

## STRUTTURA RETICOLARE 3D IN ACCIAIO

**Obiettivo:** disegnare il modello tridimensionale di una struttura reticolare in acciaio, vincolarla, caricarla e calcolare N, lo sforzo normale di ogni asta componente la struttura. (con  $T=0$ ,  $M=0$  perchè le aste reticolari sono soggette solo a trazione e compressione).

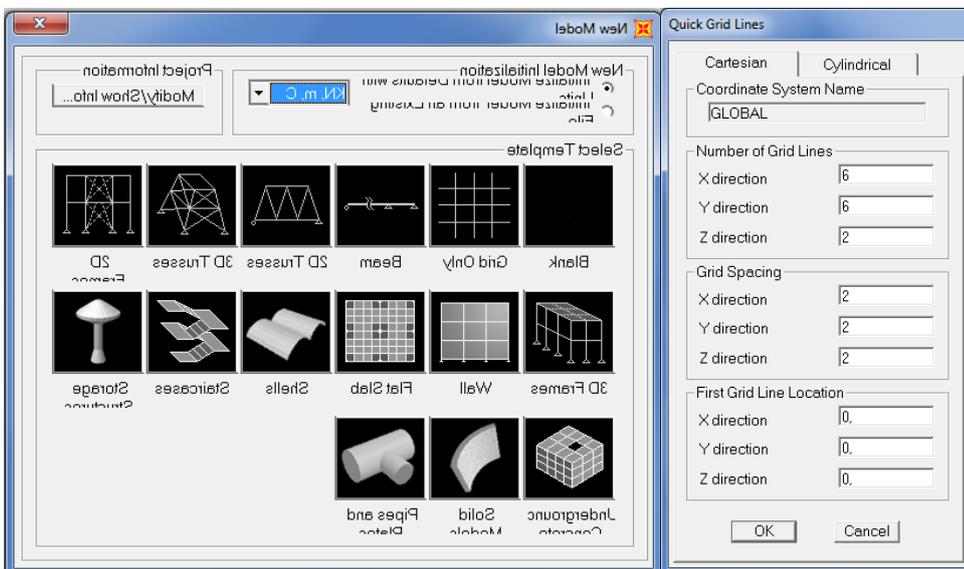
Per fare ciò utilizzo **SAP2000**, un programma che utilizza gli elementi finiti fondato sulla Teoria di Bernulli.

1\_ disegno una griglia cubica:

**\_file/new model**

imposto l'unità di misura in **KN,m,C**

**\_grid only**



considerando il piano cartesiano con  $Z = \text{gravità}$

**number of grid line** (da quante rette deve essere composta la griglia)

**X** (= quante rette  $X=n$ ) = 6

**Y** (=quante rette  $Y=n$ ) = 6

**Z** (quante rette  $Z=n$ ) = 2

**Grid spacing** (quanto spazio vi è tra le rette che compongono la griglia, quindi volendo fare una griglia cubica  $X=Y=Z$ )

**X** (= spazio tra le rette  $X=n$ )= 2 m

**Y**(= spazio tra le rette  $Y=n$ )= 2m

**Z**(= spazio tra le rette  $Z=n$ )= 2m

**First grid line location (centro)**

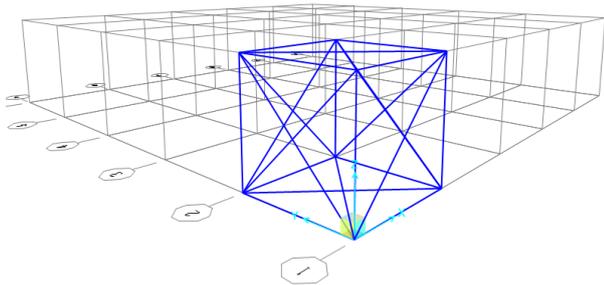
**X = 0**

**Y = 0**

**Z = 0**

2\_ ogni faccia della griglia dovrà essere controventata

**Draw/frame** e disegno un cubo controventato



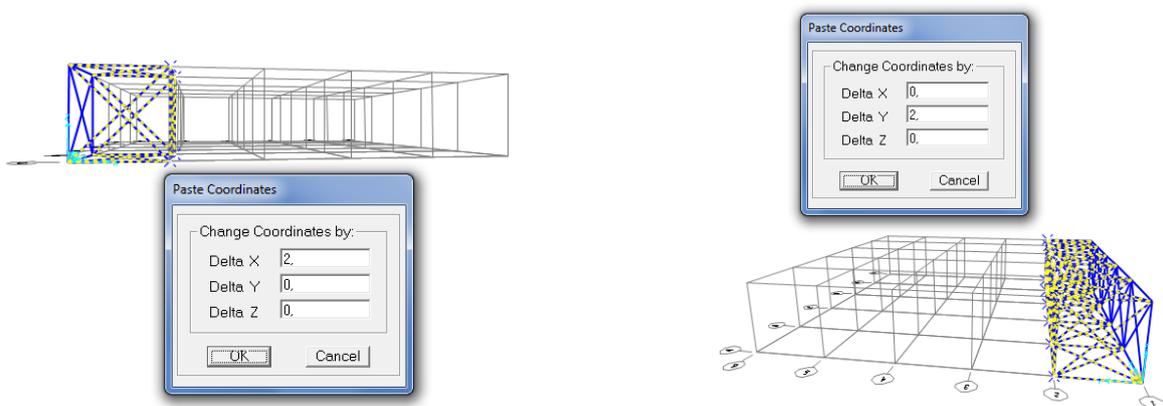
P.S. Per vedere se ho linee sovrapposte seleziono la struttura e

**edit /merge duplicates/ok**

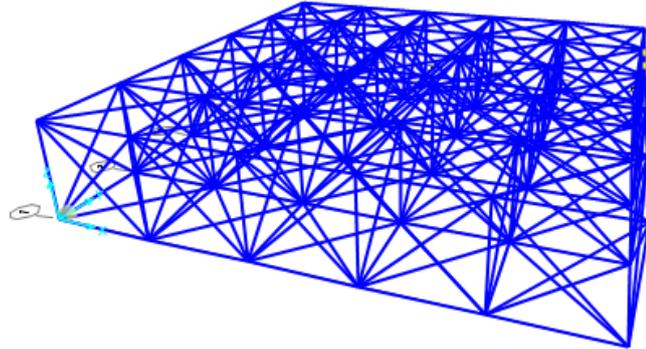
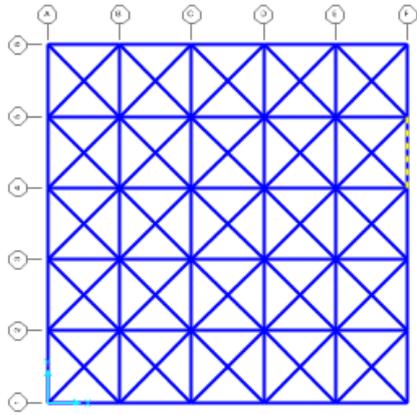
2\_ devo copiare il cubo controventato su tutta la griglia

\_seleziono tutte le facce del cubo che voglio copiare tranne quella in comune tra esistente e la copia, per evitare che si creino linee sovrapposte e con il tasto:

**Ctrl+c/ Ctrl+v** specifico di voler un secondo elemento lungo l' asse X /Y oltre a quello esistente



Adesso la mia griglia è completa.



3\_ controllo che tutti i nodi siano uniti:

\_seleziono tutta la struttura

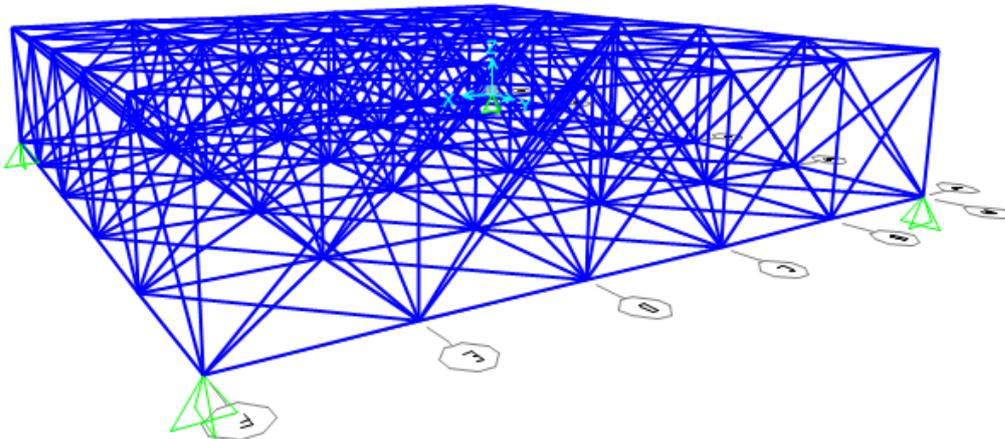
**Edit/Edit Points/Merge Joints/0,1/ok**

4\_ Assegno I vincoli esterni

Voglio assegnargli 4 cerniere

\_seleziono i punti in cui voglio inserirle e con:

**assign/joint/restraints/ scelgo la cerniera/ok**

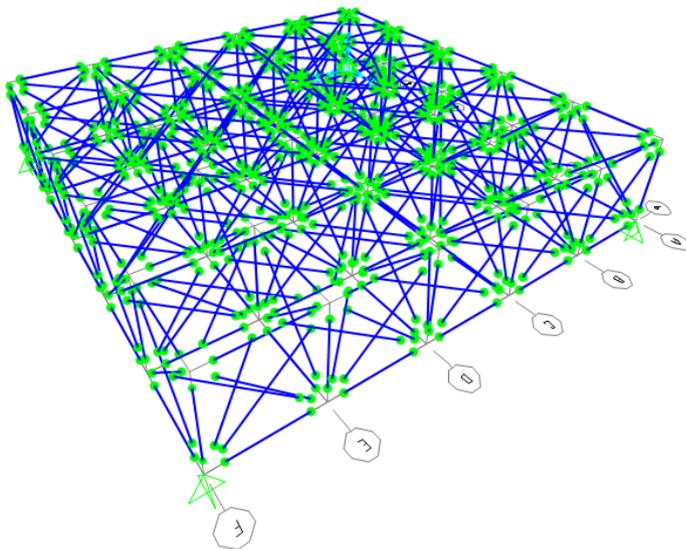
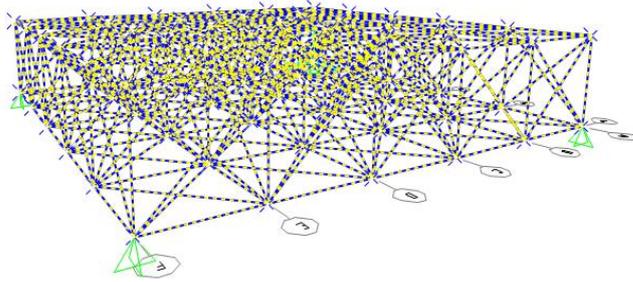
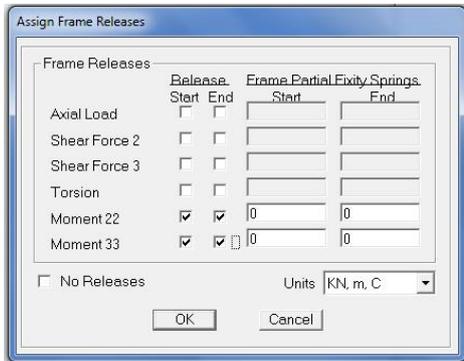


Ho messo degli appoggi alla struttura.

5\_ assegno i vincoli interni alle aste

\_seleziono tutta la struttura

**Assign/frame/releases (spunta su moment 2-2 e moment 3-3)**

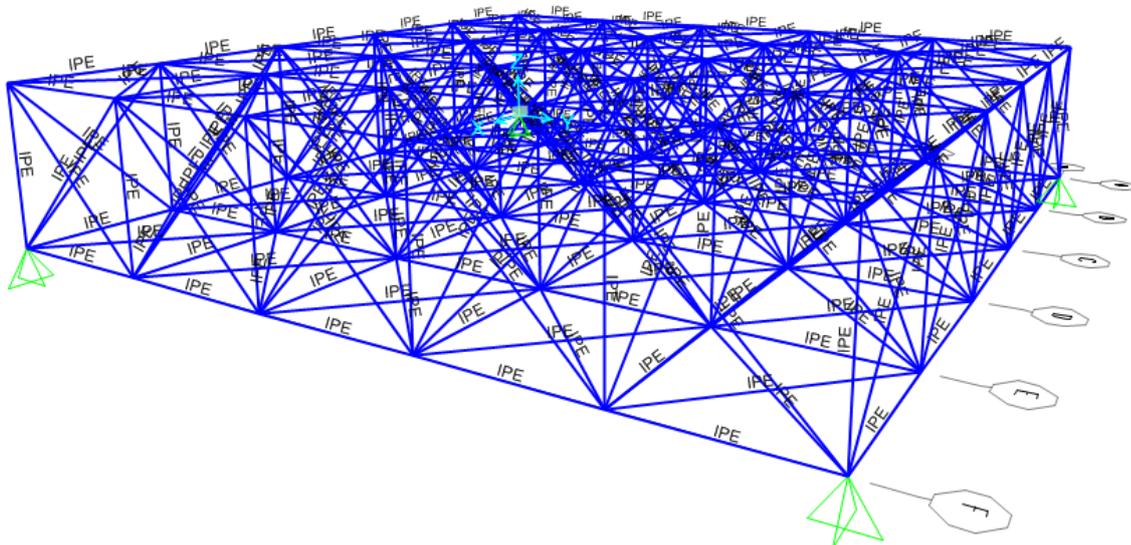
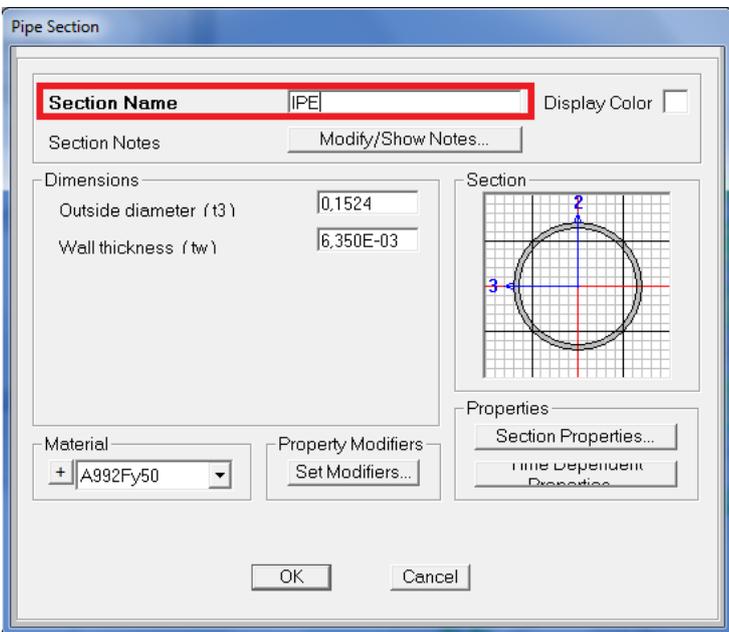
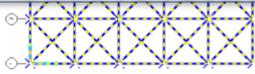
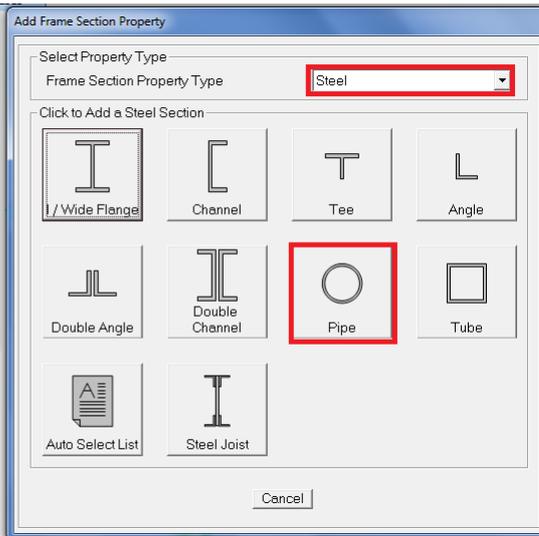
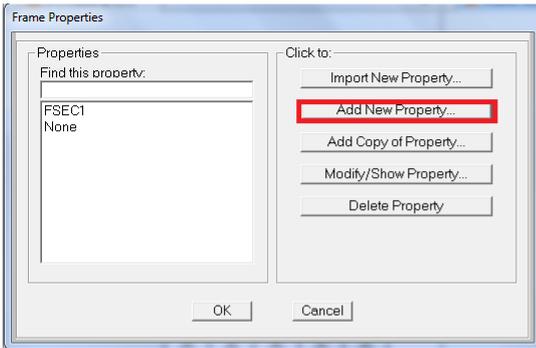


**SCELGO IL PROFILO DA UTILIZZARE**

6\_ voglio che la mia struttura sia composta da tubolari in acciaio.

\_seleziono tutta la struttura e con il comando:

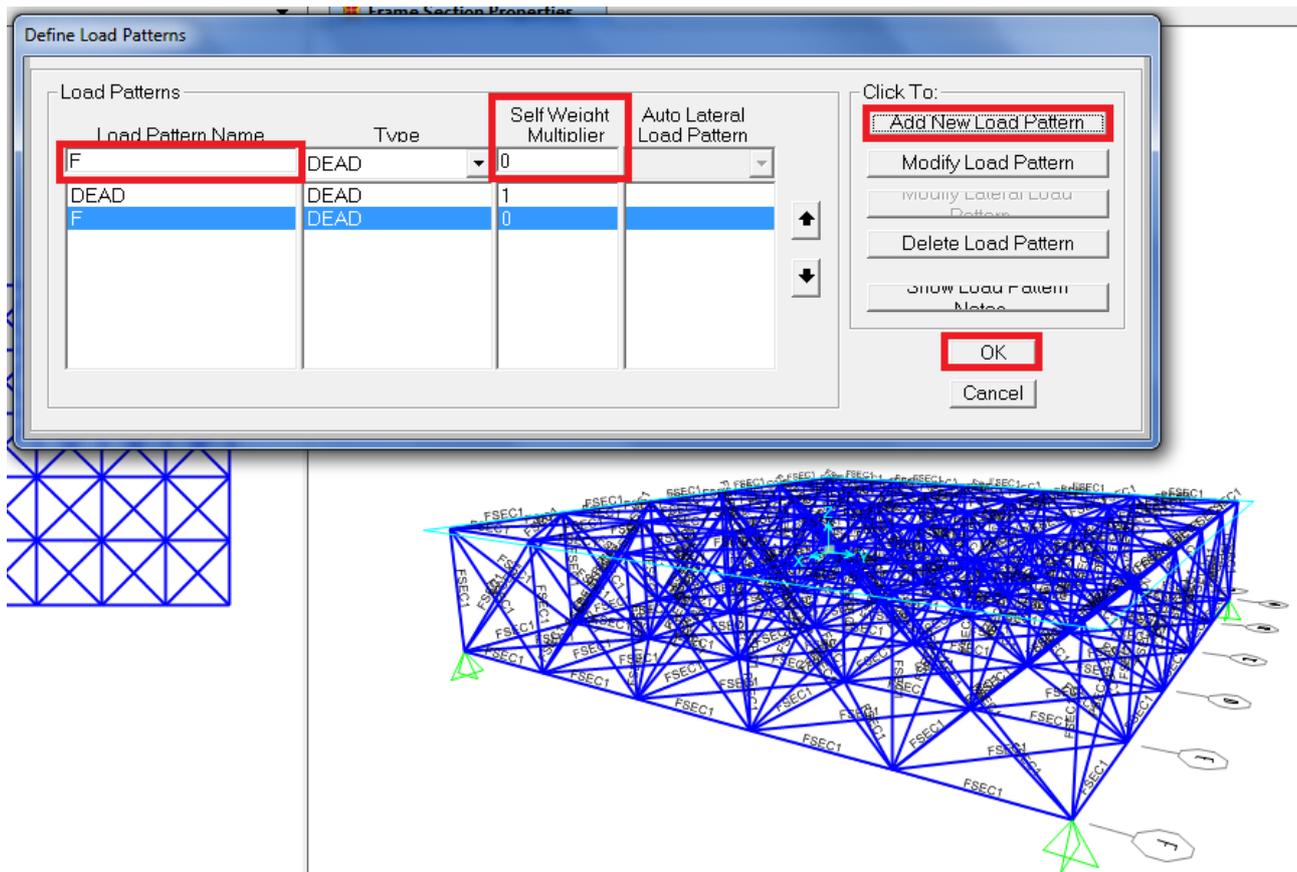
**assign /frame/frame sections / add new property/ PIPE section /gli do un nome e l'ok**



## APPLICO DELLE FORZE CONCENTRATE

7\_ devo prima **CREARE** la forza che voglio concentrare ai nodi senza considerare il peso proprio:

**define/load patterns/chiamo questa forza "F"/self weight multiplier=0/ add new load pattern/ok**

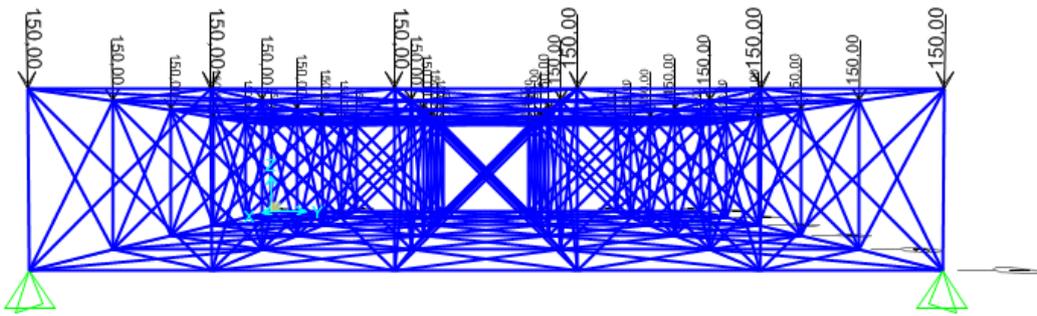
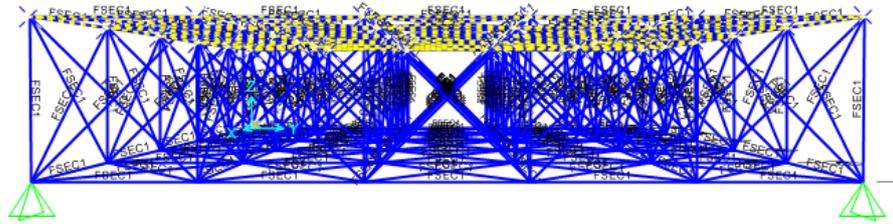
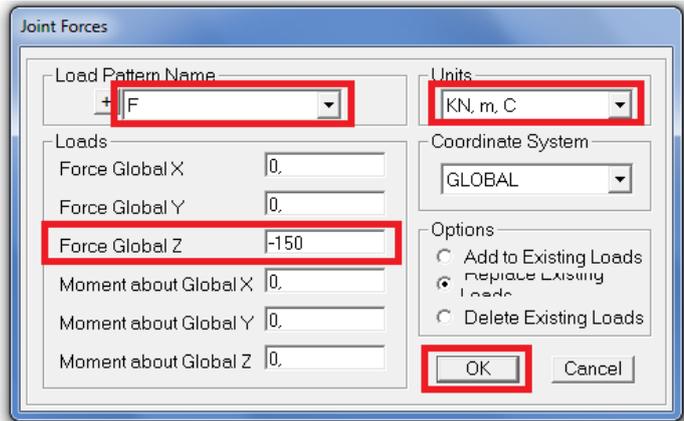
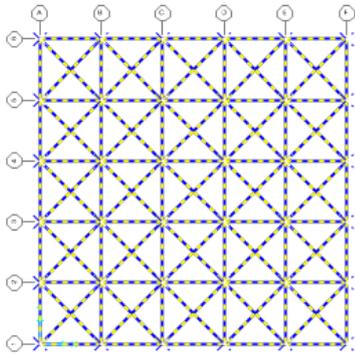


8\_ devo **ASSEGNARE** il carico che ho appena creato:

\_dove devo assegnarlo? Ovviamente sulla parte superiore della struttura, quindi la vado a selezionare (lo posso fare direttamente dalla vista top)

**Assign/joint load/forces /carico il nome della forze che ho appena creato "F"**

**Force global Z = - 150** (perche voglio una forza concentrata nei nodi di intensità pari ad 150 kN verso il basso).

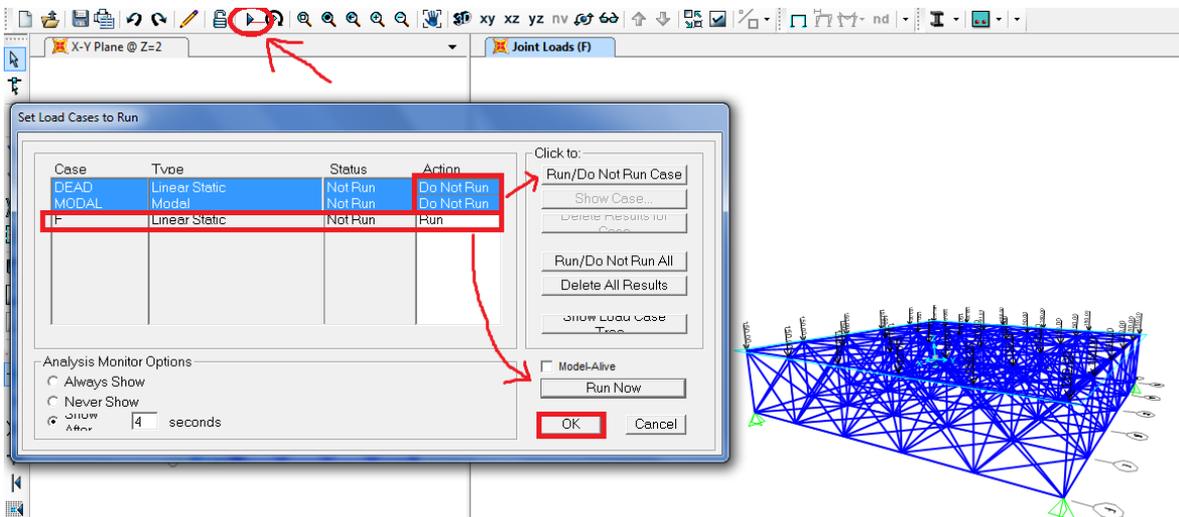


Adesso la mia struttura è caricata.

## ANALISI GRAFICA DELLA DEFORMATA

Creo una nuova cartella nel computer

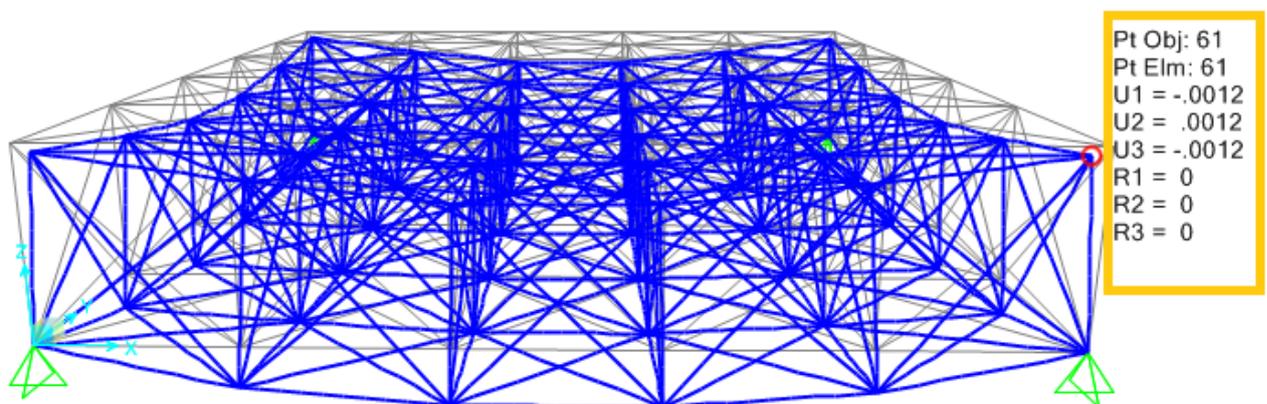
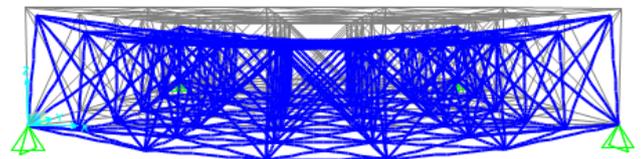
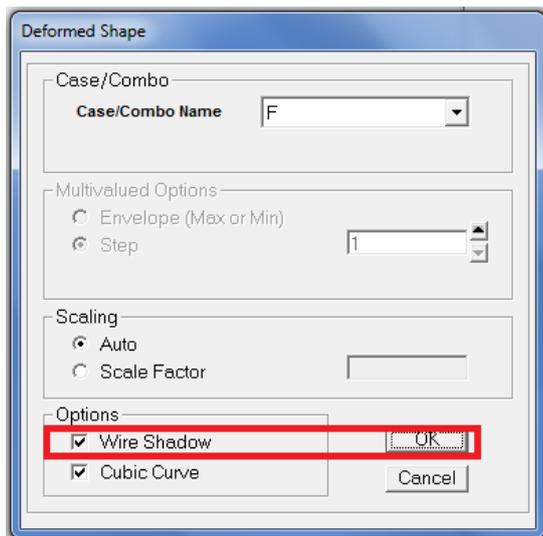
9\_ click su **play** e avvio l' analisi



10\_Non avendo considerato il peso proprio la struttura sarà così deformata:

**show /deformed shape /**

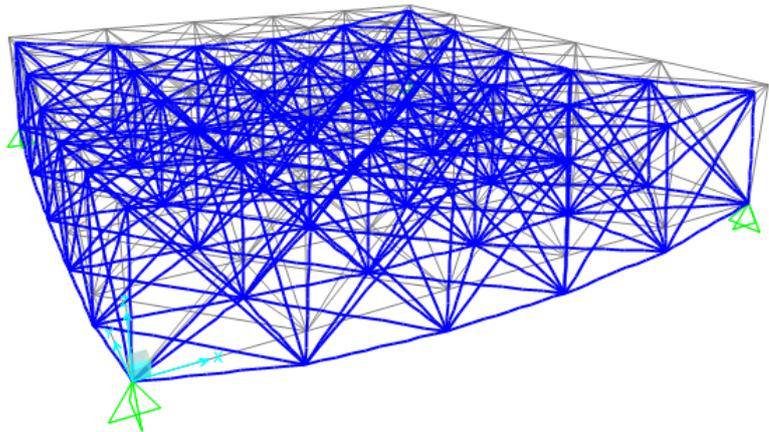
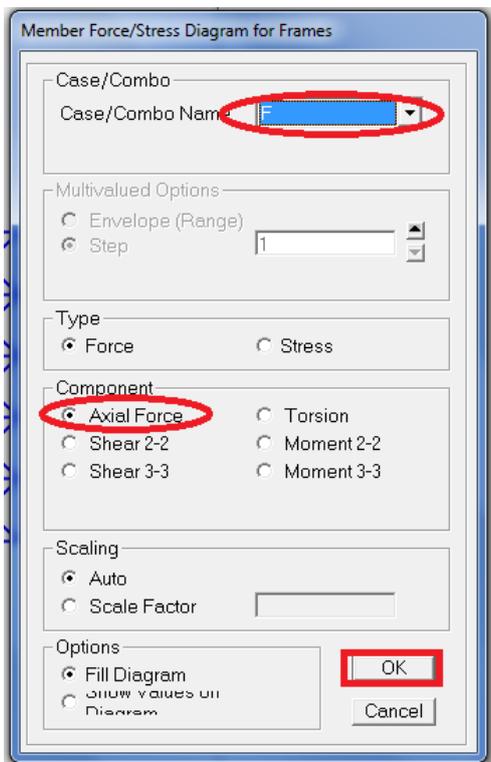
spunto **“wire shadow”** se voglio vedere contemporaneamente come era e come è la struttura.



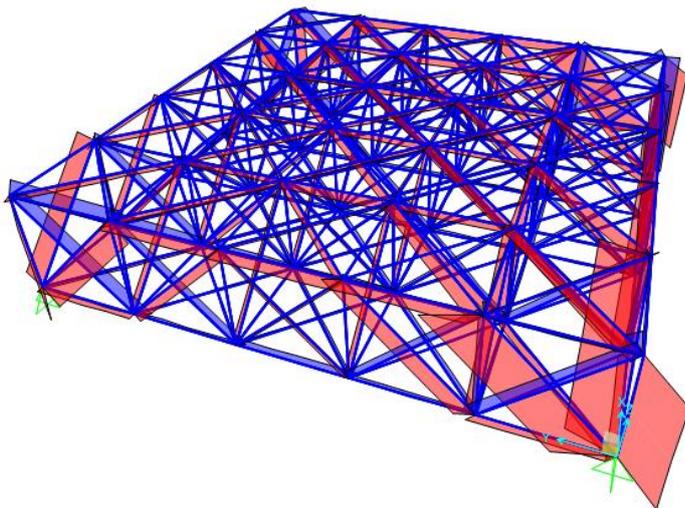
\_posizionandomi con il mouse in uno dei nodi leggo **di quanto si abbassa** in quel punto

## ANALISI - SFORZO NORMALE

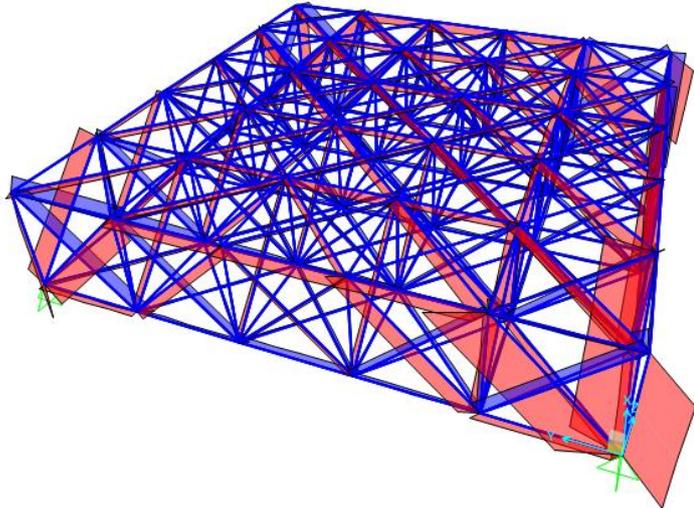
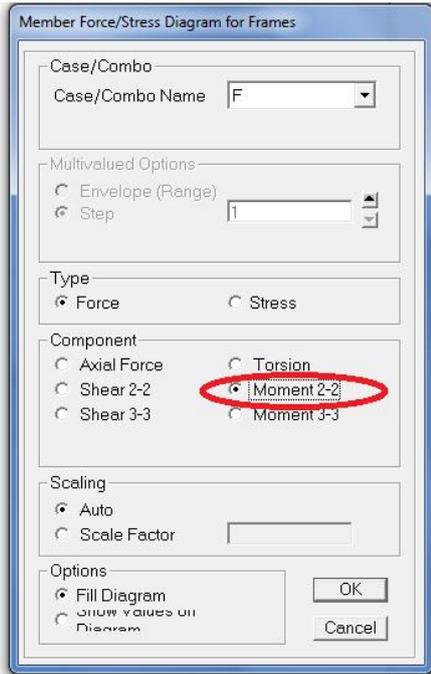
### 11\_ show Forces/Stresses /frame



## ANALISI GRAFICA DEGLI SFORZI NORMALI



Per accertarmi che tutto sia OK verifico che i momenti siano nulli!



## FILE EXCEL

12\_ Per conoscere con precisione quanto vale lo sforzo Normale su ogni asta che compone la struttura, **SAP** mi fornisce un file Excel molto utile:

**Display/show tables/Analysis Results/select load patterns/** seleziono la "F"/ok

Assembled Joint Masses

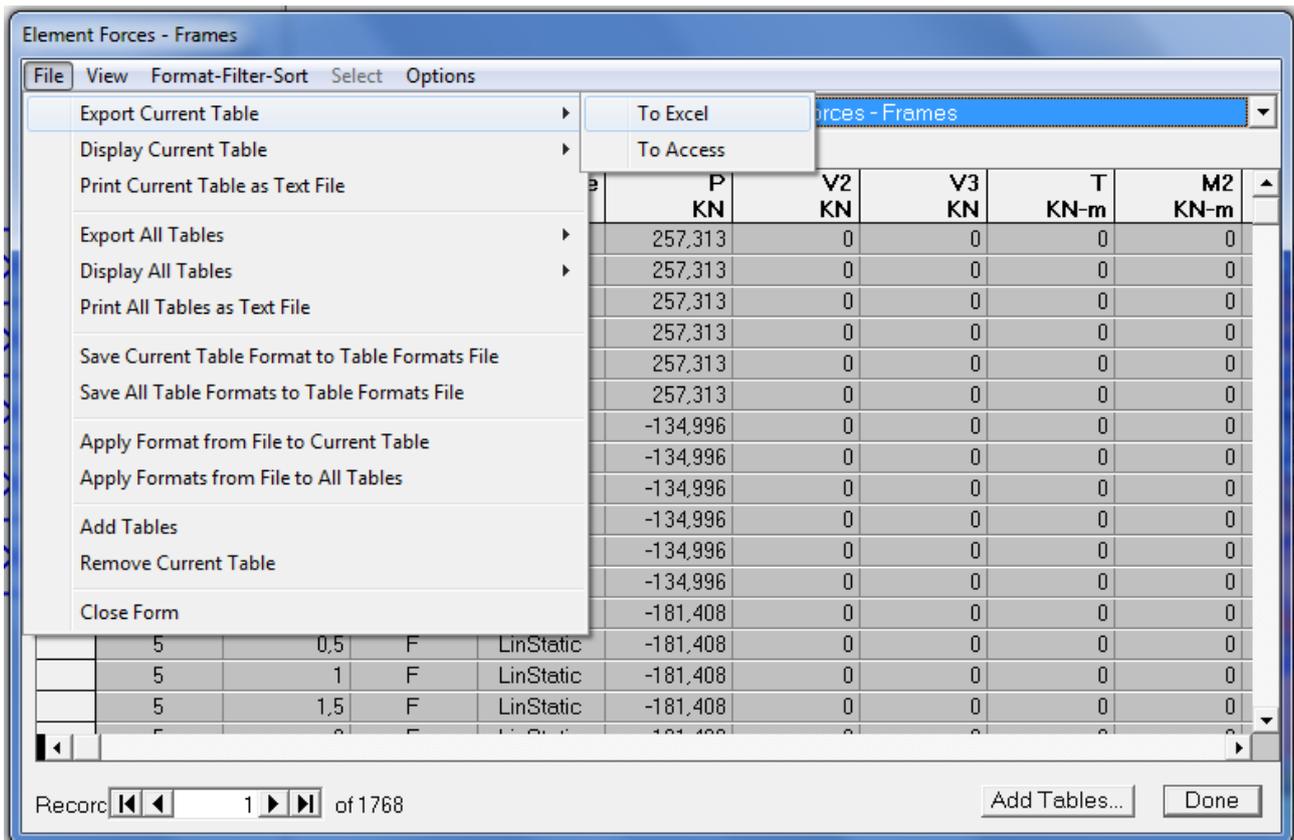
File View Format-Filter-Sort Select Options

Units: As Noted

	Joint Text	MassSource	U1 KN-s2/m	U2 KN-s2/m	U3 KN-s2/m	U4	U5	U6	U7	U8
▶	1	MSSSRC1	0,37	0,37	0,					
	2	MSSSRC1	0,24	0,24	0,					
	3	MSSSRC1	0,37	0,37	0,					
	4	MSSSRC1	0,55	0,55	0,					
	5	MSSSRC1	0,24	0,24	0,24	0	0	0	0	0
	6	MSSSRC1	0,55	0,55	0,55	0	0	0	0	0
	7	MSSSRC1	0,37	0,37	0,37	0	0	0	0	0
	8	MSSSRC1	0,37	0,37	0,37	0	0	0	0	0
	46	MSSSRC1	0,37	0,37	0,37	0	0	0	0	0
	47	MSSSRC1	0,55	0,55	0,55	0	0	0	0	0
	48	MSSSRC1	0,55	0,55	0,55	0	0	0	0	0
	49	MSSSRC1	0,37	0,37	0,37	0	0	0	0	0
	50	MSSSRC1	0,37	0,37	0,37	0	0	0	0	0
	51	MSSSRC1	0,55	0,55	0,55	0	0	0	0	0
	52	MSSSRC1	0,55	0,55	0,55	0	0	0	0	0
	53	MSSSRC1	0,37	0,37	0,37	0	0	0	0	0
	54	MSSSRC1	0,37	0,37	0,37	0	0	0	0	0

Record: 1 of 72

Add Tables... Done

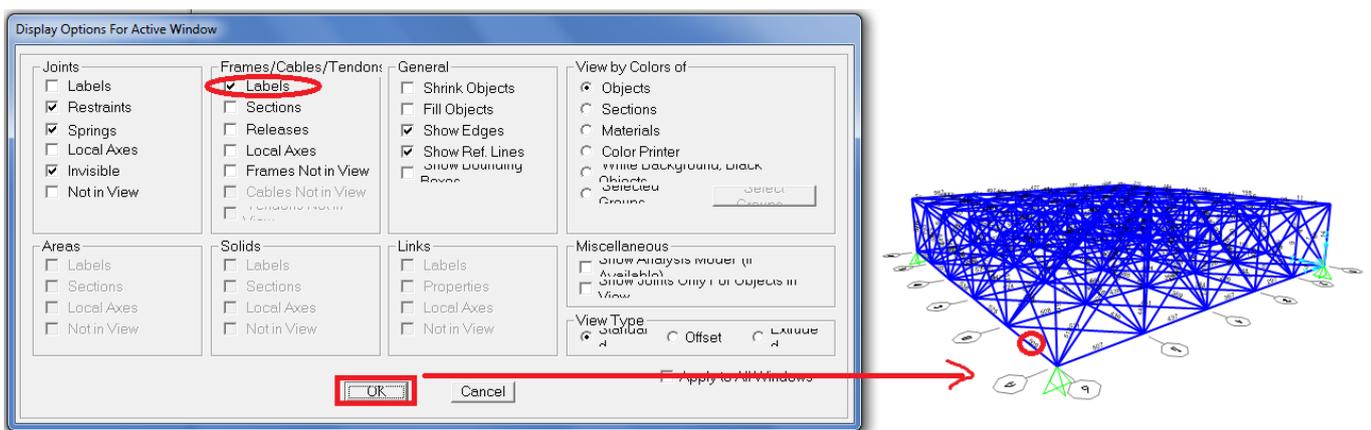


13\_ ricavato il foglio Excel lo pulisco eliminando i valori non necessari al calcolo, ciò che mi serve è:

**n° numero delle aste/frame/station/P**

essendo un cubo considero solo le aste con **L=2 m** e diagonale pari a **L=2,82843m**.

14\_ ulteriore verifica: tutti i valori dopo P devono essere nulli! Se si posso cancellarli, altrimenti ho sbagliato qualcosa!



Tornando su SAP “click sul tasto della spunta” e con il comando Frame/ Labels posso vedere il numero di ciascuna asta così da poterla identificare sul foglio excel.

## SIGNIFICATO DELLE VOCI DEL FOGLIO EXCEL:

**PRIMA COLONNA:** numero delle aste

**FRAME:** il "nome" delle aste / come vengono individuate su SAP

**STATION:** mi dice i passi (ogni 50 cm) come se le aste venissero suddivise in segmenti di 50 cm

**P:** N, quanto vale lo Sforzo Normale ad ogni frame (ogni 50 cm) ma ovviamente, essendo aste reticolari, N sarà costante! Quindi per ogni asta mi interessa solo un valore di N, quello relativo alle aste che compongono la mia reticolare 3D con L=2 (aste normali) e con L=2,82843m (aste diagonali).

selezione tutti i frame/dati/rimuovi duplicati/espandi selezione/rimuovi duplicati

## PULIZIA DELLA TABELLA EXCEL:

\_ elimino tutte le colonne inutili e lascio solo: frame /station/outputcase/P

\_ Ordino station in ordine crescente (espandi selezione)

\_ Elimino i valori che non mi interessano e lascio solo 2 (aste normali) e 2\* radice di 2(aste diagonali) = 2,82843 che evidenzio in rosso in modo da riconoscerle subito.

\_ ora ordino P in ordine decrescente (sforzo normale) in questo modo distinguo le aste tese da quelle compresse.

	A	B	C	D	E
1	Frame	Station	OutputCase	CaseType	P
2	TABLE: Element Forces - Frames				
3					
1296	2	2,82843	F	LinStatic	257,313
1297	217	2,82843	F	LinStatic	257,313
1298	222	2,82843	F	LinStatic	257,313
1299	516	2,82843	F	LinStatic	257,313
1300	518	2,82843	F	LinStatic	257,313
1301	561	2,82843	F	LinStatic	257,313
1302	562	2,82843	F	LinStatic	257,313
1303	173		2 F	LinStatic	179,926
1304	367		2 F	LinStatic	179,926
1305	423		2 F	LinStatic	179,926
1306	538		2 F	LinStatic	179,926
1307	17	2,82843	F	LinStatic	150,946
1308	21	2,82843	F	LinStatic	150,946
1309	199	2,82843	F	LinStatic	150,946
1310	208	2,82843	F	LinStatic	150,946
1311	448	2,82843	F	LinStatic	150,946
1312	492	2,82843	F	LinStatic	150,946
1313	505	2,82843	F	LinStatic	150,946
1314	548	2,82843	F	LinStatic	150,946
1315	152	2,82843	F	LinStatic	136,408
1316	204	2,82843	F	LinStatic	136,408
1317	294	2,82843	F	LinStatic	136,408
1318	358	2,82843	F	LinStatic	136,408
1319	446	2,82843	F	LinStatic	136,408
1320	491	2,82843	F	LinStatic	136,408
1321	531	2,82843	F	LinStatic	136,408
1322	549	2,82843	F	LinStatic	136,408
1323	22	2,82843	F	LinStatic	131,066
1324	221	2,82843	F	LinStatic	131,066
1325	520	2,82843	F	LinStatic	131,066
1326	571	2,82843	F	LinStatic	131,066
1327	175		2 F	LinStatic	127,031
1328	368		2 F	LinStatic	127,031
1329	410		2 F	LinStatic	127,031
1330	468		2 F	LinStatic	127,031

1	Frame	Station	OutputCase	CaseType	P
2	TABLE: Element Forces - Frames				
3					
1459	521	2,82843	F	LinStatic	-3,021
1460	565	2,82843	F	LinStatic	-3,021
1461	156		2 F	LinStatic	-11,63
1462	174		2 F	LinStatic	-11,63
1463	299		2 F	LinStatic	-11,63
1464	354		2 F	LinStatic	-11,63
1465	369		2 F	LinStatic	-11,63
1466	424		2 F	LinStatic	-11,63
1467	524		2 F	LinStatic	-11,63
1468	537		2 F	LinStatic	-11,63
1469	164		2 F	LinStatic	-12,338
1470	182		2 F	LinStatic	-12,338
1471	307		2 F	LinStatic	-12,338
1472	346		2 F	LinStatic	-12,338
1473	377		2 F	LinStatic	-12,338
1474	416		2 F	LinStatic	-12,338
1475	460		2 F	LinStatic	-12,338
1476	473		2 F	LinStatic	-12,338
1477	159		2 F	LinStatic	-15,756
1478	177		2 F	LinStatic	-15,756
1479	300		2 F	LinStatic	-15,756
1480	359		2 F	LinStatic	-15,756
1481	370		2 F	LinStatic	-15,756
1482	429		2 F	LinStatic	-15,756
1483	530		2 F	LinStatic	-15,756
1484	543		2 F	LinStatic	-15,756
1485	320		2 F	LinStatic	-16,473
1486	333		2 F	LinStatic	-16,473
1487	390		2 F	LinStatic	-16,473
1488	403		2 F	LinStatic	-16,473
1489	326	2,82843	F	LinStatic	-24,656
1490	334	2,82843	F	LinStatic	-24,656
1491	382	2,82843	F	LinStatic	-24,656
1492	389	2,82843	F	LinStatic	-24,656
1493	395	2,82843	F	LinStatic	-24,656

## CALCOLO L' AREA MINIMA DA SFORZO NORMALE DI TRAZIONE

\_prendo i valori di N>0 (trazione) e li copio nel file excel per il dimensionamento

\_fornisco alla tabella gli strumenti per calcolare  $f_d = f_{yk} / \gamma_m$

\_  $f_{yk}$  (coefficiente caratteristico di snervamento) pari a **275** (valore medio)

\_  $\gamma_m$  (coefficiente di sicurezza) pari a 1,05.

\_Il file individua la tensione di progetto  $f_d$  e l'area minima  $A_{min}$

$$A_{min} = (N / f_d) * 10 \text{ (perche è in cm)}$$

	A	B	C	D	E	F	G
1	Calcolo dell'area minima da sforzo normale di trazione						
2							
3	N	f <sub>yk</sub>	γ <sub>m</sub>	f <sub>d</sub>	A <sub>min</sub>	A <sub>design</sub>	
4	kN	Mpa		Mpa	cm2	cm2	
5	257,313	275,00	1,05	261,90	9,82	10,70	
6	257,313	275,00	1,05	261,90	9,82	10,70	
7	257,313	275,00	1,05	261,90	9,82	10,70	
8	257,313	275,00	1,05	261,90	9,82	10,70	
9	257,313	275,00	1,05	261,90	9,82	10,70	←
10	257,313	275,00	1,05	261,90	9,82	10,70	
11	257,313	275,00	1,05	261,90	9,82	10,70	
12	257,313	275,00	1,05	261,90	9,82	10,70	
13	179,926	275,00	1,05	261,90	6,87	7,33	
14	179,926	275,00	1,05	261,90	6,87	7,33	←
15	179,926	275,00	1,05	261,90	6,87	7,33	
16	179,926	275,00	1,05	261,90	6,87	7,33	←
17	150,946	275,00	1,05	261,90	5,76	6,41	
18	150,946	275,00	1,05	261,90	5,76	6,41	
19	150,946	275,00	1,05	261,90	5,76	6,41	
20	150,946	275,00	1,05	261,90	5,76	6,41	
21	150,946	275,00	1,05	261,90	5,76	6,41	
22	150,946	275,00	1,05	261,90	5,76	6,41	←
23	150,946	275,00	1,05	261,90	5,76	6,41	
24	150,946	275,00	1,05	261,90	5,76	6,41	
25	136,408	275,00	1,05	261,90	5,21	5,23	
26	136,408	275,00	1,05	261,90	5,21	5,23	
27	136,408	275,00	1,05	261,90	5,21	5,23	
28	136,408	275,00	1,05	261,90	5,21	5,23	
29	136,408	275,00	1,05	261,90	5,21	5,23	
30	136,408	275,00	1,05	261,90	5,21	5,23	
31	136,408	275,00	1,05	261,90	5,21	5,23	

	A	B	C	D	E	F	G
32	136,408	275,00	1,05	261,90	5,21	5,23	
33	131,066	275,00	1,05	261,90	5,00	5,23	←
34	131,066	275,00	1,05	261,90	5,00	5,23	
35	131,066	275,00	1,05	261,90	5,00	5,23	
36	131,066	275,00	1,05	261,90	5,00	5,23	
37	127,031	275,00	1,05	261,90	4,85	5,23	
38	127,031	275,00	1,05	261,90	4,85	5,23	
39	127,031	275,00	1,05	261,90	4,85	5,23	
40	127,031	275,00	1,05	261,90	4,85	5,23	
41	106,541	275,00	1,05	261,90	4,07	4,14	
42	106,541	275,00	1,05	261,90	4,07	4,14	
43	106,541	275,00	1,05	261,90	4,07	4,14	
44	106,541	275,00	1,05	261,90	4,07	4,14	←
45	106,541	275,00	1,05	261,90	4,07	4,14	
46	106,541	275,00	1,05	261,90	4,07	4,14	
47	97,43	275,00	1,05	261,90	3,72	3,73	
48	97,43	275,00	1,05	261,90	3,72	3,73	
49	97,43	275,00	1,05	261,90	3,72	3,73	
50	97,43	275,00	1,05	261,90	3,72	3,73	
51	97,43	275,00	1,05	261,90	3,72	3,73	←
52	97,43	275,00	1,05	261,90	3,72	3,73	
53	97,43	275,00	1,05	261,90	3,72	3,73	
54	97,43	275,00	1,05	261,90	3,72	3,73	
55	91,445	275,00	1,05	261,90	3,49	3,60	
56	91,445	275,00	1,05	261,90	3,49	3,60	
57	91,445	275,00	1,05	261,90	3,49	3,60	
58	91,445	275,00	1,05	261,90	3,49	3,60	
59	91,445	275,00	1,05	261,90	3,49	3,60	
60	91,445	275,00	1,05	261,90	3,49	3,60	
61	91,445	275,00	1,05	261,90	3,49	3,60	
62	91,445	275,00	1,05	261,90	3,49	3,60	←
63	85,838	275,00	1,05	261,90	3,28	3,60	
64	85,838	275,00	1,05	261,90	3,28	3,60	
	A	B	C	D	E	F	G
65	85,838	275,00	1,05	261,90	3,28	3,60	
66	85,838	275,00	1,05	261,90	3,28	3,60	
67	82,467	275,00	1,05	261,90	3,15	3,25	
68	82,467	275,00	1,05	261,90	3,15	3,25	
69	82,467	275,00	1,05	261,90	3,15	3,25	
70	82,467	275,00	1,05	261,90	3,15	3,25	
71	82,467	275,00	1,05	261,90	3,15	3,25	←
72	82,467	275,00	1,05	261,90	3,15	3,25	
73	82,467	275,00	1,05	261,90	3,15	3,25	
74	82,467	275,00	1,05	261,90	3,15	3,25	
75	78,075	275,00	1,05	261,90	2,98	3,07	
76	78,075	275,00	1,05	261,90	2,98	3,07	
77	78,075	275,00	1,05	261,90	2,98	3,07	
78	78,075	275,00	1,05	261,90	2,98	3,07	
79	78,075	275,00	1,05	261,90	2,98	3,07	←
80	78,075	275,00	1,05	261,90	2,98	3,07	
81	78,075	275,00	1,05	261,90	2,98	3,07	
82	78,075	275,00	1,05	261,90	2,98	3,07	
83	75,592	275,00	1,05	261,90	2,89	3,07	
84	75,592	275,00	1,05	261,90	2,89	3,07	
85	75,592	275,00	1,05	261,90	2,89	3,07	
86	75,592	275,00	1,05	261,90	2,89	3,07	
87	75,592	275,00	1,05	261,90	2,89	3,07	
88	75,592	275,00	1,05	261,90	2,89	3,07	
89	75,592	275,00	1,05	261,90	2,89	3,07	
90	75,592	275,00	1,05	261,90	2,89	3,07	
91	70,924	275,00	1,05	261,90	2,71	2,81	
92	70,924	275,00	1,05	261,90	2,71	2,81	
93	70,924	275,00	1,05	261,90	2,71	2,81	
94	70,924	275,00	1,05	261,90	2,71	2,81	
95	70,924	275,00	1,05	261,90	2,71	2,81	
96	70,924	275,00	1,05	261,90	2,71	2,81	←
97	70,924	275,00	1,05	261,90	2,71	2,81	

	A	B	C	D	E	F	G
98	70,924	275.00	1.05	261,90	2,71	2,81	
99	68,969	275.00	1.05	261,90	2,63	2,81	
100	68,969	275.00	1.05	261,90	2,63	2,81	
101	68,969	275.00	1.05	261,90	2,63	2,81	
102	68,969	275.00	1.05	261,90	2,63	2,81	
103	68,969	275.00	1.05	261,90	2,63	2,81	
104	68,969	275.00	1.05	261,90	2,63	2,81	
105	68,969	275.00	1.05	261,90	2,63	2,81	
106	68,969	275.00	1.05	261,90	2,63	2,81	
107	67,83	275.00	1.05	261,90	2,59	2,81	
108	67,83	275.00	1.05	261,90	2,59	2,81	
109	67,83	275.00	1.05	261,90	2,59	2,81	
110	67,83	275.00	1.05	261,90	2,59	2,81	
111	64,862	275.00	1.05	261,90	2,48	2,54	
112	64,862	275.00	1.05	261,90	2,48	2,54	
113	64,862	275.00	1.05	261,90	2,48	2,54	
114	64,862	275.00	1.05	261,90	2,48	2,54	
115	64,862	275.00	1.05	261,90	2,48	2,54	
116	64,862	275.00	1.05	261,90	2,48	2,54	
117	64,862	275.00	1.05	261,90	2,48	2,54	
118	64,862	275.00	1.05	261,90	2,48	2,54	
119	54,522	275.00	1.05	261,90	2,08	2,54	
120	54,522	275.00	1.05	261,90	2,08	2,54	
121	54,522	275.00	1.05	261,90	2,08	2,54	
122	54,522	275.00	1.05	261,90	2,08	2,54	
123	54,522	275.00	1.05	261,90	2,08	2,54	
124	54,522	275.00	1.05	261,90	2,08	2,54	
125	54,522	275.00	1.05	261,90	2,08	2,54	
126	54,522	275.00	1.05	261,90	2,08	2,54	
127	39,279	275.00	1.05	261,90	1,50	2,54	
128	39,279	275.00	1.05	261,90	1,50	2,54	
129	39,279	275.00	1.05	261,90	1,50	2,54	



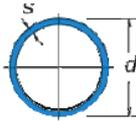
130	39,279	275.00	1.05	261,90	1,50	2,54	
131	39,279	275.00	1.05	261,90	1,50	2,54	
132	39,279	275.00	1.05	261,90	1,50	2,54	
133	39,279	275.00	1.05	261,90	1,50	2,54	
134	39,279	275.00	1.05	261,90	1,50	2,54	
135	38,955	275.00	1.05	261,90	1,49	2,54	
136	38,955	275.00	1.05	261,90	1,49	2,54	
137	38,955	275.00	1.05	261,90	1,49	2,54	
138	38,955	275.00	1.05	261,90	1,49	2,54	
139	38,955	275.00	1.05	261,90	1,49	2,54	
140	38,955	275.00	1.05	261,90	1,49	2,54	
141	38,955	275.00	1.05	261,90	1,49	2,54	
142	38,955	275.00	1.05	261,90	1,49	2,54	
143	36,304	275.00	1.05	261,90	1,39	2,54	
144	36,304	275.00	1.05	261,90	1,39	2,54	
145	36,304	275.00	1.05	261,90	1,39	2,54	
146	36,304	275.00	1.05	261,90	1,39	2,54	
147	36,304	275.00	1.05	261,90	1,39	2,54	
148	36,304	275.00	1.05	261,90	1,39	2,54	
149	36,304	275.00	1.05	261,90	1,39	2,54	
150	36,304	275.00	1.05	261,90	1,39	2,54	
151	14,876	275.00	1.05	261,90	0,57	2,54	
152	14,876	275.00	1.05	261,90	0,57	2,54	
153	14,876	275.00	1.05	261,90	0,57	2,54	
154	14,876	275.00	1.05	261,90	0,57	2,54	
155	14,876	275.00	1.05	261,90	0,57	2,54	
156	14,876	275.00	1.05	261,90	0,57	2,54	
157	14,876	275.00	1.05	261,90	0,57	2,54	
158	14,876	275.00	1.05	261,90	0,57	2,54	
159	0,209	275.00	1.05	261,90	0,01	2,54	
160	0,209	275.00	1.05	261,90	0,01	2,54	
161	0,209	275.00	1.05	261,90	0,01	2,54	
162	0,209	275.00	1.05	261,90	0,01	2,54	
163	0,209	275.00	1.05	261,90	0,01	2,54	
164	0,209	275.00	1.05	261,90	0,01	2,54	
165	0,209	275.00	1.05	261,90	0,01	2,54	
166	0,209	275.00	1.05	261,90	0,01	2,54	
167							

p.s. nota che l' area minima è inversamente proporzionale alla tensione!

Consultando le tabelle dei valori standard dei profili metallici in produzione INGEGNERIZZO ricercando il valore dell' area **A\_design** disponibile immediatamente maggiore di **A\_min** che il foglio Excel ha ricavato (lo faccio per ogni singola asta).

\_Dopo averle ordinate in ordine decrescente individuo subito l' asta maggiormente sollecitata e il valore dello sforzo normale maggiore, così da poter scegliere il profilo adatto a tutte le aste sottoposte a trazione che compongono la reticolare spaziale:

	A	B	C	D	E	F
1	Calcolo dell'area minima da sforzo normale di trazione					
2						
3	N	f <sub>yk</sub>	v <sub>m</sub>	f <sub>d</sub>	A <sub>min</sub>	A <sub>design</sub>
4	kN	Mpa		Mpa	cm <sup>2</sup>	cm <sup>2</sup>
5	257,313	275,00	1,05	261,90	9,82	10,70
6	257,313	275,00	1,05	261,90	9,82	10,70
7	257,313	275,00	1,05	261,90	9,82	10,70
8	257,313	275,00	1,05	261,90	9,82	10,70
9	257,313	275,00	1,05	261,90	9,82	10,70
10	257,313	275,00	1,05	261,90	9,82	10,70
11	257,313	275,00	1,05	261,90	9,82	10,70
12	257,313	275,00	1,05	261,90	9,82	10,70
13	179,926	275,00	1,05	261,90	6,87	7,33
14	179,926	275,00	1,05	261,90	6,87	7,33
15	179,926	275,00	1,05	261,90	6,87	7,33
16	179,926	275,00	1,05	261,90	6,87	7,33
17	150,946	275,00	1,05	261,90	5,76	6,41
18	150,946	275,00	1,05	261,90	5,76	6,41
19	150,946	275,00	1,05	261,90	5,76	6,41
20	150,946	275,00	1,05	261,90	5,76	6,41
21	150,946	275,00	1,05	261,90	5,76	6,41
22	150,946	275,00	1,05	261,90	5,76	6,41
23	150,946	275,00	1,05	261,90	5,76	6,41
24	150,946	275,00	1,05	261,90	5,76	6,41
25	136,408	275,00	1,05	261,90	5,21	5,23
26	136,408	275,00	1,05	261,90	5,21	5,23
27	136,408	275,00	1,05	261,90	5,21	5,23
28	136,408	275,00	1,05	261,90	5,21	5,23
29	136,408	275,00	1,05	261,90	5,21	5,23
30	136,408	275,00	1,05	261,90	5,21	5,23



d x s mm	Peso kg/m	Sezione di passaggio cm <sup>2</sup>	Sezione metallica cm <sup>2</sup>	Momento di inerzia J = cm <sup>4</sup>	Modulo di resistenza W = cm <sup>3</sup>	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	3,360	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	7,060	3,330	1,400
42,4 x 3,2	3,110	10,20	3,940	7,620	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

Per le aste a trazione vado a scegliere il profilo:  $A = 10,70 \text{ cm}^2$  ;  $d \times s = 88,9 \times 4,0 \text{ mm}$

VERIFICA :

$$\sigma < f_d = N/A < f_d$$

Considerata l'asta più sollecitata:  $N = 257,313 \text{ KN}$

$$N/A = 257313 / 1070 = 261,90 \text{ N/mm}^2$$

$$f_d = 261,90 \text{ MPa}$$

ok :  $N/A < f_d = 240,47 \text{ N/mm}^2 < 261,90 \text{ MPa}$  è VERIFICATA!

## COMPRESSIONE

Per le aste compresse si devono considerare alcuni concetti fondamentali:

-la natura dei carichi di spostare il loro punto di applicazione nello stesso verso della forza che esercitano.

-Quando  $N$  raggiunge il valore dello sforzo normale critico euleriano si innesca improvvisamente una crisi: l'asta sbanda stantaneamente, o meglio si flette intorno all'asse della sezione con raggio minimo  $d'$  inerzia

$$N = N_{crit}$$

$N_{crit} = 3,14 EI_{min}/(\beta l)^2$  ( $\beta$  coefficiente che dipende dalle condizioni di vincolo nella direzione dello sbandamento)

$$N_{crit} = 3,14 EI_{min}/(\beta l)^2$$

#### OSSERVAZIONI:

- $N_{crit}$  e  $3,14 EI_{min}$  sono direttamente proporzionali quindi se  $I_{min} \gg \gg$  ne segue che  $N_{crit} \gg \gg$
- devo quindi agire sulla lunghezza dell' asta, NON POSSO FARLA TROPPO SNELLA!
- $\beta = l_0$  distanza tra i 2 punti di flesso 7 lunghezza libera di inflessione
- **RAGGIO D' INERZIA:**

$$I_{min}/A = L^4/L^2 = L^2 = \sqrt{L^2} = c$$

$$\sqrt{I_{min}/A} = L = \rho_{min}$$

con  $\rho_{min}$  raggio d' inerzia minimo

$$I_{min}/A = \rho_{min}^2 \text{ segue } I_{min} = A \rho_{min}^2$$

Sostituendo a  $N_{crit} = 3,14 EI_{min}/(\beta l)^2$

$$N_{crit} = 3,14^2 EA \rho_{min}^2 /(\beta l)^2$$

$$\beta = l_0$$

$$N_{crit} = 3,14^2 EA \rho_{min}^2 / (l_0)^2 = 3,14 EA / (l_0 / \rho_{min}) = 3,14 EA / \lambda$$

dove  $\lambda =$  SNELLEZZA = rapporto tra l' altezza e la sezione.

Quindi 
$$N_{crit} = 3,14 EA / \lambda$$

Si noti che la snellezza ( $\lambda$ ) è inversamente proporzionale a  $N_{crit}$ , vale a dire che meno l' asta è snella e più è grande  $N_{crit}$  (quindi è irraggiungibile!!).

#### IL PROGETTO SI DIVIDE IN 3 FASI:

##### 1 Calcolo dell'area minima da sforzo di compressione (resistenza materiale)

\_prendo ora i valori di  $N < 0$  (compressione) e li incollo nel file Excel per il dimensionamento delle aste a compressione

\_ Devo trovare l'  $A_{min}$  e  $I_{min}$

dove:  $A_{min} = N / f_{yd}$

quindi la tabella deve ricavarci la tensione di progetto  $f_{yd}$

\_Gli fornisco i dati di cui ha bisogno:

$f_{yk}$  (coefficiente caratteristico di snervamento) pari a **275** (valore medio)

$\gamma_m$  (coefficiente di sicurezza) pari a 1,05.

La tabella può ora ricavare  $f_{yd} = f_{yk} / \gamma_m$  e di conseguenza  $A_{min}$

	A	B	C	D	E
1	Calcolo dell'area minima da sforzo di compressione (resistenza materiale)				
2	N	$f_{yk}$	$\gamma_{m0}$	$f_{yd}$	$A_{min}$
3	kN	N/mm <sup>2</sup>		N/mm <sup>2</sup>	cm <sup>2</sup>
4					
5	-3,021	275,00	1,05	261,90	0,12
6	-3,021	275,00	1,05	261,90	0,12
7	-3,021	275,00	1,05	261,90	0,12
8	-3,021	275,00	1,05	261,90	0,12
9	-11,63	275,00	1,05	261,90	0,44
10	-11,63	275,00	1,05	261,90	0,44
11	-11,63	275,00	1,05	261,90	0,44
12	-11,63	275,00	1,05	261,90	0,44
13	-11,63	275,00	1,05	261,90	0,44
14	-11,63	275,00	1,05	261,90	0,44
15	-11,63	275,00	1,05	261,90	0,44
16	-11,63	275,00	1,05	261,90	0,44
17	-12,338	275,00	1,05	261,90	0,47
18	-12,338	275,00	1,05	261,90	0,47
19	-12,338	275,00	1,05	261,90	0,47
20	-12,338	275,00	1,05	261,90	0,47
21	-12,338	275,00	1,05	261,90	0,47
22	-12,338	275,00	1,05	261,90	0,47
23	-12,338	275,00	1,05	261,90	0,47
24	-12,338	275,00	1,05	261,90	0,47
25	-15,756	275,00	1,05	261,90	0,60
26	-15,756	275,00	1,05	261,90	0,60
27	-15,756	275,00	1,05	261,90	0,60
28	-15,756	275,00	1,05	261,90	0,60
29	-15,756	275,00	1,05	261,90	0,60
30	-15,756	275,00	1,05	261,90	0,60
31	-15,756	275,00	1,05	261,90	0,60
32	-15,756	275,00	1,05	261,90	0,60
33	-16,473	275,00	1,05	261,90	0,63
34	-16,473	275,00	1,05	261,90	0,63

## 2 Calcolo dell'inerzia minima per sforzo di compressione (instabilità euleriana)

ordiniamo i valori rispetto ad N questa volta in modo crescente tale che mi trovo l'asta maggiormente compressa in alto.

Dato che le aste comprese troppo snelle potrebbero essere soggette ai **fenomeni di instabilità**, per evitare che questo accada il foglio deve calcolare l'inerzia e il suo raggio attraverso alcuni dati che vado ad inserire:

E = 210000

$\beta = 1,00$

I = lunghezza delle aste (confrontando il file Excel ricavato da SAP).

Calcolo dell'inerzia minima per sforzo di compressione (instabilità euleriana)					
E	beta	I	Lam*	rho_min	I_min
Mpa		m		cm	cm4
210000,00	1,00	2,83	88,96	3,18	228
210000,00	1,00	2,83	88,96	3,18	228
210000,00	1,00	2,83	88,96	3,18	228
210000,00	1,00	2,83	88,96	3,18	228
210000,00	1,00	2,83	88,96	3,18	228
210000,00	1,00	2,83	88,96	3,18	228
210000,00	1,00	2,83	88,96	3,18	228
210000,00	1,00	2,83	88,96	3,18	228
210000,00	1,00	2,00	88,96	2,25	99
210000,00	1,00	2,00	88,96	2,25	99
210000,00	1,00	2,00	88,96	2,25	99
210000,00	1,00	2,00	88,96	2,25	99
210000,00	1,00	2,00	88,96	2,25	63
210000,00	1,00	2,00	88,96	2,25	63
210000,00	1,00	2,00	88,96	2,25	63
210000,00	1,00	2,00	88,96	2,25	63
210000,00	1,00	2,00	88,96	2,25	57
210000,00	1,00	2,00	88,96	2,25	57
210000,00	1,00	2,00	88,96	2,25	57
210000,00	1,00	2,00	88,96	2,25	57
210000,00	1,00	2,00	88,96	2,25	57
210000,00	1,00	2,00	88,96	2,25	57
210000,00	1,00	2,00	88,96	2,25	57
210000,00	1,00	2,00	88,96	2,25	57
210000,00	1,00	2,00	88,96	2,25	57
210000,00	1,00	2,00	88,96	2,25	48
210000,00	1,00	2,00	88,96	2,25	48
210000,00	1,00	2,00	88,96	2,25	48
210000,00	1,00	2,00	88,96	2,25	48
210000,00	1,00	2,83	88,96	3,18	228

### 3 Ingegnerizzazione sezione e verifica snellezza per una membratura principale (< 200)

Analizzo l'asta diagonale e l'asta normale più caricate (rosso /giallo) e ingegnerizzo confrontando le tabelle:

$A_{design} > A_{min}$ ;

$I_{design} > I_{min}$ ;

$\rho_{design}$  del profilo;

Devo conoscere la snellezza **SNELLEZZA  $\lambda$**

confrontando i valori ottenuti a trazione e a compressione, si nota che l'  $A_{min}$  a

compressione (22,57 cm<sup>2</sup>) è > di quella a trazione (9,82 cm<sup>2</sup>) quindi sarà questa quella che vado ad ingegnerizzare:

scelgo un **profilato a sezione circolare dxs = 168,3 x 5,0 mm.**

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P
1	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)				
2	N	f <sub>yk</sub>	γ <sub>m0</sub>	f <sub>yd</sub>	A <sub>min</sub>	E	beta	I	Lam*	rho_min	I <sub>min</sub>	A <sub>design</sub>	I <sub>design</sub>	rho_min	lam	
3	kN	N/mm <sup>2</sup>		N/mm <sup>2</sup>	cm <sup>2</sup>	Mpa		m		cm	cm <sup>4</sup>	cm <sup>2</sup>	cm <sup>4</sup>	cm	snellezza	profilo scelto
4																
5	-591,215	275,00	1,05	261,90	22,57	210000,00	1,00	2,83	88,96	3,18	228	47,00	308,00	9,46	29,90	168,3 x 5,0
6	-591,215	275,00	1,05	261,90	22,57	210000,00	1,00	2,83	88,96	3,18	228					
7	-591,215	275,00	1,05	261,90	22,57	210000,00	1,00	2,83	88,96	3,18	228					
8	-591,215	275,00	1,05	261,90	22,57	210000,00	1,00	2,83	88,96	3,18	228					
9	-591,215	275,00	1,05	261,90	22,57	210000,00	1,00	2,83	88,96	3,18	228					
10	-591,215	275,00	1,05	261,90	22,57	210000,00	1,00	2,83	88,96	3,18	228					
11	-591,215	275,00	1,05	261,90	22,57	210000,00	1,00	2,83	88,96	3,18	228					
12	-591,215	275,00	1,05	261,90	22,57	210000,00	1,00	2,83	88,96	3,18	228					
13	-513,896	275,00	1,05	261,90	19,62	210000,00	1,00	2,00	88,96	2,25	99	25,7	102	5,78	34,60	
14	-513,896	275,00	1,05	261,90	19,62	210000,00	1,00	2,00	88,96	2,25	99					
15	-513,896	275,00	1,05	261,90	19,62	210000,00	1,00	2,00	88,96	2,25	99					
16	-513,896	275,00	1,05	261,90	19,62	210000,00	1,00	2,00	88,96	2,25	99					
17	-327,503	275,00	1,05	261,90	12,50	210000,00	1,00	2,00	88,96	2,25	63					
18	-327,503	275,00	1,05	261,90	12,50	210000,00	1,00	2,00	88,96	2,25	63					
19	-327,503	275,00	1,05	261,90	12,50	210000,00	1,00	2,00	88,96	2,25	63					
20	-327,503	275,00	1,05	261,90	12,50	210000,00	1,00	2,00	88,96	2,25	63					
21	-295,827	275,00	1,05	261,90	11,30	210000,00	1,00	2,00	88,96	2,25	57					
22	-295,827	275,00	1,05	261,90	11,30	210000,00	1,00	2,00	88,96	2,25	57					
23	-295,827	275,00	1,05	261,90	11,30	210000,00	1,00	2,00	88,96	2,25	57					
24	-295,827	275,00	1,05	261,90	11,30	210000,00	1,00	2,00	88,96	2,25	57					

## VERIFICA

$$\sigma < f_d = N/A < f_d$$

Considerata l'asta più sollecitata(5): N= -115,097KN

$$N/A = -591215/ 4700 = -125,79 \text{ N/mm}^2$$

$$f_d = 261,90 \text{ MPa}$$

ok :  $N/A < f_d = -125,79 \text{ N/mm}^2 < 261,90 \text{ MPa}$  è VERIFICATA!

## VERIFICO LA SNELLEZZA

La snellezza λ per essere verificata deve essere ≤ 200

$$\lambda \leq 200$$

considerando sempre la stessa asta(5):

La sezione è verificata in quanto λ = 29,90 la sua snellezza non supera il 200!

