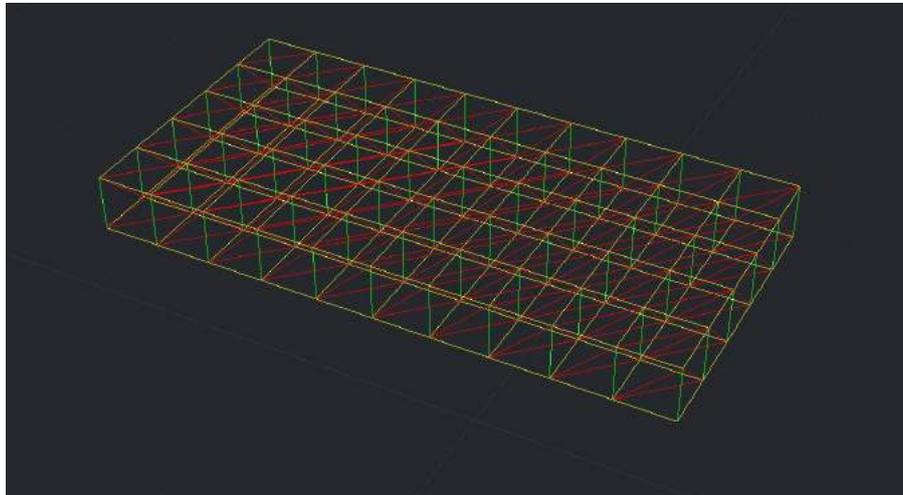


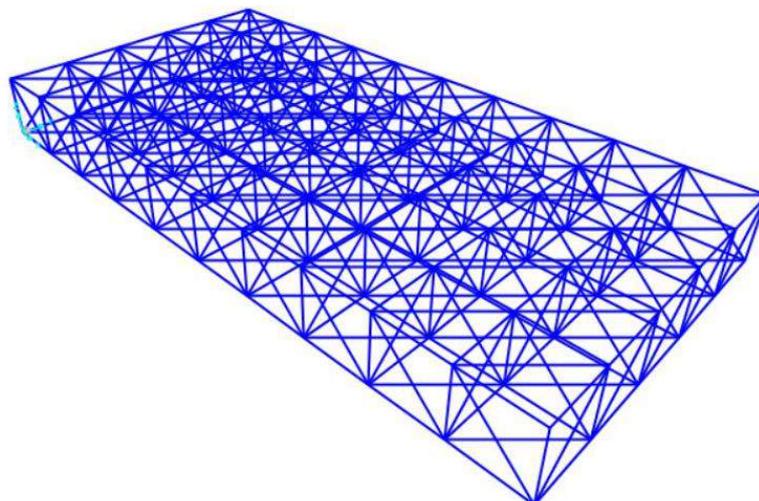
In questo primo esercizio ci si è serviti dei programmi Autocad, SAP2000 ed Excel per operare il predimensionamento di una travatura reticolare.

Il primo passaggio da compiere, una volta definite le caratteristiche principali dell'oggetto di studio, è quello di disegnare la struttura schematicamente come sistema di più cubi rappresentati unicamente dagli spigoli e dai segmenti diagonali che dividono ciascuna faccia quadrata in due triangoli. Una volta scelte le dimensioni del complesso e realizzato su Autocad, si può importare il modello in SAP2000.



C'è da specificare che esistono due possibilità per il disegno su Autocad, che hanno conseguenze nell'importazione successiva: si può disegnare su un solo layer o distinguere i livelli per ciascuna tipologia di asta (ad esempio orizzontale, verticale, obliqua). Nella prima condizione, si inserisce nel programma il disegno completo, nel secondo caso è necessario specificare il layer che si sta importando, e va ripetuta la procedura di importazione per ogni livello (SAP è in grado di riconoscere un layer alla volta).

Il disturbo dovuto alla reiterazione del gesto è ripagato dal fatto che se necessario, sarà possibile evidenziare o visualizzare solo gli elementi di un layer specifico senza dover selezionare elemento per elemento, semplicemente con un comando.



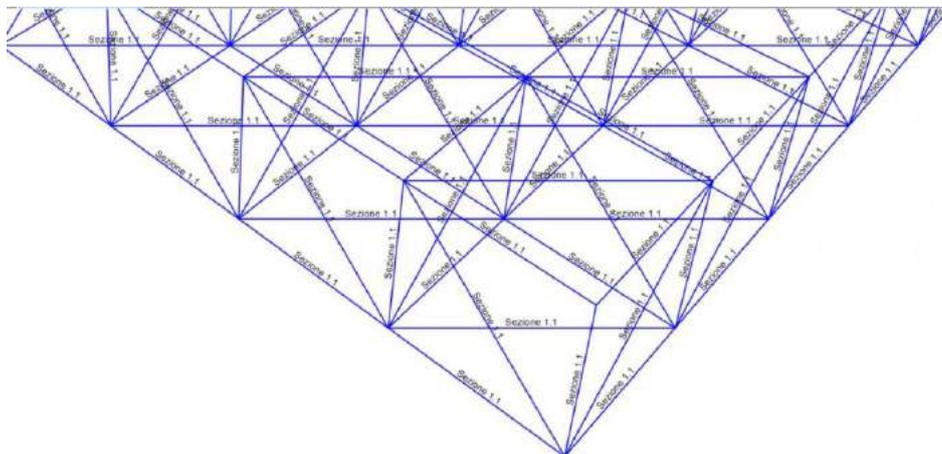
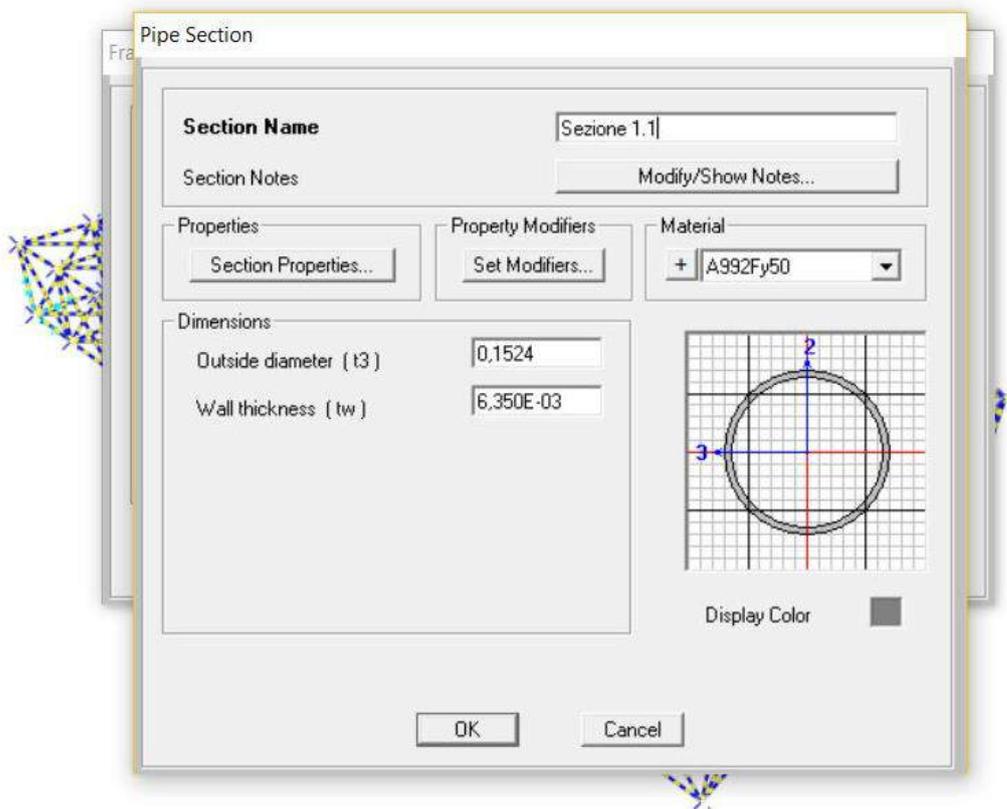
[se si desidera non avere problemi con l'importazione, è possibile disegnarla direttamente su SAP2000]

Mentre per gli elementi disegnati direttamente sul programma, se si fa correre l'analisi dei carichi, verrà assegnata automaticamente una sezione, se si importa un file esterno, è necessario scegliere il profilo che il segmento rappresenta. Lo si fa selezionando le aste (nel nostro caso tutte) e andando su

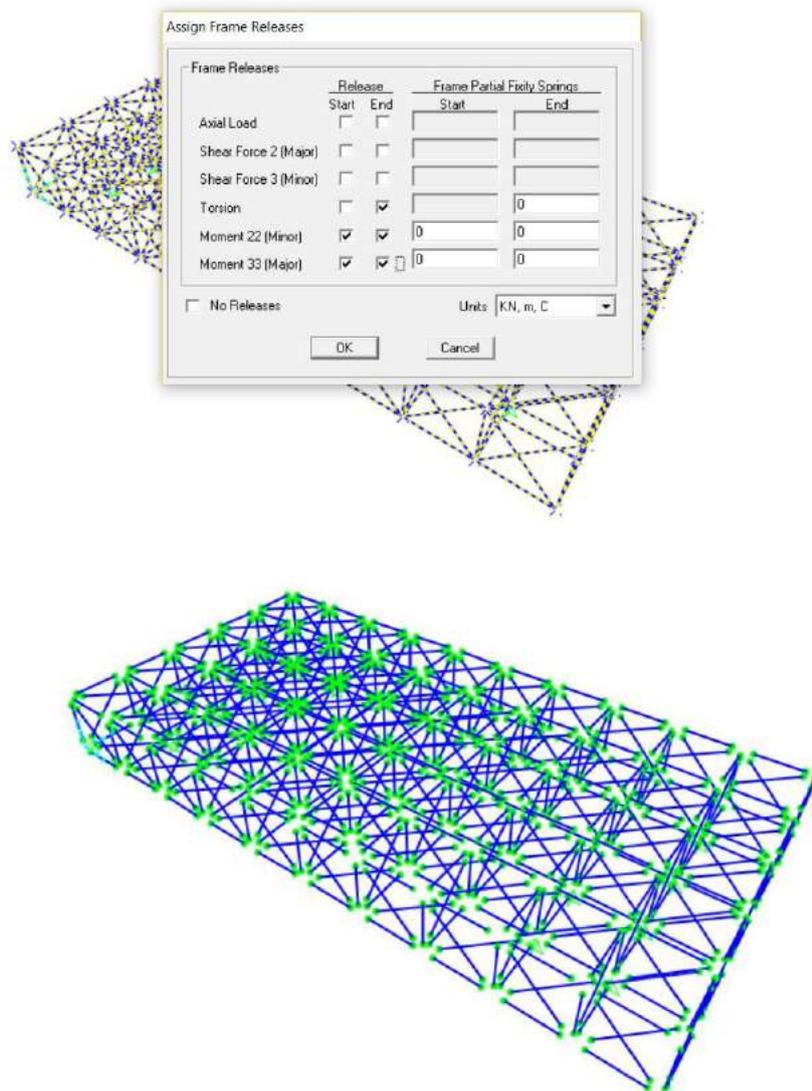
Assign > frame > frame section > Add New Property

In questo caso abbiamo scelto un profilo tubolare cavo con sezione circolare, andando sulla tipologia di materiale 'Steel', selezionando 'Pipe' e dando un nome alla sezione, che si è lasciata dimensionata secondo default.

Ci sarebbe anche la possibilità di importare la sezione da un profilario che fa parte della libreria del programma, selezionando **Import** invece di Add, aprendo il file EURO.PRO e scegliendo la tipologia tra quelle proposte.

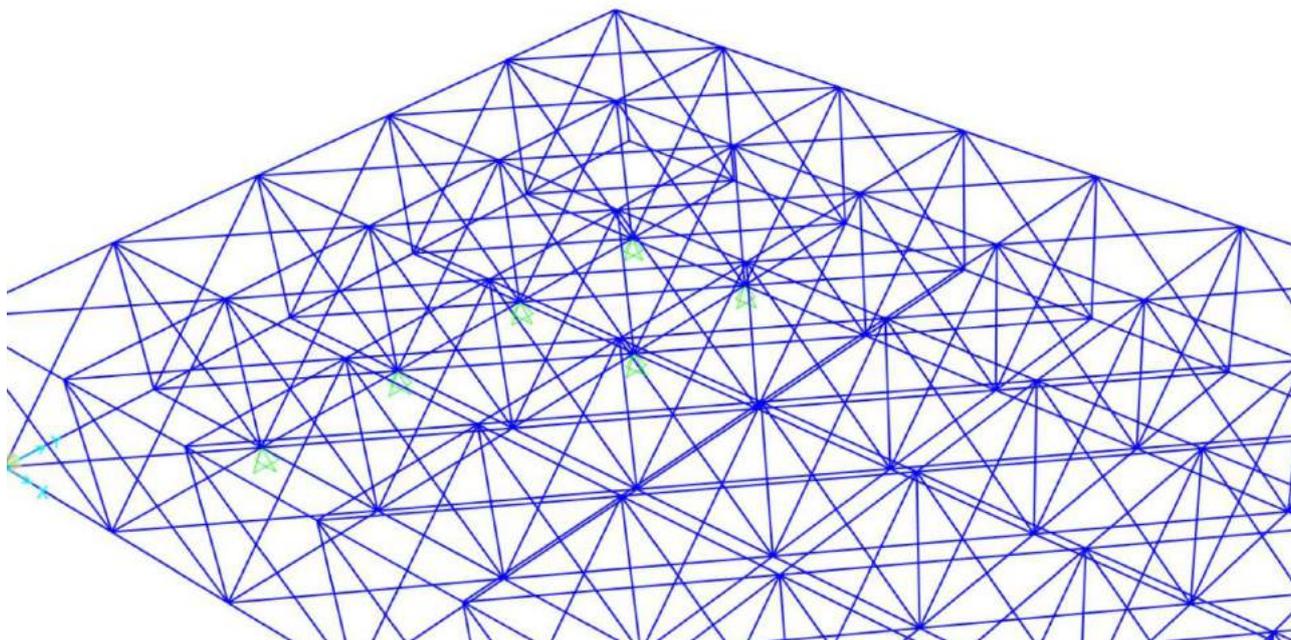
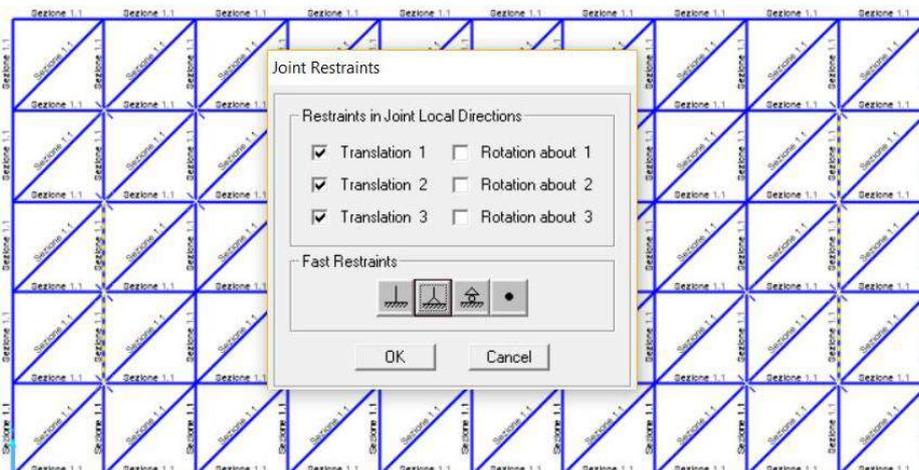


Una volta definita la sezione, vanno posizionati i vincoli, esterni e interni. Partendo dai secondi, i vincoli interni tra le aste di una travatura reticolare del genere sono cerniere. Tuttavia, dato che il programma non è in grado di rappresentarle, si può indicare la loro presenza applicando un rilascio del momento ai nodi tra le aste (le cerniere interne hanno la caratteristica di avere momento nullo (di non far passare il momento)), selezionando tutta la struttura e andando su **Assign > Frame > Releases/Partial Fixity**, spuntando poi il momento su entrambi gli assi (Moment 22, Moment 33), all'inizio e alla fine dell'asta (start, end), e la torsione alla fine.

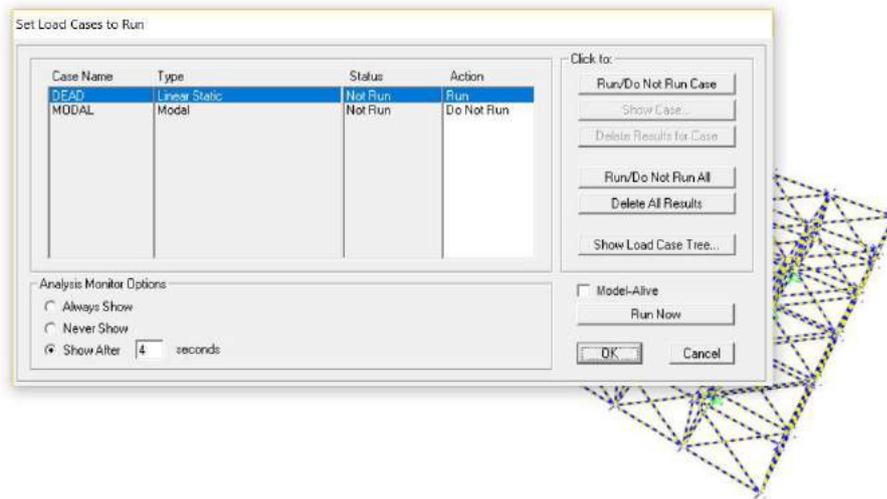


Per i vincoli esterni basta selezionare i punti che corrispondono ai nodi scelti, andare su **Assign > Joint > Restraint**, e spuntare i dati corrispondenti al vincolo scelto o direttamente l'icona che lo rappresenta.

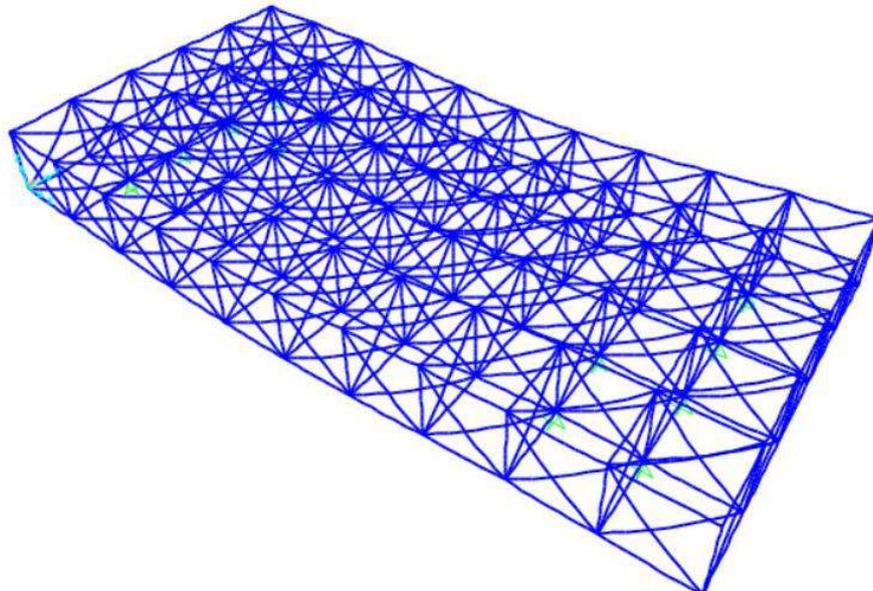
Nel nostro caso abbiamo inserito 12 cerniere disposte come mostrato nell'introduzione.



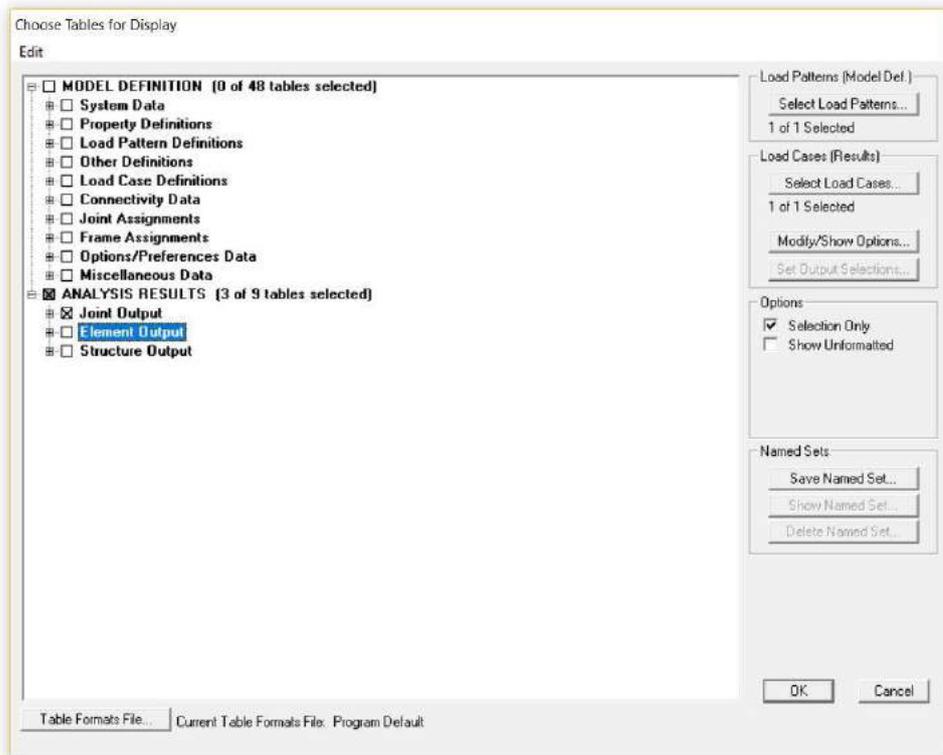
A questo punto si può far correre l'analisi dei carichi con il solo peso proprio della struttura. Si va su **Analyze > Set Load Cases to Run**, si disattiva il carico definito come "modal" premendo su "Run/Do not Run" dopo averlo selezionato, e si procede con "Run Now".



Sullo schermo apparirà la struttura deformata; per avere informazioni dal punto di vista quantitativo si possono consultare le tabelle dei risultati dell'analisi premendo **Ctrl + T** o andando su **Display > Show Tables**.



In questo momento ciò che ci interessa è conoscere il peso della struttura, ed essendo i nodi a reagire al carico (in particolare i nodi dove sono stati impostati i vincoli), la tabella che interesserà visionare sarà quella dei “Joint Output” (spuntare **Joint Output** e premere ok).



Una volta che si apre la nuova schermata, dalla tendina si seleziona **Joint Reactions**, e si esportano i dati su Excel con il percorso **File > Export Current Table > To Excel**.

Joint Reactions

File View Format-Filter-Sort Select Options

Units: As Noted

Joint Reactions

	Joint Text	Output Case Text	Case Type Text	F1 KN	F2 KN	F3 KN	M1 KN-m	M2 KN-m	M3 KN-m
▶	2	DEAD	LinStatic	27.395	-5.476	59.542	0	0	0
	34	DEAD	LinStatic	-34.772	-16.171	56.719	0	0	0
	38	DEAD	LinStatic	10.908	-10.615	5.033	0	0	0
	46	DEAD	LinStatic	14.135	-4.179	17.04	0	0	0
	62	DEAD	LinStatic	-39.554	14.039	69.398	0	0	0
	64	DEAD	LinStatic	20.774	-2.047	-4.321	0	0	0
	68	DEAD	LinStatic	-5.653	-3.745	0.123	0	0	0
	72	DEAD	LinStatic	20.675	-6.993	61.45	0	0	0
	86	DEAD	LinStatic	-5.513	-1.374	15.684	0	0	0
	90	DEAD	LinStatic	2.278	8.047	10.773	0	0	0
	94	DEAD	LinStatic	21.162	14.95	51.254	0	0	0
	108	DEAD	LinStatic	-31.837	14.155	60.821	0	0	0

Record: 1 of 12

Add Tables... Done

La colonna da prendere in considerazione è quella di F3, che indica i carichi sull'asse z.

Si sommano tutti i valori della colonna e si ottiene il carico complessivo che andrà sommato al carico totale dei solai appesi alla reticolare, per poi essere distribuito in maniera uniforme sui nodi.

1	TABLE: Joint Reactions								
2	Joint	OutputCase	CaseType	F1	F2	F3	M1	M2	M3
3	Text	Text	Text	KN	KN	KN	KN-m	KN-m	KN-m
4	2	DEAD	LinStatic	27,395	-5,476	59,542	0	0	0
5	34	DEAD	LinStatic	-34,772	-16,171	56,719	0	0	0
6	38	DEAD	LinStatic	10,908	-10,615	5,033	0	0	0
7	46	DEAD	LinStatic	14,135	-4,179	17,04	0	0	0
8	62	DEAD	LinStatic	-39,554	14,039	69,398	0	0	0
9	64	DEAD	LinStatic	20,774	-2,047	-4,321	0	0	0
10	68	DEAD	LinStatic	-5,653	-3,745	0,123	0	0	0
11	72	DEAD	LinStatic	20,675	-6,983	61,45	0	0	0
12	86	DEAD	LinStatic	-5,513	-1,974	15,884	0	0	0
13	90	DEAD	LinStatic	2,278	8,047	10,773	0	0	0
14	94	DEAD	LinStatic	21,162	14,95	51,254	0	0	0
15	108	DEAD	LinStatic	-31,837	14,155	60,821	0	0	0
16									
17									
18									
19						Totale peso proprio			
20						=SOMMA(F4:F15)			
21									
22									

N° piani: 3

Mq per piano: 450 (mq)

Peso per piano al mq: 10 kN/mq

Peso proprio totale: 403,716 kN

Carico solai: 450 mq x 10 kN x 3 piani = 13.500 kN

Carico totale: 13500 kN + 403,716 kN = 13.903,716 kN

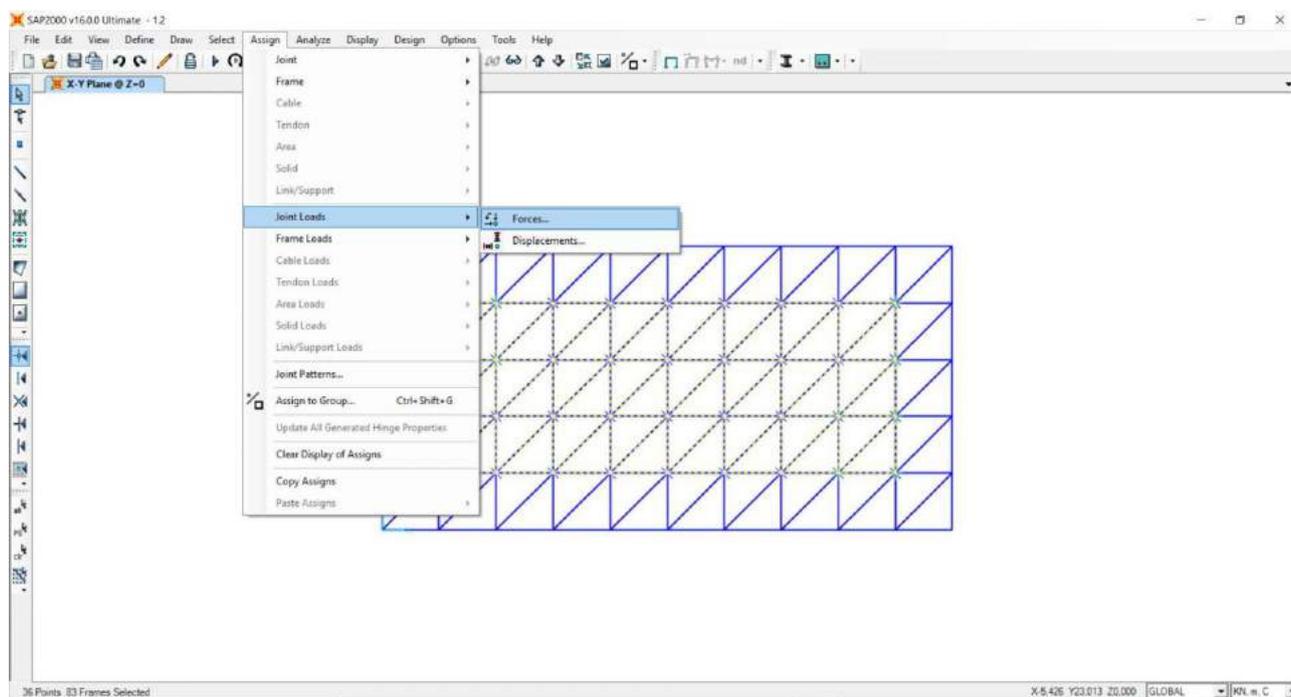
N° nodi: 66

N° nodi angolari: 4

N° nodi perimetrali: 26

N° nodi centrali: 36

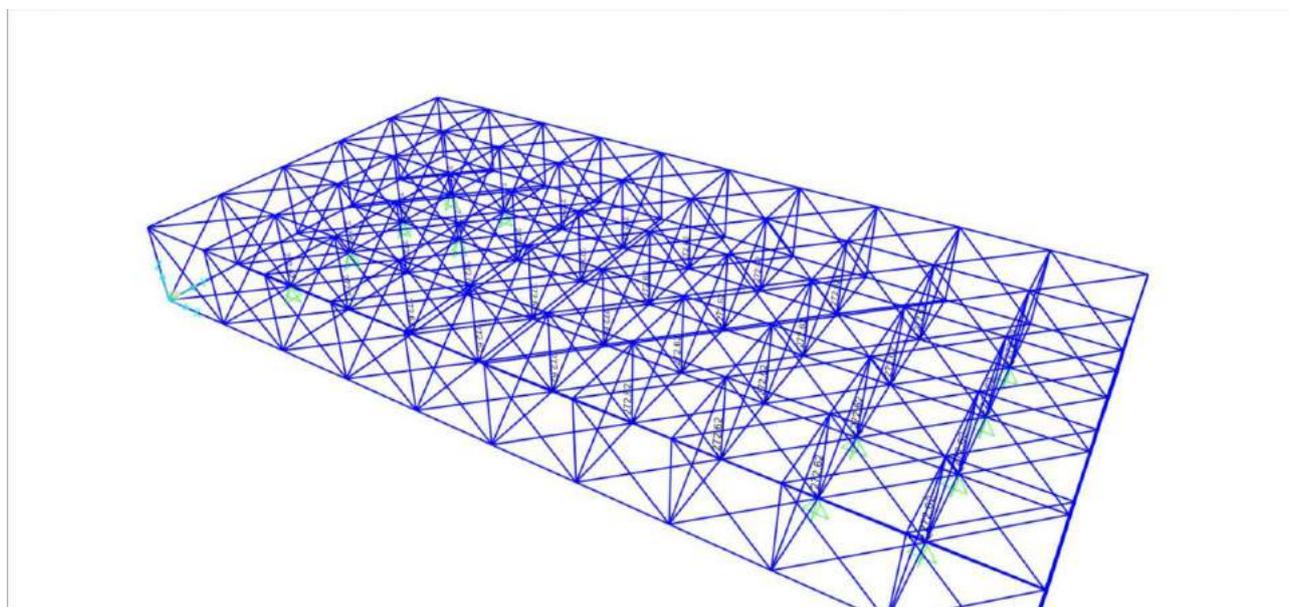
Per applicare i carichi differenti sui nodi su SAP2000 occorre prima di tutto sbloccare la struttura deselegnando l'icona del lucchetto in alto a sinistra, in seguito definire un caso di carico. Si va su **Define > Load Patterns**, si sostituisce "F" al Dead che si trova sulla casella in alto e si preme "**Add New Load Pattern**".



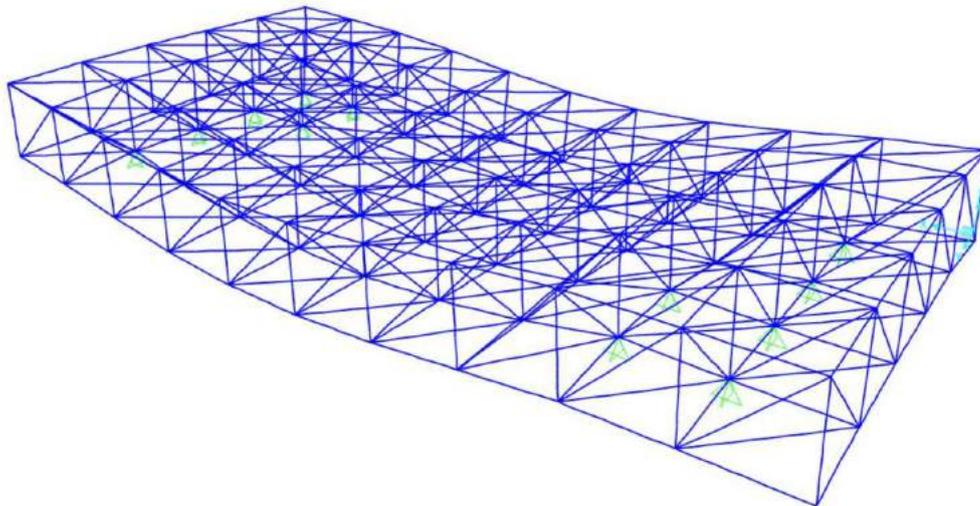
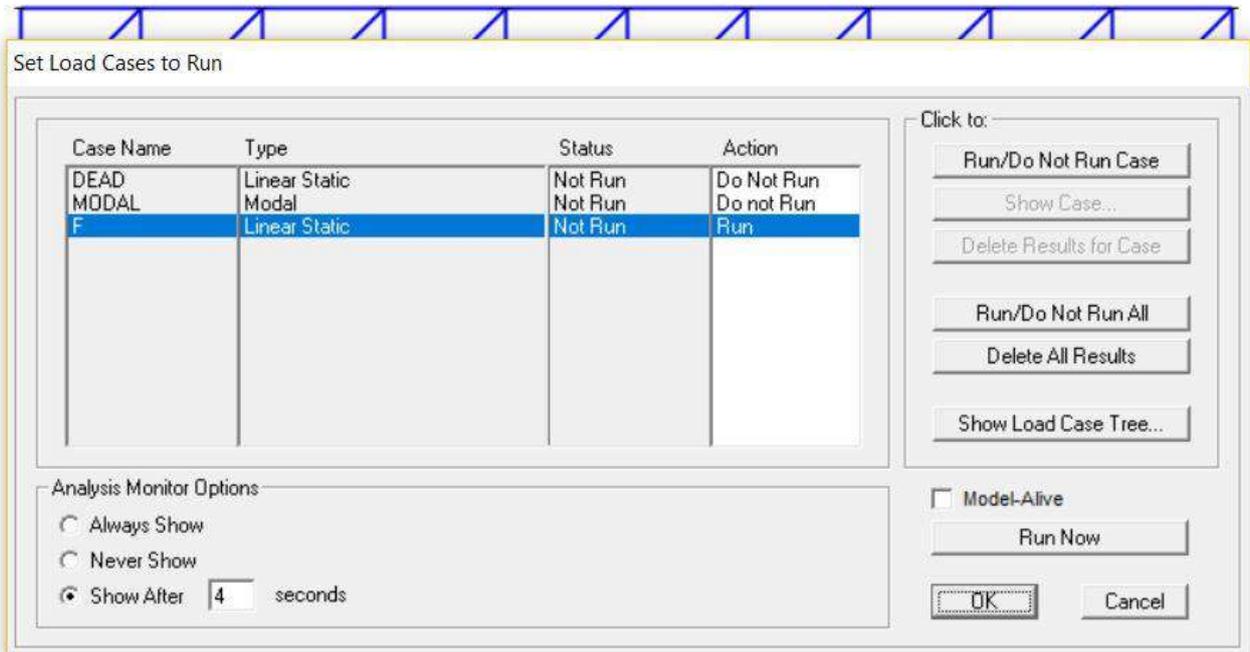
Nel nostro caso abbiamo considerato ciascuna F come la somma dei contributi puntuali del peso proprio della struttura e del carico dei solai.

Un'alternativa per non sommare prima i due carichi sarebbe stata quella di definire una "Combinazione" di carico tra F (in questo caso solo dei solai) e Dead, il peso proprio della struttura.

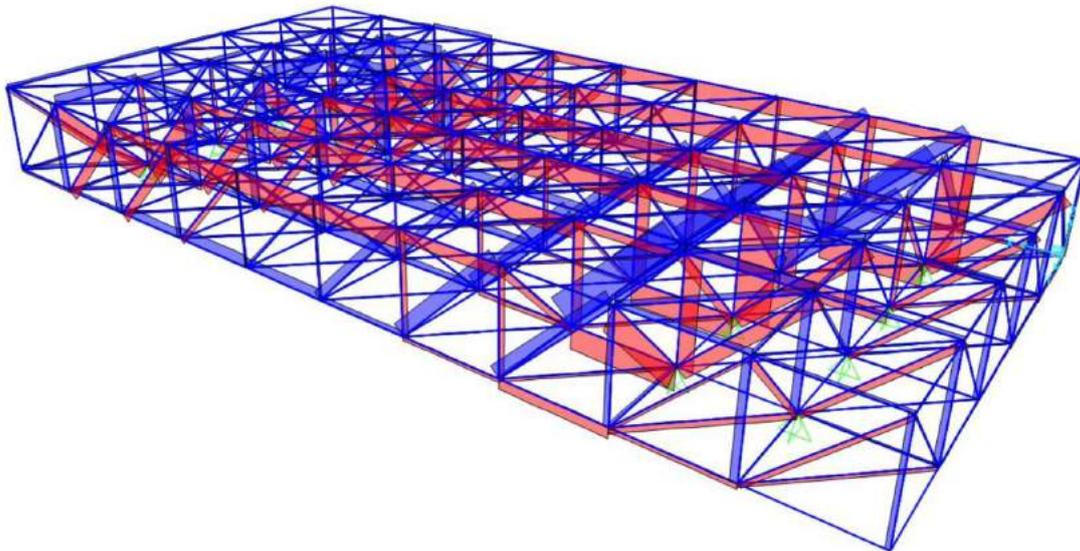
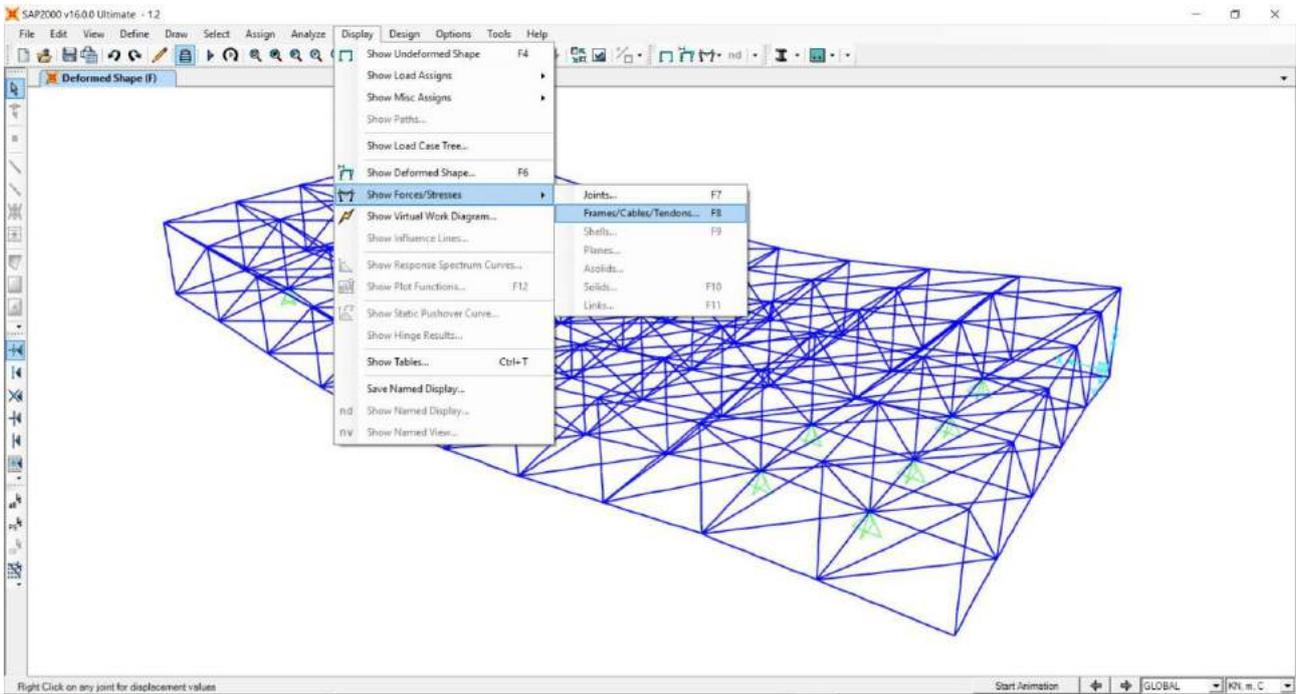
Per assegnare i carichi puntuali basta selezionare i nodi, andare su **Assign > Joint Loads > Forces** e indicare il valore su "**Force Global Z**" con il segno "-" davanti (perché verso il basso), dopo aver indicato secondo la tendina che si tratta del caso di carico F.



A questo punto si fa ripartire l'analisi, questa volta con F.



Su **Display > Show Forces/Stresses > Frame Cables/Tensions**, è possibile vedere il grafico delle sollecitazioni sulle aste della travatura.



Una volta aperte le tabelle dei risultati, andrà analizzata quella degli **Element Output**, in particolare **Element Forces – Frames**. La colonna che interessa in questo passaggio è quella di “P”, lo sforzo normale.

1	TABLE: Element Forces - Frames											
2	Frame	Station	OutputCase	CaseType	P	V2	V3	T	M2	M3	FrameElem	ElemStation
3	378	0	F	LinStatic	-1567,741	-0,336	0	0	0	0	378-1	0
4	378	2,12132	F	LinStatic	-1567,405	1,665E-16	0	0	0	0,3568	378-1	2,12132
5	378	4,24264	F	LinStatic	-1567,069	0,336	0	0	0	-6,661E-16	378-1	4,24264
6	36	3	F	LinStatic	-1365,416	0	0	0	0	0	36-1	3
7	36	1,5	F	LinStatic	-1365,079	0	0	0	0	0	36-1	1,5
8	36	0	F	LinStatic	-1364,743	0	0	0	0	0	36-1	0
9	334	0	F	LinStatic	-1272,717	-0,336	0	0	0	0	334-1	0
10	334	2,12132	F	LinStatic	-1272,38	1,665E-16	0	0	0	0,3568	334-1	2,12132
11	334	4,24264	F	LinStatic	-1272,044	0,336	0	0	0	-6,661E-16	334-1	4,24264
12	1	3	F	LinStatic	-1215,117	0	0	0	0	0	1-1	3
13	1	1,5	F	LinStatic	-1214,78	0	0	0	0	0	1-1	1,5
14	1	0	F	LinStatic	-1214,444	0	0	0	0	0	1-1	0
15	464	0	F	LinStatic	-1200,923	-0,336	0	0	0	0	464-1	0
16	464	2,12132	F	LinStatic	-1200,587	1,665E-16	0	0	0	0,3568	464-1	2,12132
17	464	4,24264	F	LinStatic	-1200,251	0,336	0	0	0	-6,661E-16	464-1	4,24264
18	149	0	F	LinStatic	-1071,773	-0,336	0	0	0	0	149-1	0
19	149	0,5	F	LinStatic	-1071,773	-0,224	0	0	0	0,1402	149-1	0,5
20	149	1	F	LinStatic	-1071,773	-0,112	0	0	0	0,2243	149-1	1
21	149	1,5	F	LinStatic	-1071,773	-5,551E-17	0	0	0	0,2523	149-1	1,5
22	149	2	F	LinStatic	-1071,773	0,112	0	0	0	0,2243	149-1	2
23	149	2,5	F	LinStatic	-1071,773	0,224	0	0	0	0,1402	149-1	2,5
24	149	3	F	LinStatic	-1071,773	0,336	0	0	0	1,665E-16	149-1	3
25	191	0	F	LinStatic	-1070,014	-0,336	0	0	0	0	191-1	0

La procedura da eseguire è quella di dividere gli sforzi di compressione (quelli con il segno negativo) e gli sforzi di trazione (con segno positivo) in quattro categorie ciascuno.

Ognuna di queste avrà un proprio valore massimo, ed è quello che andrà preso in considerazione per il dimensionamento delle sezioni.

Per le aste sollecitate a trazione il calcolo è semplice: basta inserire i valori massimi delle quattro categorie sul foglio di calcolo Excel che ci è stato fornito precedentemente. Sulla colonna Amin, secondo le operazioni predefinite, risulterà il valore di area minima per sopportare lo sforzo di trazione. Questo valore andrà confrontato con quelli riportati su un sagomario (nel nostro caso quello della Oppo); ovviamente andrà scelta la sezione uguale o immediatamente superiore al valore ottenuto dai calcoli.

Calcolo dell'area minima da sforzo normale di trazione					
N	fyk	γ_m	f_d	A_min	A_design
kN	Mpa		Mpa	cm2	cm2
323,63	235,00	1,05	223,81	14,46	15,40
636,93	235,00	1,05	223,81	28,46	33,60
907,58	235,00	1,05	223,81	40,55	47,00
1289,18	235,00	1,05	223,81	57,60	58,90

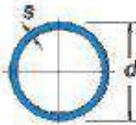
Per le aste sollecitate a compressione invece il procedimento si complica leggermente perché oltre l'area minima andrà rispettato il valore del giratore di inerzia minimo, termine che rappresenta la presa in considerazione dell'effetto del Carico Critico Euleriano. Se il profilo scelto avesse un raggio di inerzia più piccolo del minimo calcolato, andrebbe 'scartato' e scelto quello il cui giratore di inerzia sia uguale o superiore a quello da tabella.

Calcolo dell'area minima da sforzo di compressione (resistenza materiale)					Calcolo dell'inerzia minima per sforzo di compressione (instabilità euleriana)						Ingegnerrizzazione sezione e verifica snellezza per una membratura principale (< 200)			
N	f _{yk}	Y _{m0}	f _{yd}	A _{min}	E	beta	I	Lam*	rho_min	I _{min}	A _{design}	I _{design}	rho_min	lam
kN	N/mm ²		N/mm ²	cm ²	Mpa		m		cm	cm ⁴	cm ²	cm ⁴	cm	
-386,59	235,00	1,05	223,81	17,27	210000,00	1,00	3,00	96,23	3,12	168	19,10	437	4,78	62,76
-790,24	235,00	1,05	223,81	35,31	210000,00	1,00	3,00	96,23	3,12	343	39,50	2247	7,54	39,79
-1175,80	235,00	1,05	223,81	52,54	210000,00	1,00	3,00	96,23	3,12	511	52,80	4696	9,43	31,81
-1567,74	235,00	1,05	223,81	70,05	210000,00	1,00	3,00	96,23	3,12	681	70,70	8869	11,20	26,79

Una volta operata la scelta, una verifica immediata per le aste sollecitate a compressione è quella che consiste nel vedere che il giratore di inerzia del profilo sia maggiore o uguale al rapporto tra la lunghezza libera di inflessione dell'asta (l₀) e 200.

$$P \geq I_0/200$$

Tubi in Acciaio a sezione circolare

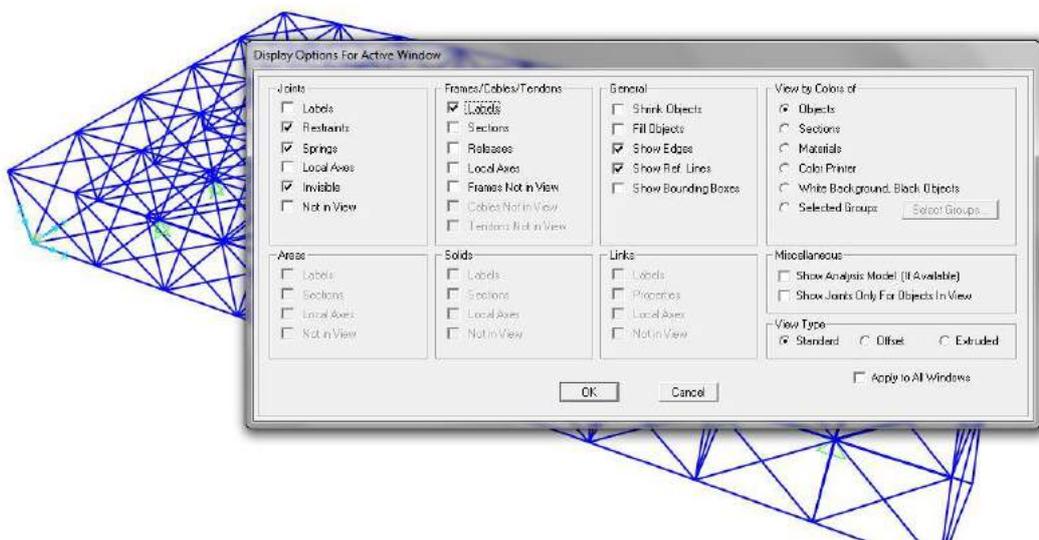


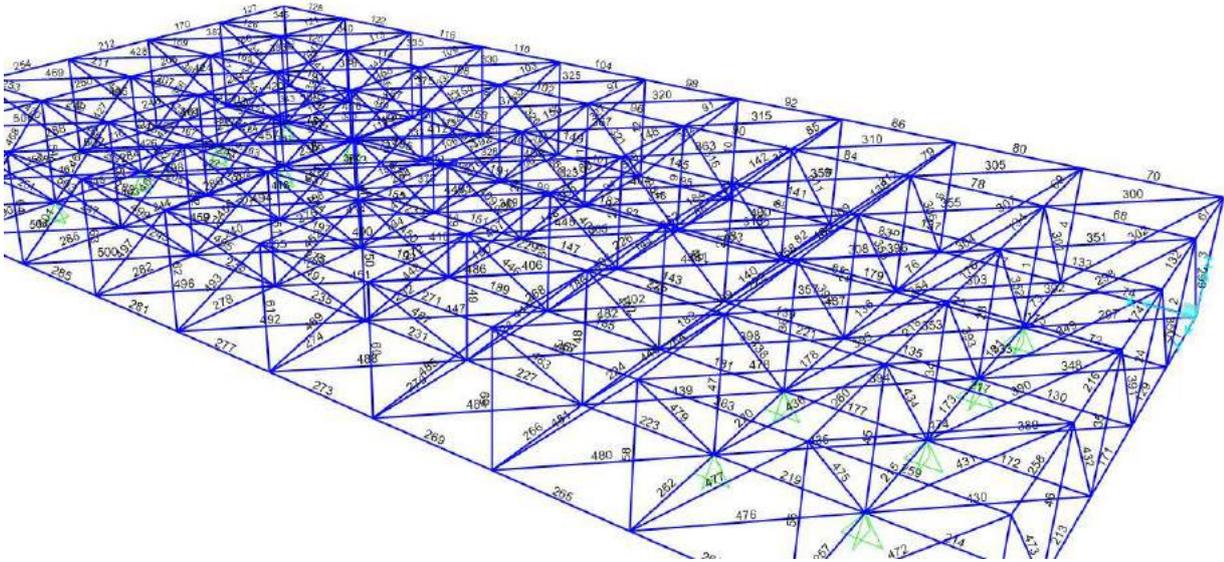
d x e mm	Peso kg/m	Sezione di passaggio cm ²	Sezione metallo cm ²	Momento di inerzia J = cm ⁴	Modulo di resistenza W = cm ³	Raggio di inerzia i = cm
33,7 x 2,6	2,010	6,380	2,540	3,090	1,840	1,100
33,7 x 2,9	2,220	6,110	2,810	3,380	1,990	1,090
33,7 x 3,2	2,420	5,850	3,070	3,600	2,140	1,080
42,4 x 2,6	2,570	10,90	3,250	6,460	3,050	1,410
42,4 x 2,9	2,840	10,50	3,600	7,080	3,330	1,400
42,4 x 3,2	3,110	10,20	3,940	7,820	3,590	1,390
48,3 x 2,6	2,950	14,60	3,730	9,780	4,050	1,620
48,3 x 2,9	3,270	14,20	4,140	10,70	4,430	1,610
48,3 x 3,2	3,590	13,80	4,530	11,60	4,800	1,600
60,3 x 2,9	4,140	23,30	5,230	21,60	7,160	2,030
60,3 x 3,2	4,540	22,80	5,740	23,50	7,780	2,020
60,3 x 3,6	5,070	22,10	6,410	25,90	8,580	2,010
76,1 x 2,6	4,750	39,50	6,000	40,60	10,70	2,600
76,1 x 2,9	5,280	38,80	6,670	44,70	11,80	2,590
76,1 x 3,2	5,800	38,20	7,330	48,80	12,80	2,580
76,1 x 3,6	6,490	37,30	8,200	54,00	14,20	2,570
88,9 x 2,6	5,570	55,00	7,050	65,70	14,80	3,050
88,9 x 3,2	6,810	53,50	8,620	79,20	17,80	3,030
88,9 x 3,6	7,630	52,40	9,650	87,90	19,80	3,020
88,9 x 4,0	8,430	51,40	10,70	96,30	21,70	3,000
114,3 x 3,6	9,900	90,10	12,50	192,0	33,60	3,920
114,3 x 4,0	11,00	88,70	13,90	211,0	36,90	3,900
114,3 x 4,5	12,10	87,10	15,50	234,0	41,00	3,890
139,7 x 2,9	9,860	141,0	12,50	292,0	41,80	4,840
139,7 x 3,6	12,20	138,0	15,40	357,0	51,10	4,810
139,7 x 4,0	13,50	136,0	17,10	393,0	56,20	4,800
139,7 x 4,5	14,90	134,0	19,10	437,0	62,60	4,780
168,3 x 3,2	13,10	206,0	16,80	568,0	67,20	5,840
168,3 x 4,0	16,30	202,0	20,80	697,0	82,80	5,810

114,3 x 4,0	11,00	88,70	13,90	211,0	36,90	3,900
114,3 x 4,5	12,10	87,10	15,50	234,0	41,00	3,890
139,7 x 2,9	9,860	141,0	12,50	292,0	41,80	4,840
139,7 x 3,6	12,20	138,0	15,40	357,0	51,10	4,810
139,7 x 4,0	13,50	136,0	17,10	393,0	56,20	4,800
139,7 x 4,5	14,90	134,0	19,10	437,0	62,60	4,780
169,2 x 2,9	12,10	306,0	16,80	566,0	67,00	5,840
219,1 x 4,0	21,40	350,0	27,00	1.564	143,0	7,610
219,1 x 5,0	26,40	343,0	33,60	1.928	176,0	7,570
219,1 x 5,9	31,00	338,0	39,50	2.247	205,0	7,540
273,0 x 4,0	26,70	552,0	33,80	3.058	224,0	9,510
273,0 x 5,6	36,80	538,0	47,00	4.206	308,0	9,460
273,0 x 6,3	41,60	533,0	52,80	4.696	344,0	9,430
323,9 x 4,0	31,80	784,0	40,20	5.144	318,0	11,30

323,9 x 5,9	46,20	765,0	58,90	7.453	460,0	11,20
323,9 x 7,1	55,60	753,0	70,70	8.869	548,0	11,20

L'ulteriore verifica da operare, questa volta per la struttura, consisterà nell'andare a sostituire su SAP2000 a ciascuna asta il proprio profilo e far correre nuovamente l'analisi con il peso effettivo; per poter visualizzare il numero dell'asta, basta andare sull'icona con il quadratino spuntato nella barra in alto, e spuntare **Labels** sulla sezione **Frames**.





Essendo il procedimento di sostituzione per singolo elemento molto lungo, una verifica approssimativa consisterebbe nell'applicare a tutte le aste uno stesso profilo, calcolandone uno medio tra tutti quelli ottenuti.