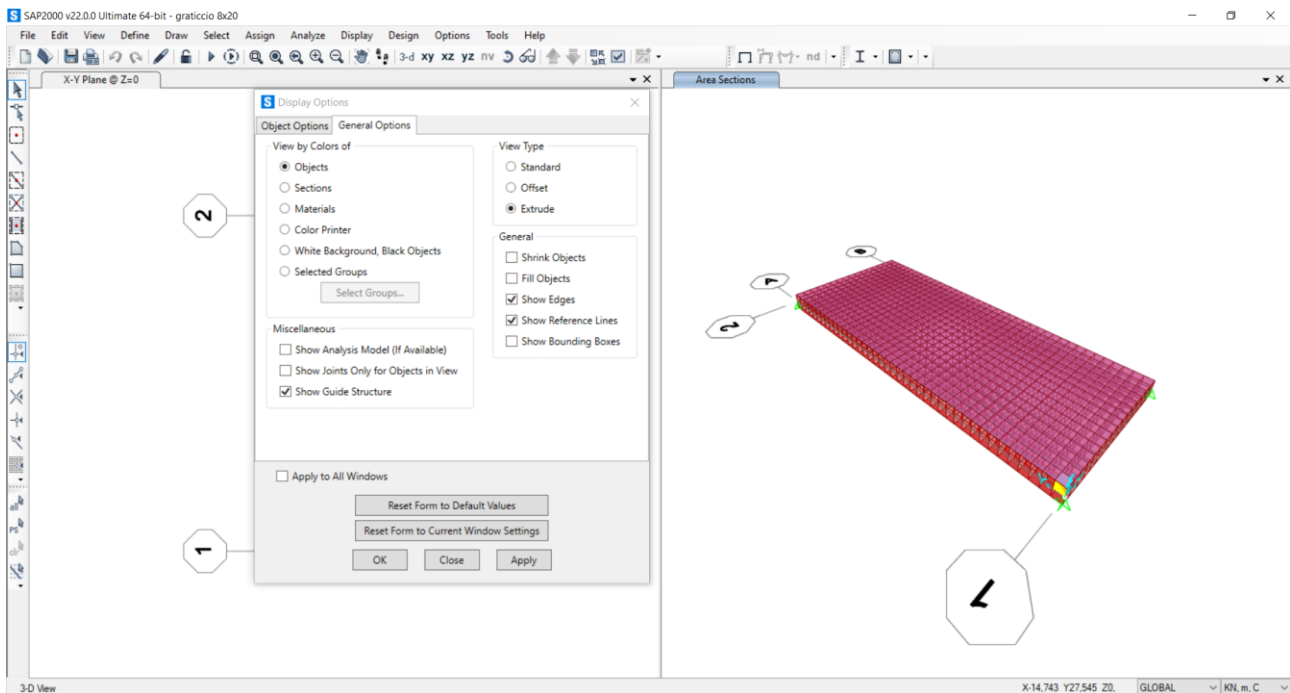
Lasciamo il tipo *shell* perché considera sia gli sforzi di membrana che di piastra (sia flessionali che normali). Utilizziamo *Shell – Thick* perché tiene conto del contributo dato dalla deformata a taglio. Selezioniamo il materiale definito in precedenza. Nella *Thickness* utilizziamo lo stesso valore in *membrane* e in *bending* (1m) poiché stiamo utilizzando la *shell* per simulare altro.



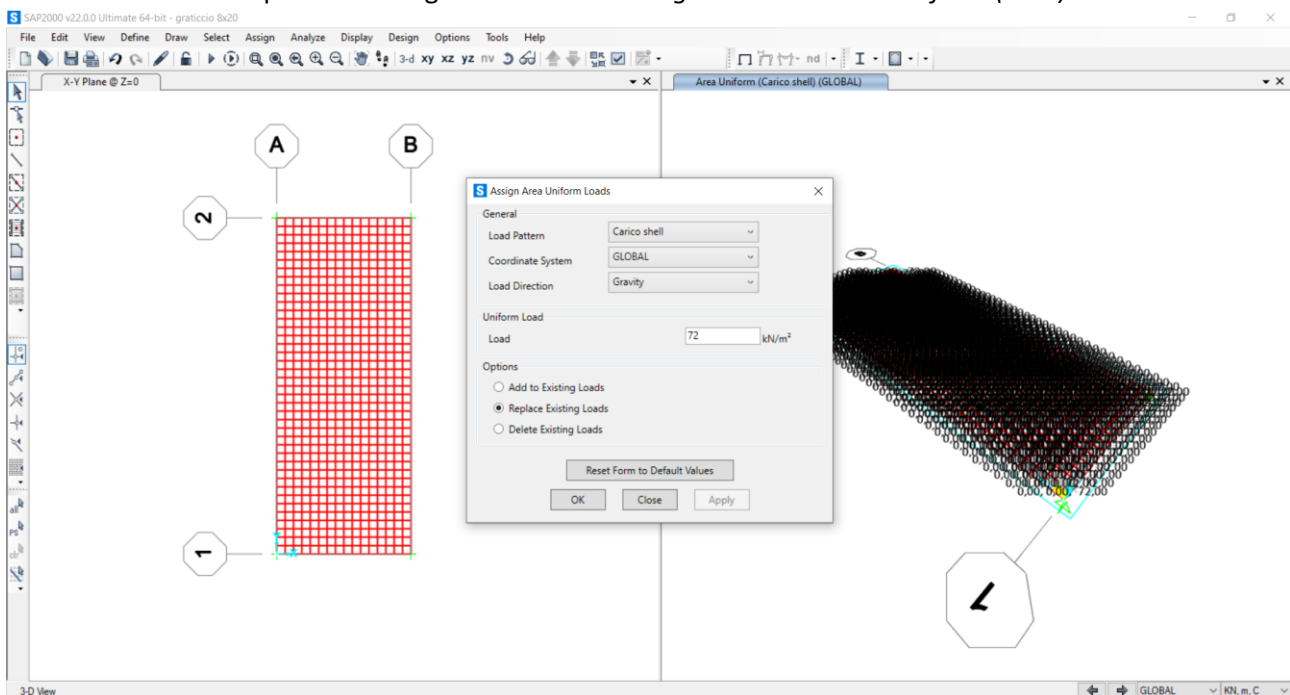
Selezioniamo tutte le aree e facciamo *Assign – Area – Sections*, assegniamo la sezione appena definita.



Dalla vista 3D, utilizzando la visualizzazione estrusa (*display option – general options – view type – extrude*), osserviamo che la dimensione di 1m appare comunque limitata rispetto all'estensione della piastra.

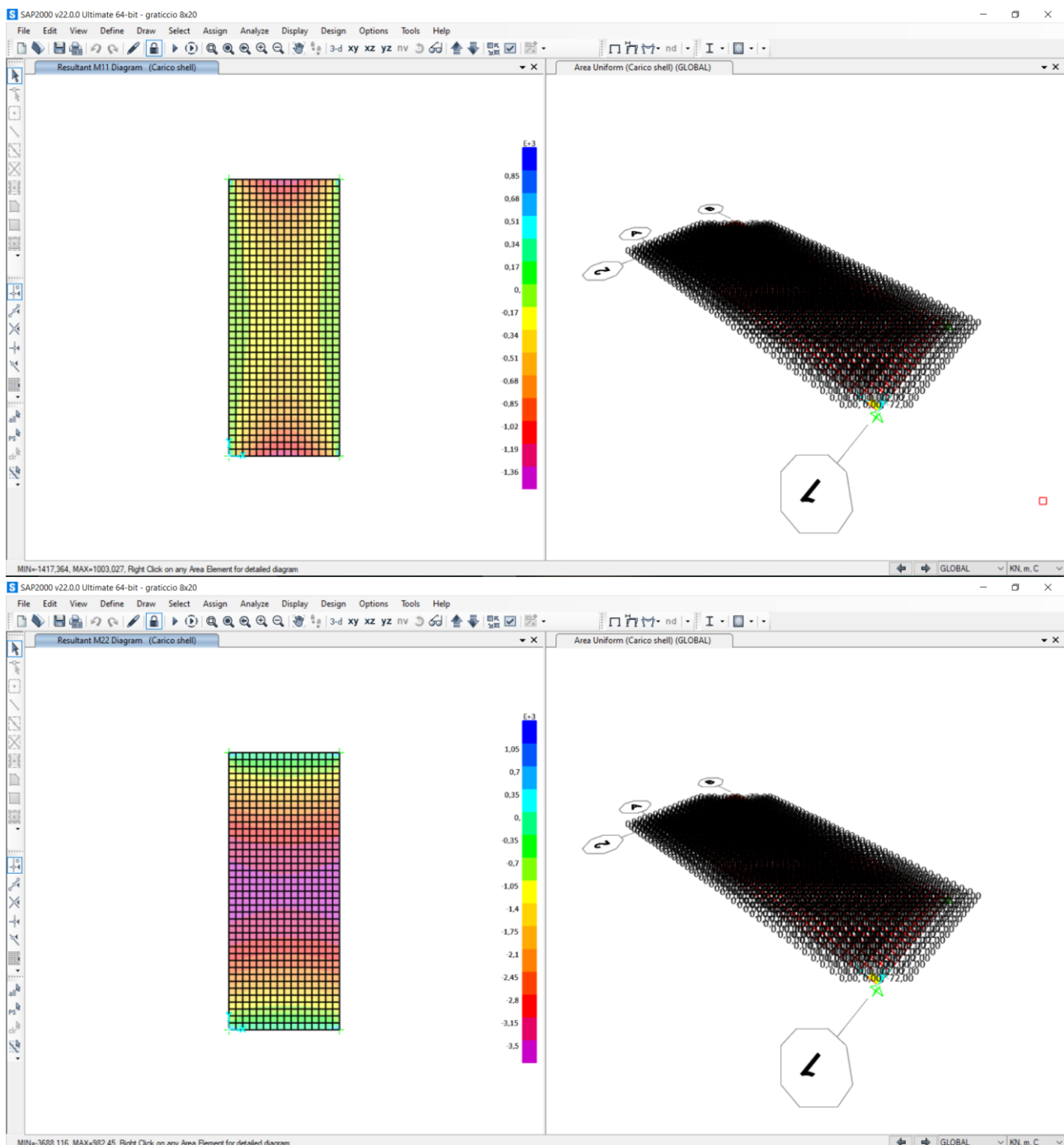


Selezioniamo tutta la piastra e assegniamo il carico. *Assign – Area Loads – Uniform (shell)*



Adesso possiamo far partire un'analisi, solamente considerando il "Carico shell". Da *Show forces/stress – Shell* vediamo i risultati relative alle aree. Siccome ci interessa la sollecitazione flettente, per dimensionare il graticcio, vediamo quanto vale il momento nelle due direzioni M11 e M22 (M12 è torsione). Spuntando M11 vediamo una colorazione con legenda affiancata che ci indica i punti di momento positivo, negativo e tendente al nullo, con indicazione in basso a sinistra del valore massimo e minimo.

- Per M11 MIN=-1417,364KNm MAX=1003,027KNm. Il momento in direzione 1 ha il suo massimo nella parte centrale e minimo sul lato lungo. Anche nella zona con il momento più alto è massimo al bordo e diminuisce all'accentrarsi della superficie.
- Per M22 MIN=-3688,116KNm MAX=983,45KNm. Ora hanno momento minimo gli spigoli corti mentre il momento massimo si trova al centro di quelli lunghi; anche qui diminuisce verso il centro ma meno drasticamente poiché la sezione della superficie è stretta.



Adesso che abbiamo i momenti massimi dobbiamo selezionare il valore massimo del momento in modo da poter dimensionare il graticcio. Ricordiamo che tutti gli elementi del graticcio, per definizione, hanno stessa sezione. Apriamo il file Excel "Dimensionamento a flessione travi" e, non considerando le colonne da A ad F poiché possiamo direttamente utilizzare il momento massimo ottenuto (3688,116 KNm), dimensioniamo. Inserendo il momento massimo e l'altezza della sezione otteniamo $H_{min}=105,29\text{cm}$

	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	V	W
1	q_d (KN/m ²)	q_k (KN/m ²)	q_k (KN/m)	luce (m)	M_{max} (KN*m)	f_{yk} (N/mm ²)	f_{td} (N/mm ²)	f_{tk} (N/mm ²)	f_{td} (N/mm ²)	β	r	b (cm)	h_k (cm)	δ (cm)	H_{sup} (cm)	H	H/I	area (m ²)	peso unitario (KN/m)		
2																					
3	2.56	2.00	45.14	8.00	361.15	450.00	391.30	60.00	34.00	0.57	2.09	30.00	39.27	5.00	44.27	55.00	0.06	0.17	4.13		
4	2.56	2.00	112.86	8.00	902.88	450.00	391.30	50.00	28.33	0.52	2.16	30.00	70.27	5.00	75.27	52.00	0.07	0.16	3.90		
5	2.00	3.00	101.00	8.00	808.00	450.00	391.30	60.00	34.00	0.57	2.09	20.00	71.95	5.00	76.95	80.00	0.10	0.16			
6						450.00	391.30		0.00	0.00	#DIV/0!		#DIV/0!	5.00	#DIV/0!		#DIV/0!	0.00			
7					3688.116	450.00	391.30	35.00	19.83	0.43	2.33	100.00	100.29	5.00	105.29						

Se non consideriamo il peso proprio, per la configurazione attuale dovremmo avere una piastra continua con $H=105,29\text{cm}$. Vogliamo ottenere una trave con un'inerzia equivalente a questa piastra. Modifichiamo quindi la larghezza per vedere quanto diventa H_{min} in modo da avere la stessa risposta al momento. Utilizziamo $b=30\text{cm}$, quindi $H_{min}=188,11\text{cm}$

	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	V	W
1	q_d (KN/m ²)	q_s (KN/m ²)	q_d (KN/m)	luce (m)	M_{max} (KN*m)	f_{yk} (N/mm ²)	f_{td} (N/mm ²)	f_{td} (N/mm ²)	f_{td} (N/mm ²)	β	r	b (cm)	h_u (cm)	δ (cm)	H_{max} (cm)	H	H/I	area (m ²)	peso unitario (KN/m)		
2																					
3	2.56	2.00	45.14	8.00	361.15	450.00	391.30	60.00	34.00	0.57	2.09	30.00	39.27	5.00	44.27	55.00	0.06	0.17	4.13		
4	2.56	2.00	112.86	8.00	902.88	450.00	391.30	50.00	28.33	0.52	2.16	30.00	70.27	5.00	75.27	52.00	0.07	0.16	3.90		
5	2.00	3.00	101.00	8.00	808.00	450.00	391.30	60.00	34.00	0.57	2.09	20.00	71.95	5.00	76.95	80.00	0.10	0.16			
6						450.00	391.30		0.00	0.00	#DIV/0!		#DIV/0!	5.00	#DIV/0!		#DIV/0!	0.00			
7					3688,116	450.00	391.30	35.00	19.83	0.43	2.33	30.00	183,11	5.00	188,11						
8																					

Adesso possiamo realizzare, con buona approssimazione, un graticcio di travi a distanza di 1m le une dalle altre, larghe 30cm e alte 188,11cm, trascurando il peso proprio ed utilizzando gli stessi carichi.

Stiamo lavorando con valori relativi ad un interasse per una fascia di 100cm.

Se volessimo raddoppiare l'interasse dovremmo raddoppiare anche il momento utilizzato nel dimensionamento, quindi volendo portare il passo del graticcio ad 1,5m (poiché 1m è di scomoda realizzazione) dobbiamo portare il carico ad una volta e mezza sé stesso.

$3688,116\text{KNm} \times 1,5\text{m} = 5532,174\text{KN}$

Consideriamo che la luce netta tra due travi è quella imposta meno metà della larghezza delle due travi. Se aumentiamo la base per non aumentare troppo l'altezza osserviamo che la luce diminuisce.

Utilizziamo $b=40\text{cm}$ e otteniamo di dover utilizzare travi di altezza 229,27cm (sempre senza peso proprio)

	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	V	W
1	q_d (KN/m ²)	q_s (KN/m ²)	q_d (KN/m)	luce (m)	M_{max} (KN*m)	f_{yk} (N/mm ²)	f_{td} (N/mm ²)	f_{td} (N/mm ²)	f_{td} (N/mm ²)	β	r	b (cm)	h_u (cm)	δ (cm)	H_{max} (cm)	H	H/I	area (m ²)	peso unitario (KN/m)		
2																					
3	2.56	2.00	45.14	8.00	361.15	450.00	391.30	60.00	34.00	0.57	2.09	30.00	39.27	5.00	44.27	55.00	0.06	0.17	4.13		
4	2.56	2.00	112.86	8.00	902.88	450.00	391.30	50.00	28.33	0.52	2.16	30.00	70.27	5.00	75.27	52.00	0.07	0.16	3.90		
5	2.00	3.00	101.00	8.00	808.00	450.00	391.30	60.00	34.00	0.57	2.09	20.00	71.95	5.00	76.95	80.00	0.10	0.16			
6						450.00	391.30		0.00	0.00	#DIV/0!		#DIV/0!	5.00	#DIV/0!		#DIV/0!	0.00			
7					5532,174	450.00	391.30	35.00	19.83	0.43	2.33	30.00	224,27	5.00	229,27						
8																					

Per considerare il peso proprio, che approssimiamo nell'ordine di 1 piano esistente, $8\text{m} \times 20\text{m} = 160\text{mq}$

$72\text{KN/mq} \times 160\text{mq} = 11520\text{KN}$

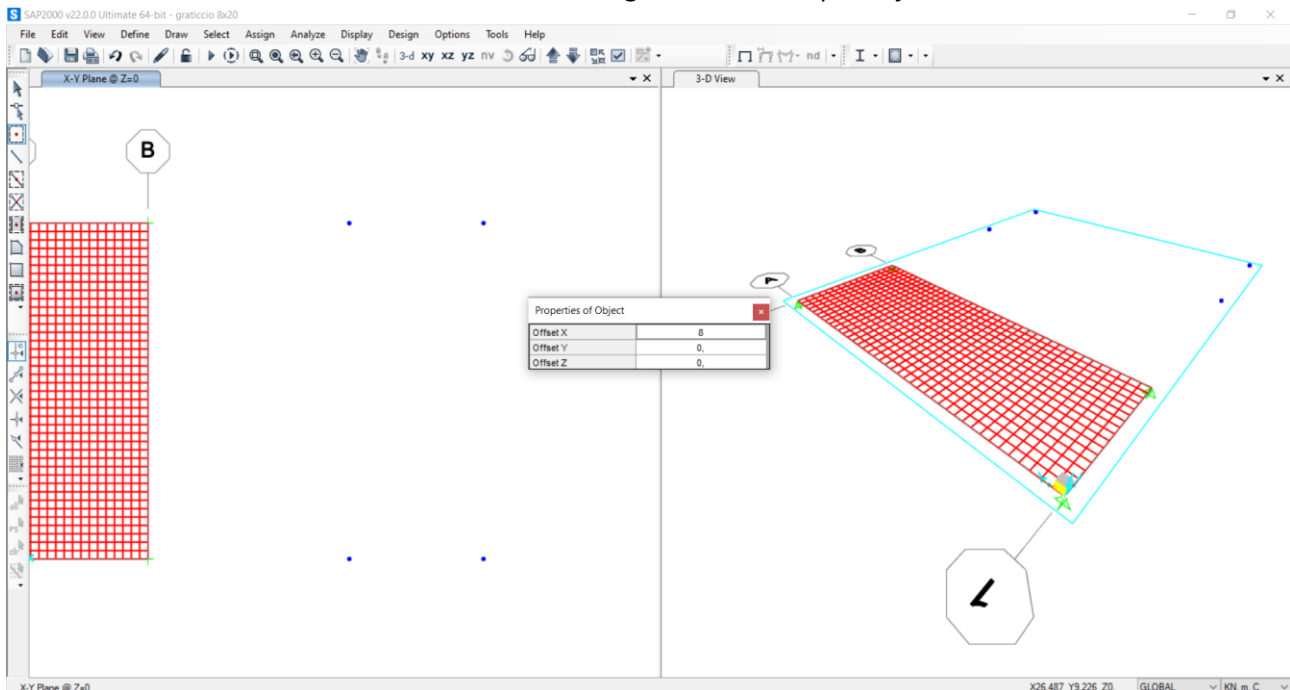
Questo valore è totale, possiamo ipotizzare che il carico strutturale sia un quarto, quindi

$11520\text{KN}/4 = 2880\text{KN}$

Proviamo ad aggiungere questo valore al momento utilizzato in precedenza e a procedere con un'ipotesi di dimensionamento: $5532,174\text{KN} + 2880\text{KN} = 8412,174\text{KN}$

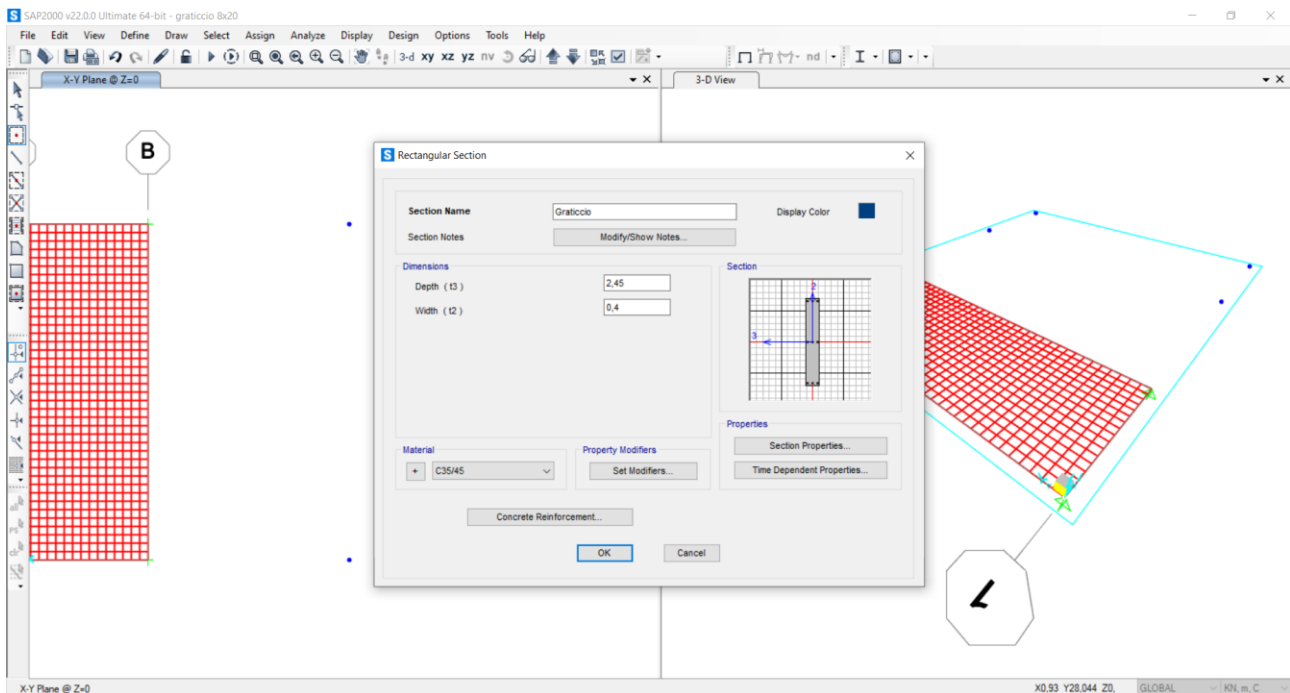
	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	V	W
1	q_d (KN/m ²)	q_s (KN/m ²)	q_d (KN/m)	luce (m)	M_{max} (KN*m)	f_{yk} (N/mm ²)	f_{td} (N/mm ²)	f_{td} (N/mm ²)	f_{td} (N/mm ²)	β	r	b (cm)	h_u (cm)	δ (cm)	H_{max} (cm)	H	H/I	area (m ²)	peso unitario (KN/m)		
2																					
3	2.56	2.00	45.14	8.00	361.15	450.00	391.30	60.00	34.00	0.57	2.09	30.00	39.27	5.00	44.27	55.00	0.06	0.17	4.13		
4	2.56	2.00	112.86	8.00	902.88	450.00	391.30	50.00	28.33	0.52	2.16	30.00	70.27	5.00	75.27	52.00	0.07	0.16	3.90		
5	2.00	3.00	101.00	8.00	808.00	450.00	391.30	60.00	34.00	0.57	2.09	20.00	71.95	5.00	76.95	80.00	0.10	0.16			
6						450.00	391.30		0.00	0.00	#DIV/0!		#DIV/0!	5.00	#DIV/0!		#DIV/0!	0.00			
7					5532,174	450.00	391.30	35.00	19.83	0.43	2.33	30.00	224,27	5.00	229,27						
8					8412,174	450.00	391.30	35.00	19.83	0.43	2.33	40.00	239,50	5.00	244,50						
9																					

Sblocchiamo il modello e cominciamo a realizzare il graticcio. *Draw special joint.*



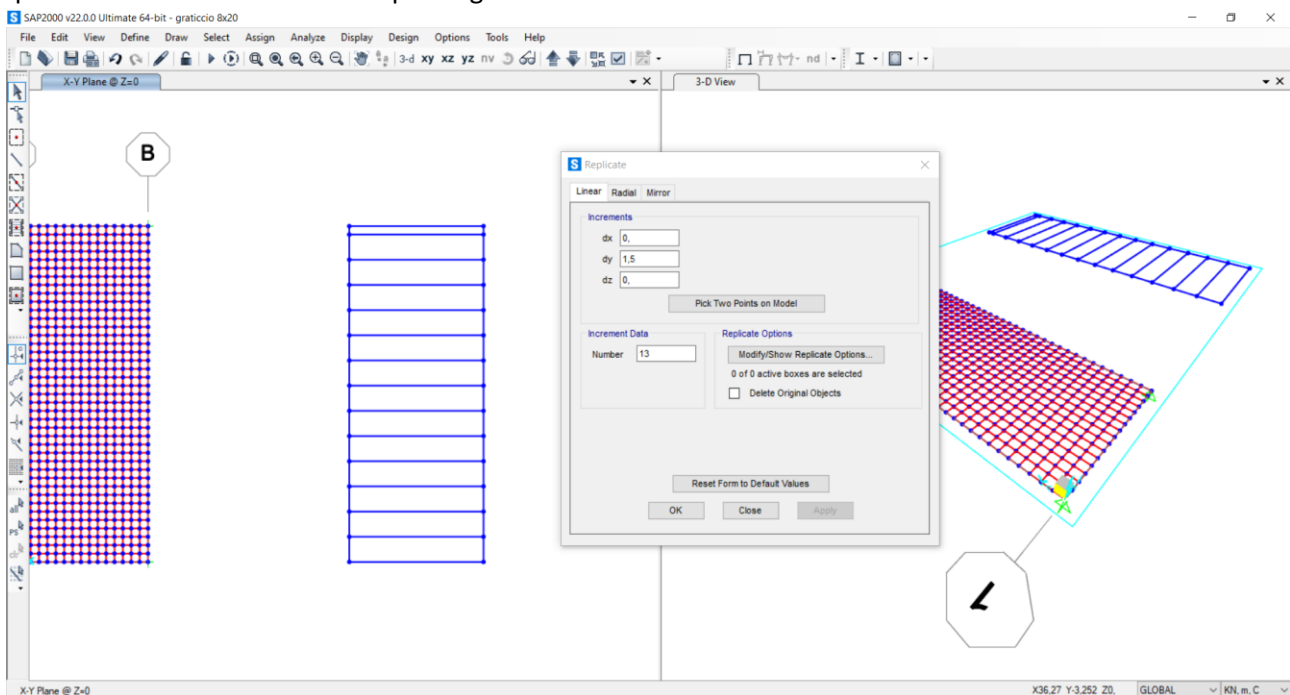
Define – Section properties – frame section – Add new property

Property type: concrete - Rectangular section. Approssimiamo 244,50cm a 245cm



Disegniamo il graticcio partendo dagli spigoli e con *Replicate* creiamo il passo di 1,5m.

A questo punto notiamo come il passo di 1,5m sia incompatibile con la dimensione complessiva definita, e questa risulta indivisibile in sole parti uguali.



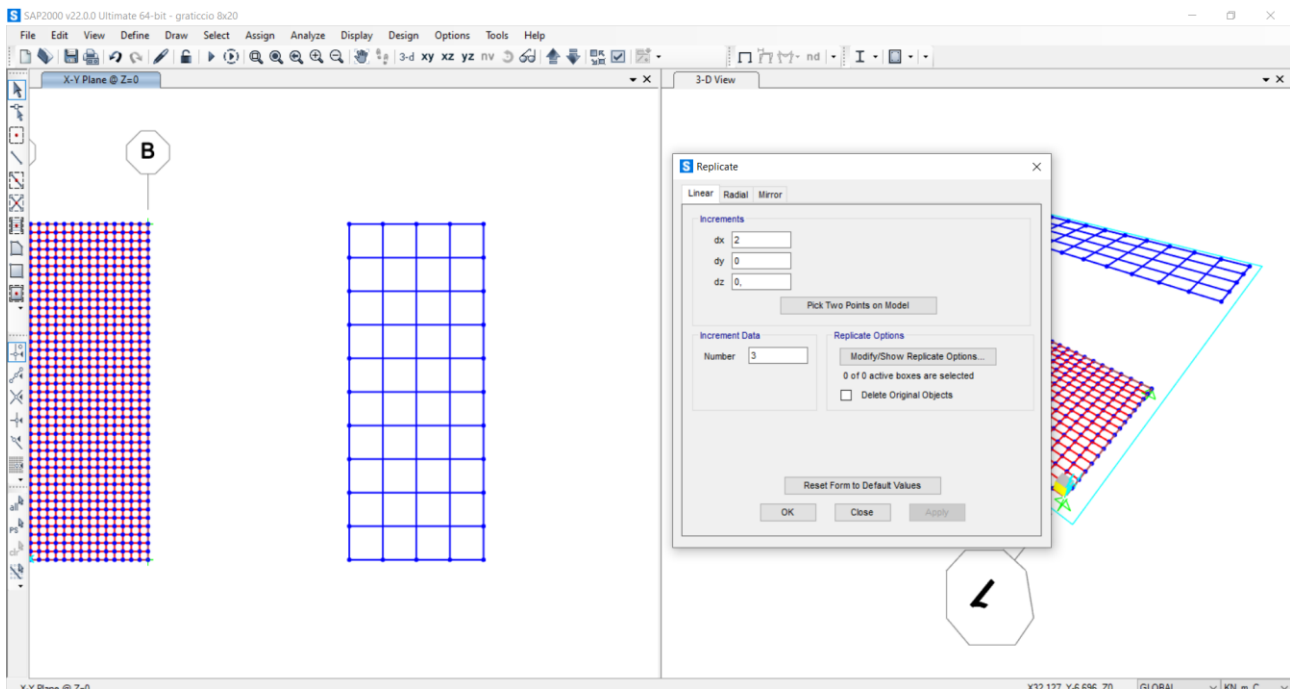
Decidiamo di modificare il passo in modo da poter dividere in maniera compatibile con lo schema del graticcio; quindi, utilizziamo un interasse di 2m e ripetiamo i calcoli.

$3688,116\text{KNm} \times 2\text{m} = 7376,232\text{KN}$ che con $b=40\text{cm}$ ci dà $H_{\min}=229,27\text{cm}$

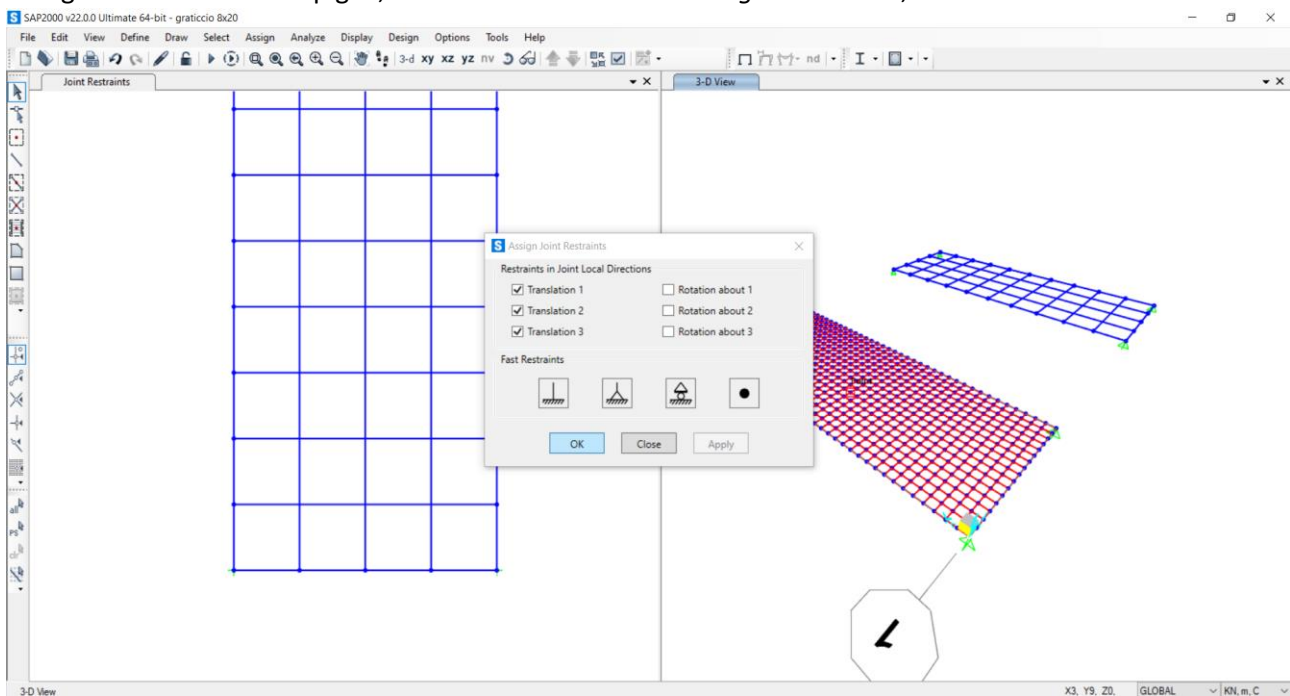
$7376,232\text{KN} + 2880\text{KN} = 10256,232\text{KN}$ che con $b=40$ ci dà $H_{\min}=269,45\text{cm}$

	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	V	W
1	q_k (KN/m ²)	q_k (KN/m ²)	q_k (KN/m)	luce (m)	M_{\max} (KN·m)	f_{yk} (N/mm ²)	f_{yk} (N/mm ²)	f_{yk} (N/mm ²)	f_{yk} (N/mm ²)	β	r	b (cm)	h_k (cm)	δ (cm)	H_{\min} (cm)	H	H/I	area (m ²)	peso unitario (KN/m)		
2																					
3	2.56	2.00	45.14	8.00	361.15	450.00	391.30	60.00	34.00	0.57	2.09	30.00	39.27	5.00	44.27	55.00	0.06	0.17	4.13		
4	2.56	2.00	112.86	8.00	902.88	450.00	391.30	50.00	28.33	0.52	2.16	30.00	70.27	5.00	75.27	52.00	0.07	0.16	3.90		
5	2.00	3.00	101.00	8.00	808.00	450.00	391.30	60.00	34.00	0.57	2.09	20.00	71.95	5.00	76.95	80.00	0.10	0.16			
6						450.00	391.30		0.00	0.00	#DIV/0!		#DIV/0!	5.00	#DIV/0!		#DIV/0!	0.00			
7					7376,232	450.00	391.30	35.00	19.83	0.43	2.33	40.00	224.27	5.00	229.27						
8					10256,232	450.00	391.30	35.00	19.83	0.43	2.33	40.00	264.45	5.00	269.45						
9																					

Definiamo una sezione con $H=270\text{cm}$. Ritorniamo al disegno del graticcio.

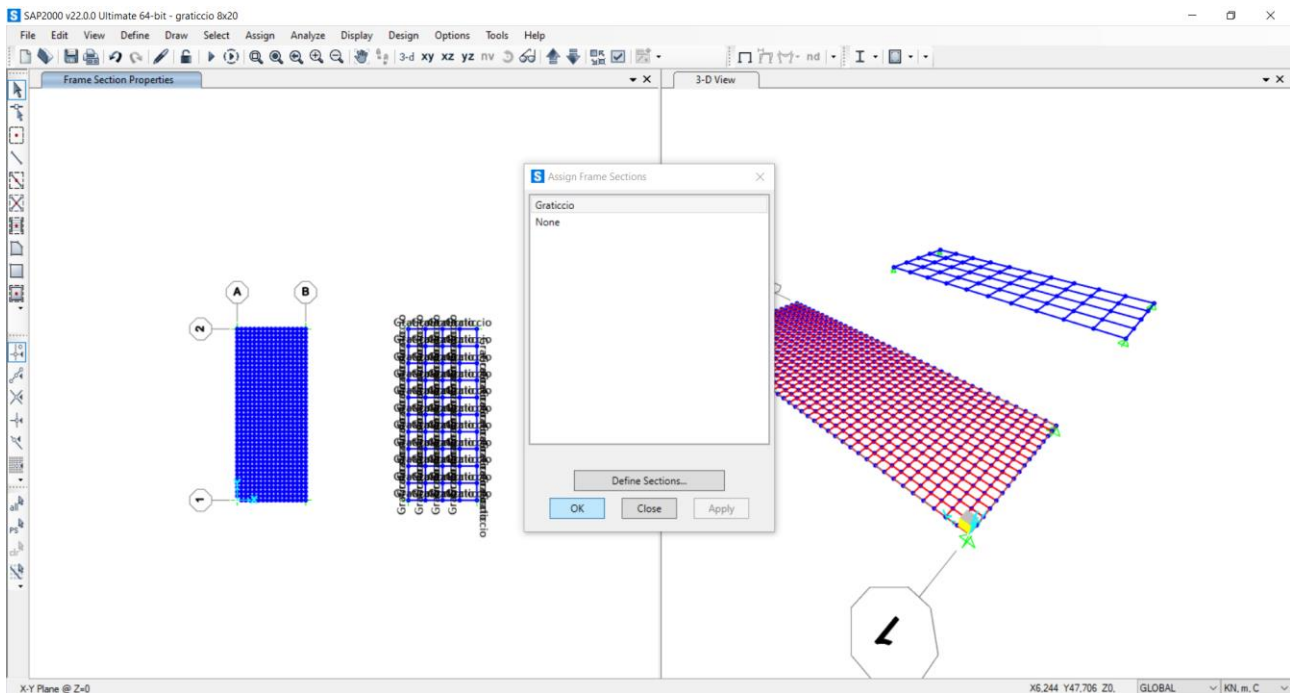


Assegniamo i vincoli ai 4 spigoli, selezionandoli e facendo *assign – restrains*, selezionando la cerniera.

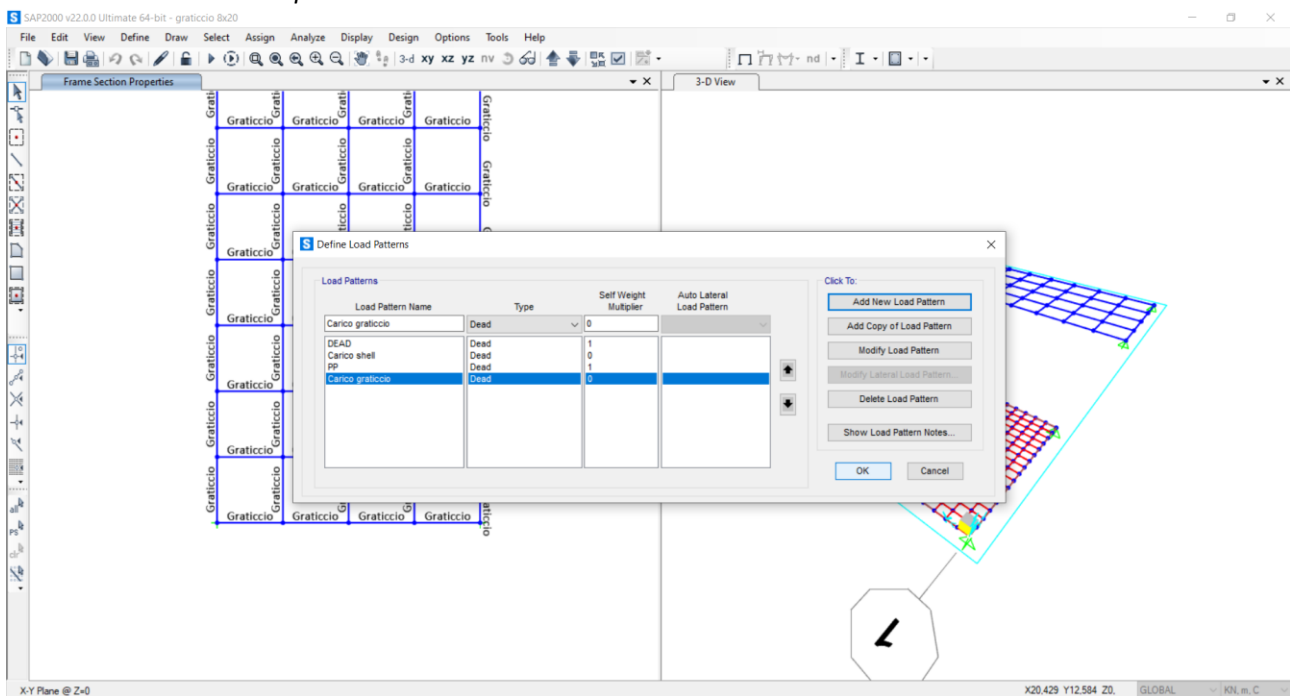


Per far lavorare la struttura come un graticcio bisogna stabilire la condizione di nodo rigido.

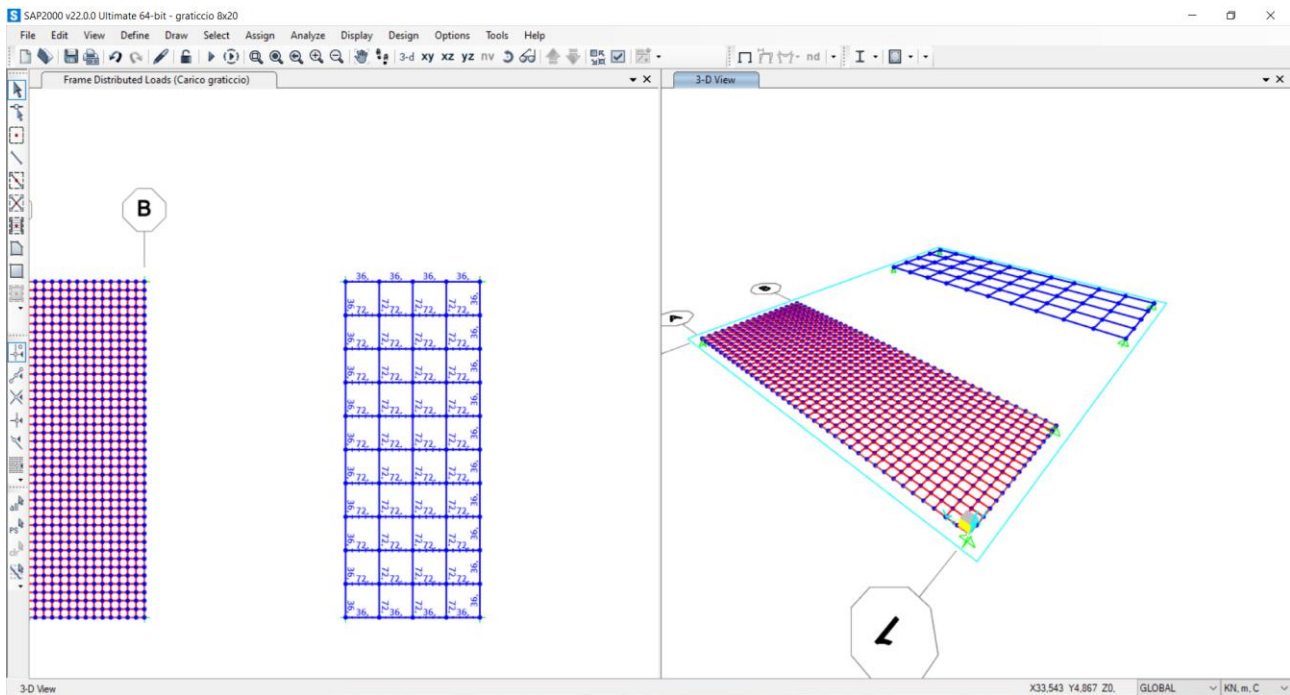
Selezioniamo tutto, *Edit – Edit lines – divide frames – brake at intersection with selected joints, straight frames, area edges and sold edges*. Assegniamo sezioni e carichi: *Assign – frame – sections – Graticcio*



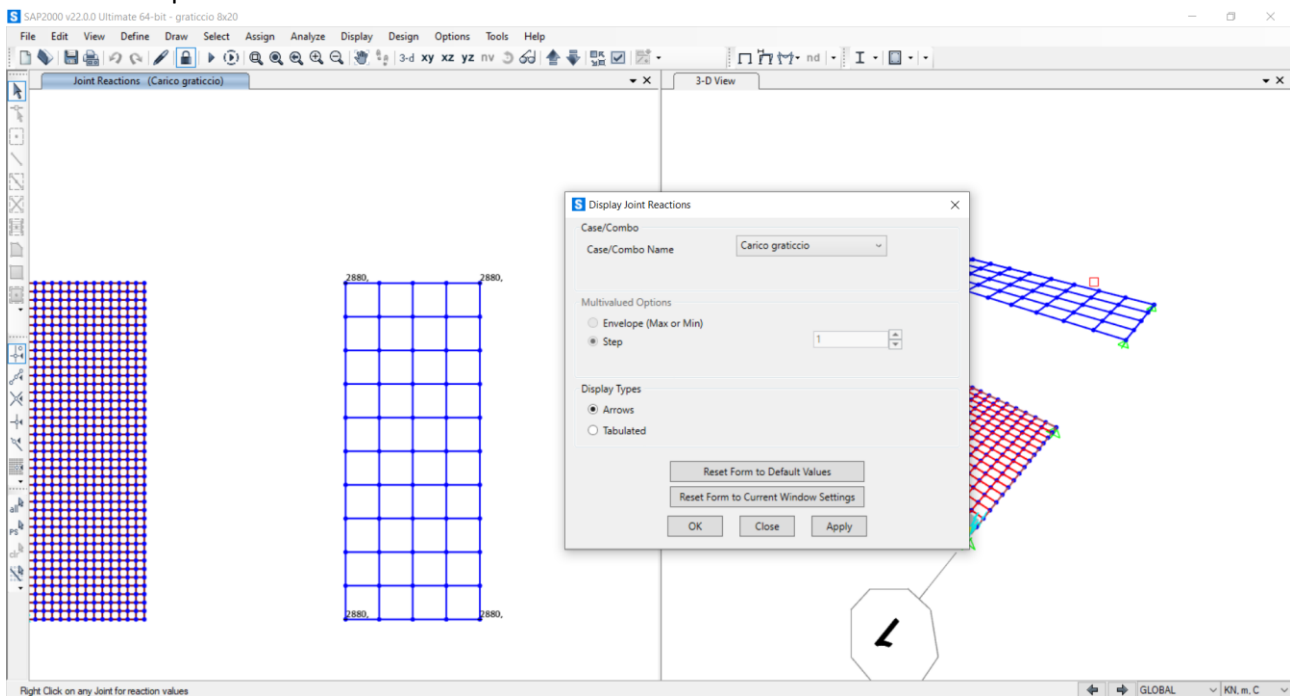
Assegniamo il carico distribuito. Tutte le travi sono principali quindi l'area di influenza della singola asta è minore. $72\text{KNm} \times 2\text{m} = 108\text{KN}$ $108\text{KN} : 2 = 72\text{KN}$, carico lineare da distribuire su tutte le travi tranne quelle di bordo. Definiamo i *load pattern*: PP e Carico Graticcio



Per le travi centrali, *Assign – frame loads – distributed. Pattern: carico graticcio. Uniform load: 72KN*
 Per le travi di bordo assegniamo un carico di $72\text{KN} : 2 = 36\text{KN}$

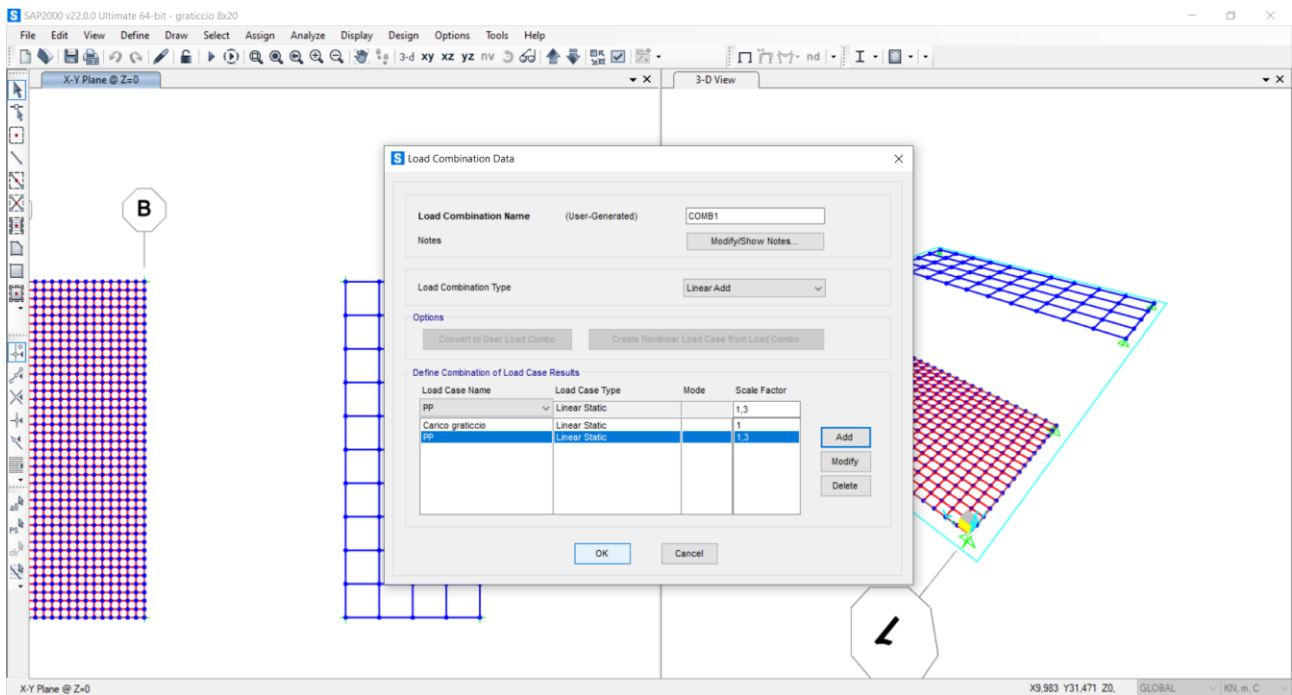


Per verificare possiamo avviare un'analisi in modo da vedere le reazioni vincolari.

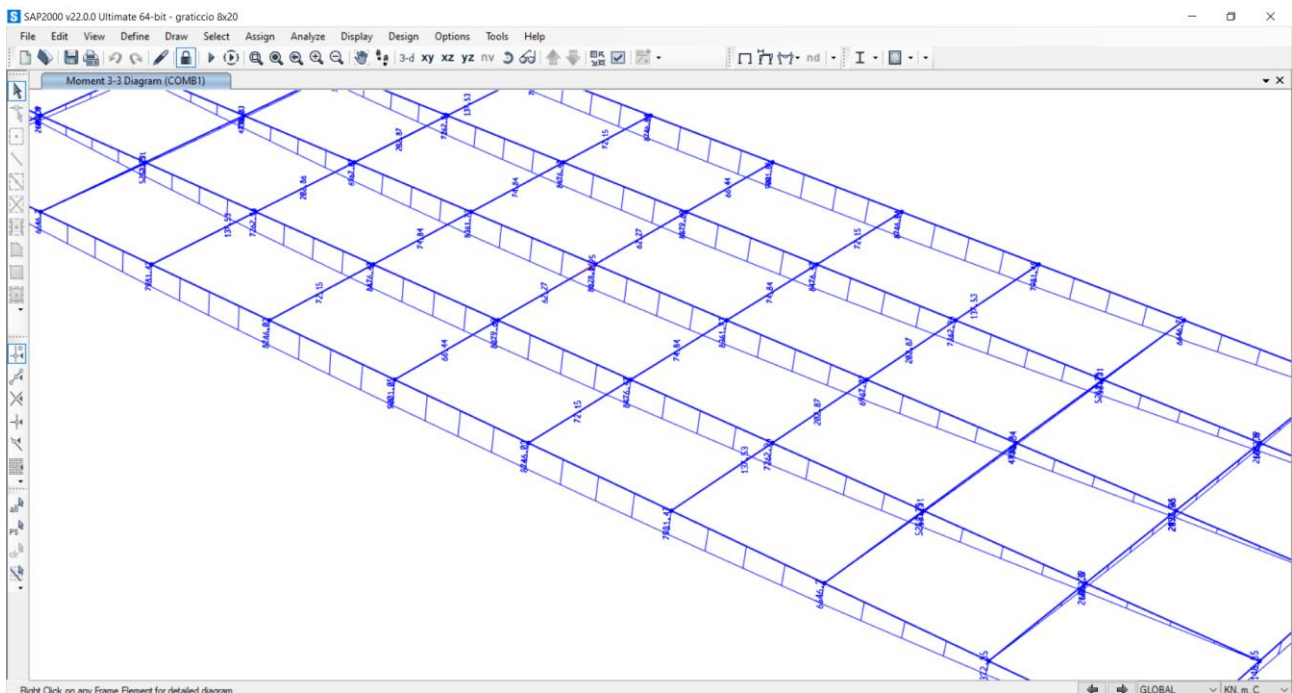


Come previsto le reazioni sono uguali, data la struttura simmetrica. $2880\text{KN} \times 4 = 11520\text{KN}$
 $11520\text{KN} = 72\text{KNm} \times 8\text{m} \times 20\text{m}$ risulta verificato.

Per ottenere il momento flettente non possiamo trascurare il peso proprio, quindi definiamo una combinazione di carico. *Define – load combination – add new combo – linear add*, aggiungo carico graticcio con *scale factor* 1 e PP con *scale factor* 1,3 (fattore di sicurezza)



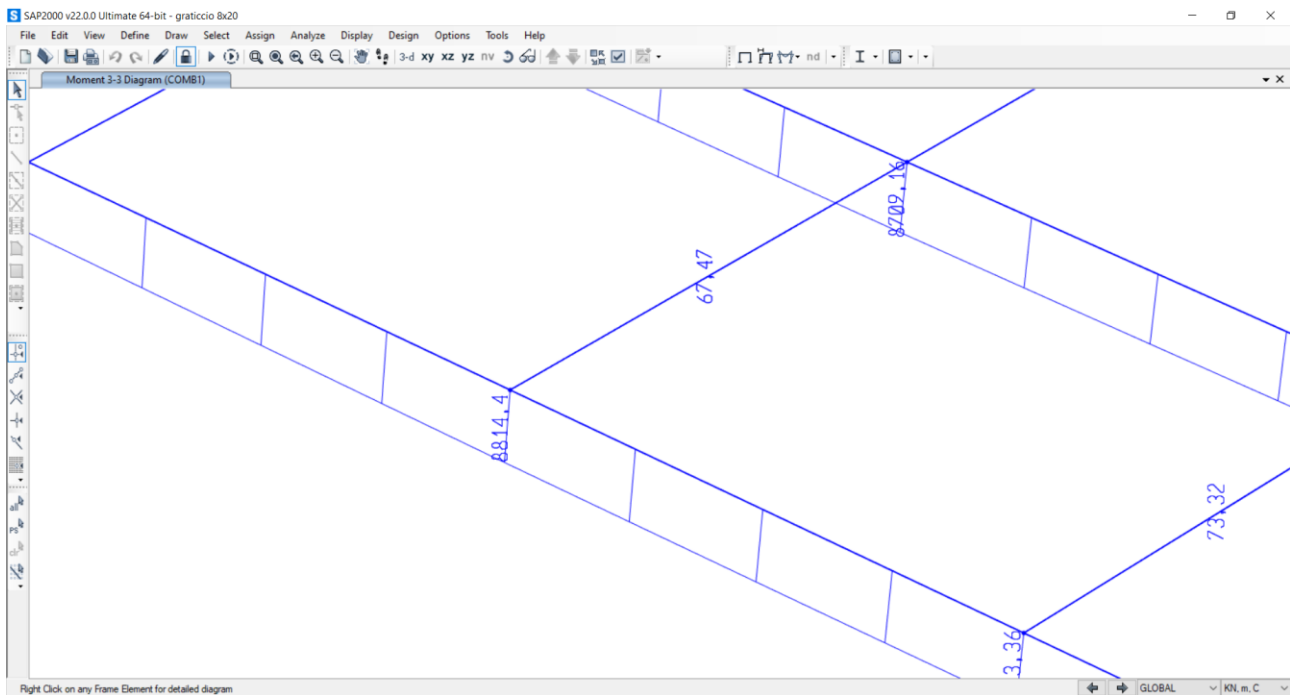
Facciamo un'analisi utilizzando la combinazione di carico definita.



Nonostante i bordi abbiano meno carico, hanno momenti più alti poiché al carico si aggiunge la distribuzione che lo porta ai vincoli. È la stessa distribuzione di carico del modello *shell*. Vediamo che la trave di bordo ha valore massimo 9001,05KN, inferiore al valore usato per dimensionare. Lo inseriamo nella tabella e tenendo $b=40\text{cm}$ otteniamo una altezza di 252,74cm.

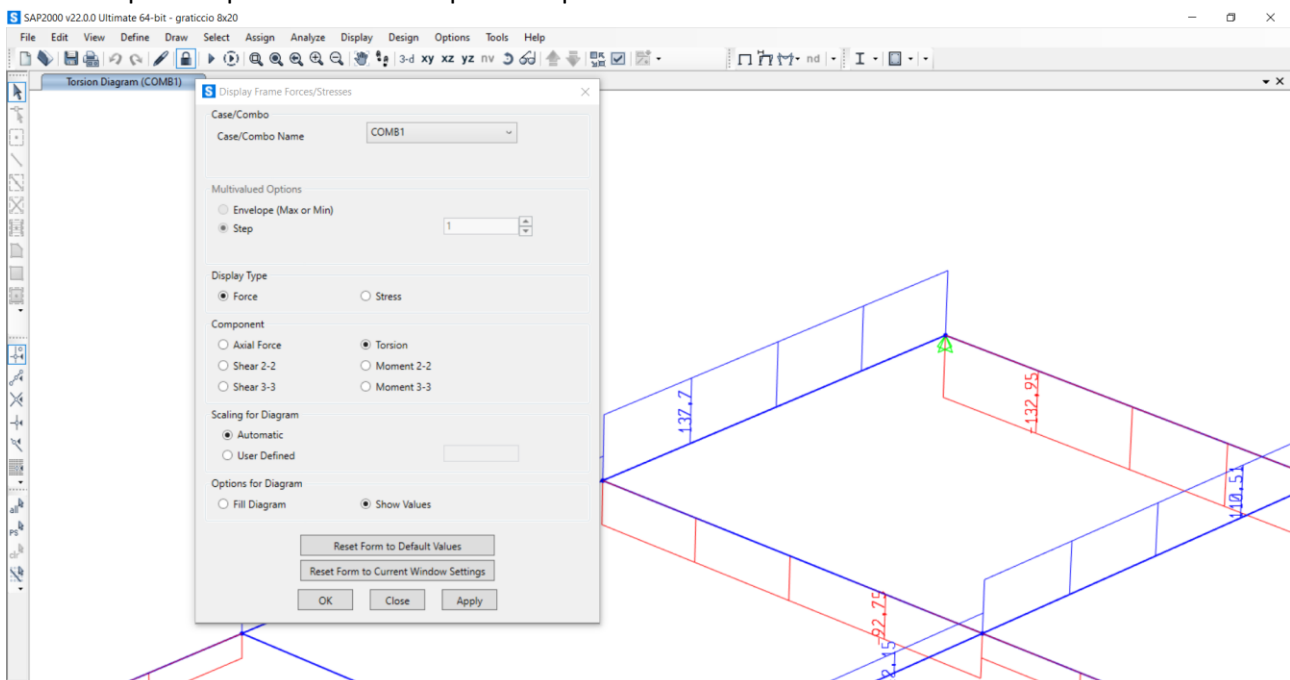
	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	V	W
1	q_d (KN/m ²)	q_k (KN/m ²)	q_k (KN/m)	luce (m)	M_{max} (KN*m)	f_{yk} (N/mm ²)	f_{yk} (N/mm ²)	f_{yk} (N/mm ²)	f_{yk} (N/mm ²)	β	r	b (cm)	h_u (cm)	δ (cm)	H_{mp} (cm)	H	H/I	area (m ²)	peso unitario (KN/m)		
2	2.56	2.00	45.14	8.00	361.15	450.00	391.30	60.00	34.00	0.57	2.09	30.00	39.27	5.00	44.27	55.00	0.06	0.17	4.13		
3	2.56	2.00	112.86	8.00	902.88	450.00	391.30	50.00	28.33	0.52	2.16	30.00	70.27	5.00	75.27	52.00	0.07	0.16	3.90		
4	2.00	3.00	101.00	8.00	808.00	450.00	391.30	60.00	34.00	0.57	2.09	20.00	71.95	5.00	76.95	80.00	0.10	0.16			
5						450.00	391.30		0.00	0.00	#DIV/0!		#DIV/0!	5.00	#DIV/0!		#DIV/0!	0.00			
6					7376.232	450.00	391.30	35.00	19.83	0.43	2.33	40.00	224.27	5.00	229.27						
7					10256.232	450.00	391.30	35.00	19.83	0.43	2.33	40.00	264.45	5.00	269.45						
8					9001.05	450.00	391.30	35.00	19.83	0.43	2.33	40.00	247.74	5.00	252.74						
9																					
10																					

La sezione è sovradimensionata. Modifichiamo le specifiche, inserendo il nuovo valore, e ripetiamo



Il momento massimo è nuovamente inferiore a quello utilizzato nel dimensionamento, ma la differenza tra i due valori è inferiore alla differenza tra quelli precedenti quindi ci stiamo avvicinando ad una ottimizzazione della sezione. Ripetiamo il processo ed otteniamo una nuova sezione con H=250,6cm.

Utilizzando il calcestruzzo reputiamo ragionevole tenere la sezione precedente poiché consideriamo l'approssimazione dovuta alle modalità di realizzazione. Se avessimo avuto necessità di diminuire le sezioni avremmo potuto spostare i vincoli in posizioni più favorevoli.



Verifichiamo la trave di bordo a torsione. $0,53 \text{ N/mm}^2 < 2,83 \text{ N/mm}^2$, quindi è verificata.

		M_t (KNm)	f_{ct} (N/mm ²)	f_{ct} (N/mm ²)	f_{ct} (N/mm ²)	a (cm)	b (cm)	a/b	α	τ_{max} (N/mm ²)
1		280,00	60,0	7,50	5,00	50,0	110,0	0,5	3,82	4,63
2		140,00	60,0	7,50	5,00	30,0	110,0	0,3	3,49	3,86
3		375,00	50,0	6,25	4,17	40,0	130,0	0,3	3,55	5,55
4		444,00	50,0	6,25	4,17	40,0	130,0	0,3	3,55	6,57
5		48,00	60,0	7,50	5,00	40,0	130,0	0,3	3,55	0,71
6		120,00	35,0	4,38	2,92	40,0	130,0	0,3	3,55	1,78
7		137,70	34,0	4,25	2,83	40,0	255,0	0,2	3,28	0,53

Anche se la trave di bordo è verificata, sarebbe opportuno utilizzare una sezione più tozza in modo da sopportare meglio la torsione e diminuire l'inflessione delle travi centrali.