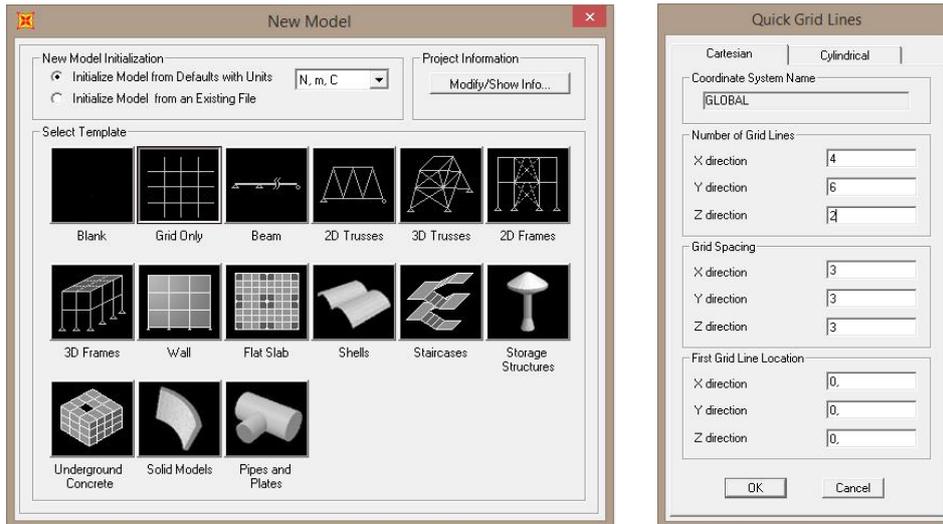


Nella seconda esercitazione ho analizzato e dimensionato una struttura reticolare tridimensionale attraverso l'utilizzo del software **SAP 2000** e di un foglio di calcolo **Excel**.

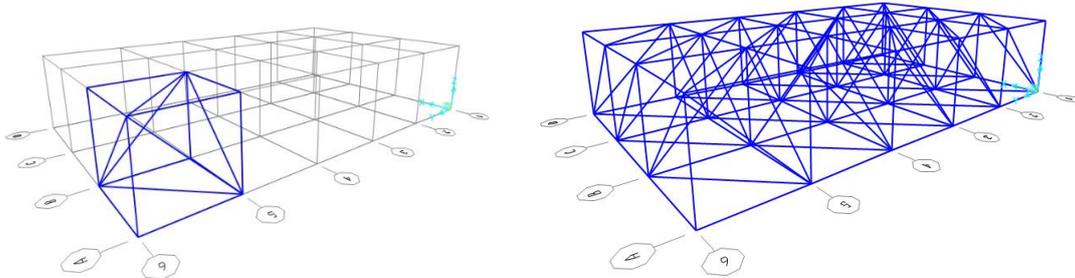
Le aste di una struttura reticolare sono elementi strutturali finiti sollecitati esclusivamente a sforzo normale (trazione e compressione) con carichi puntuali applicati sui nodi.

Ora descriviamo i passaggi che mi hanno portato all'analisi e al dimensionamento del sistema strutturale.

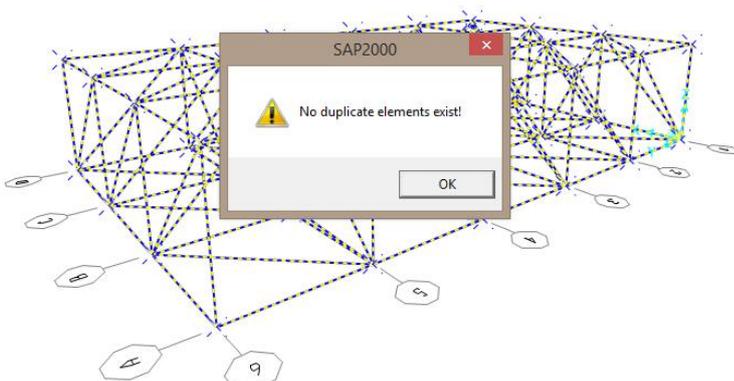
- 1- Apro un nuovo file, inserendo l'unità di misura **KN, m, C** e scegliendo il modello "griglia" (**Grid Only**)
- 2- Impostiamo la maglia strutturale con cubi con $l = 3m$, disponendo 3 cubi sull'asse x e 5 sull'asse y



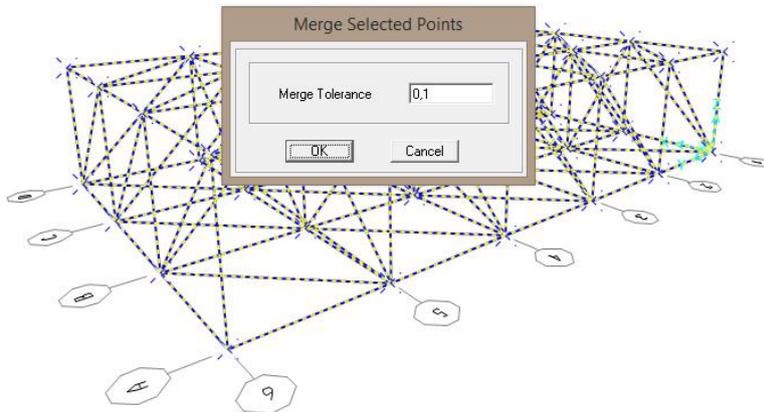
- 2- Una volta creata la griglia 2D, iniziamo la modellazione disegnando inizialmente le facce di un singolo cubo e collegandole tra loro attraverso le controventature; copiamo il cubo fino a definire il disegno della struttura.



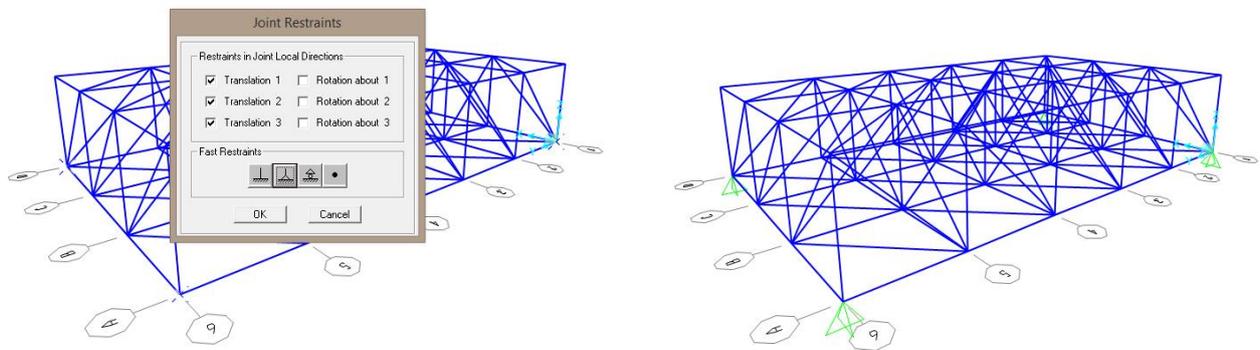
- 3- Controllo e cancello eventuali aste duplicate nel modello 3D **Selezione tutte le aste > Edit > Merge Duplicate**



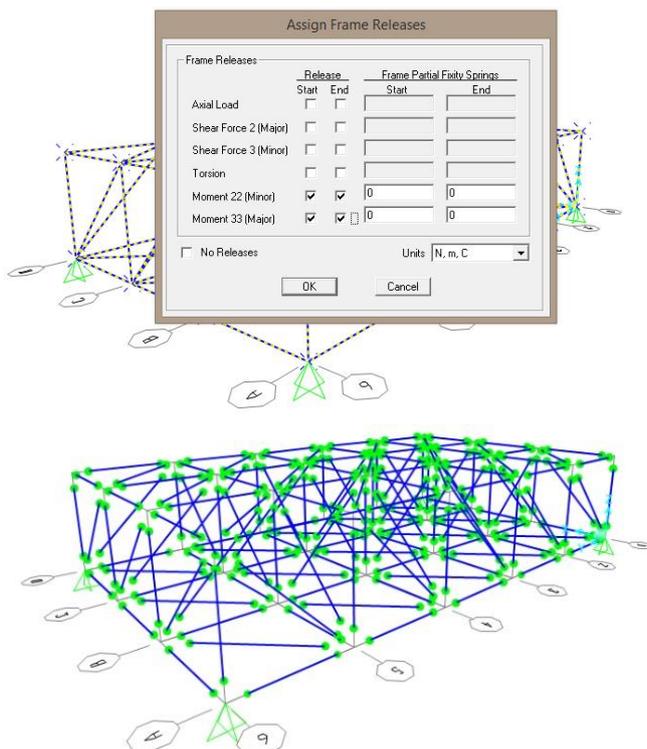
- 4- Correggo eventuali imprecisioni e distacchi tra le aste **Selezione tutte le aste > Edit > Edit Points > Merge Points > Tolerance 0.1**



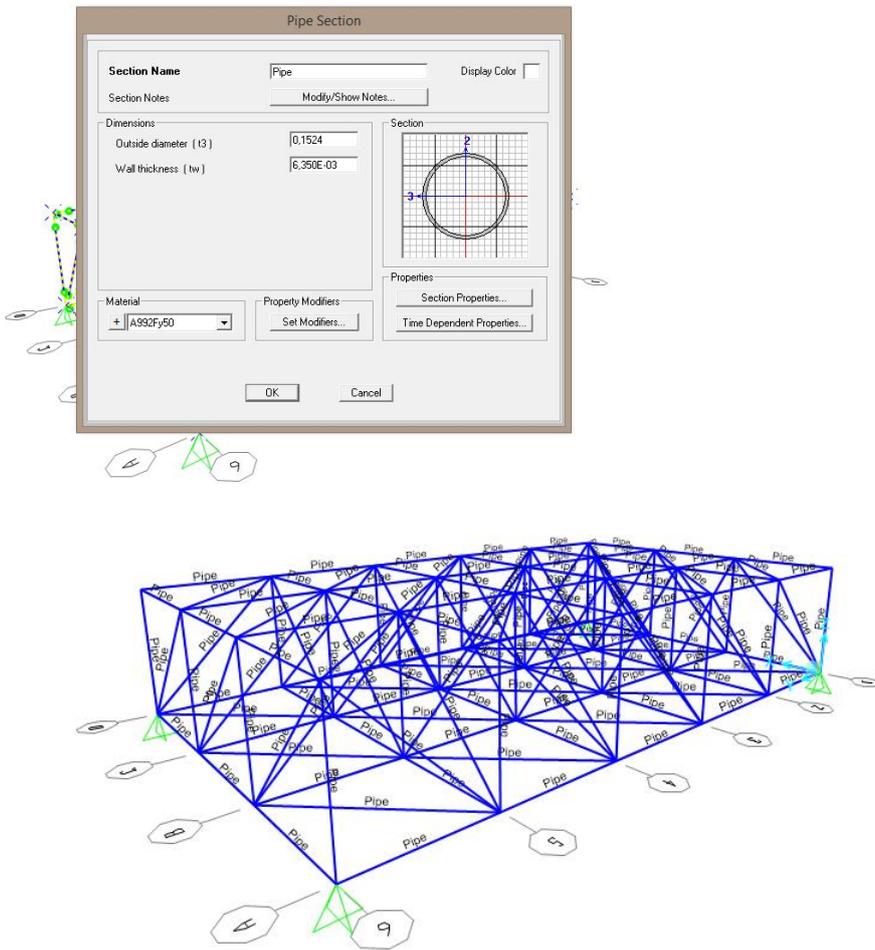
- 5- Collego ai quattro vertici sulla base della struttura quattro vincoli cerniere **Assign > Joint > Restraints**



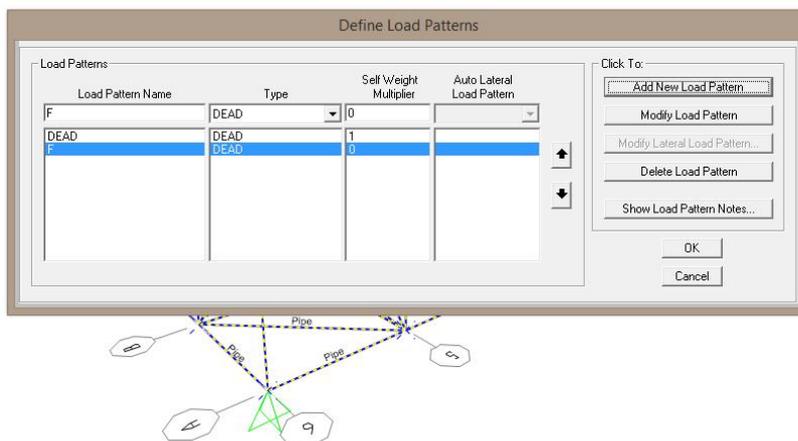
- 6- Essendo aste sollecitate impongo che esse non siano sollecitate a flessione ma solo a sforzo normale **Selezione tutte le aste > Assign > Frame > Release Partial Fixity**



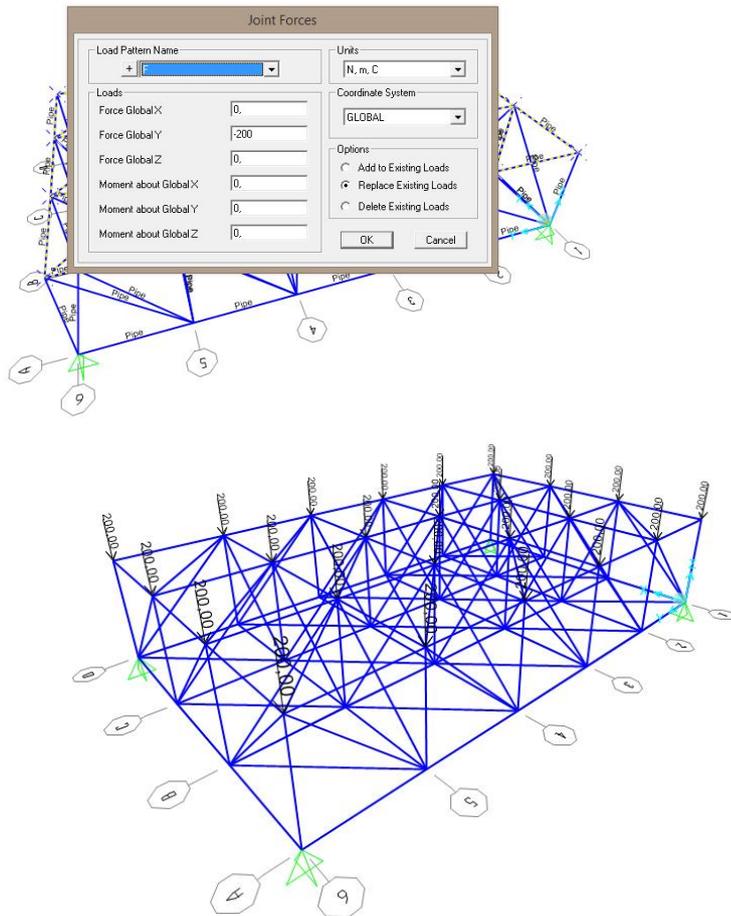
- 7- Assegno un profilato a sezione circolare e il materiale acciaio alle aste della struttura **Seleziono tutte le aste** > **Assign > Frame > Frame Section > Add New Property > Pipe**



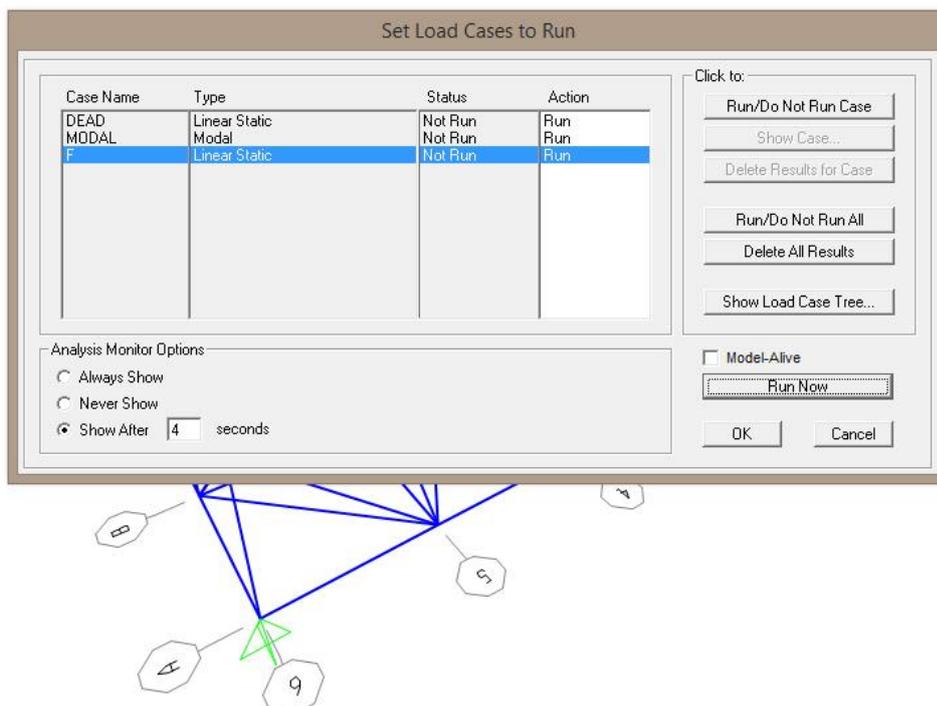
- 8- Imposto un nuovo schema di carichi ed inserisco un nuovo parametro F con un peso proprio pari a 0 **Seleziono tutte le aste** > **Define > Load Patterns > F > Add New Load Patterns**

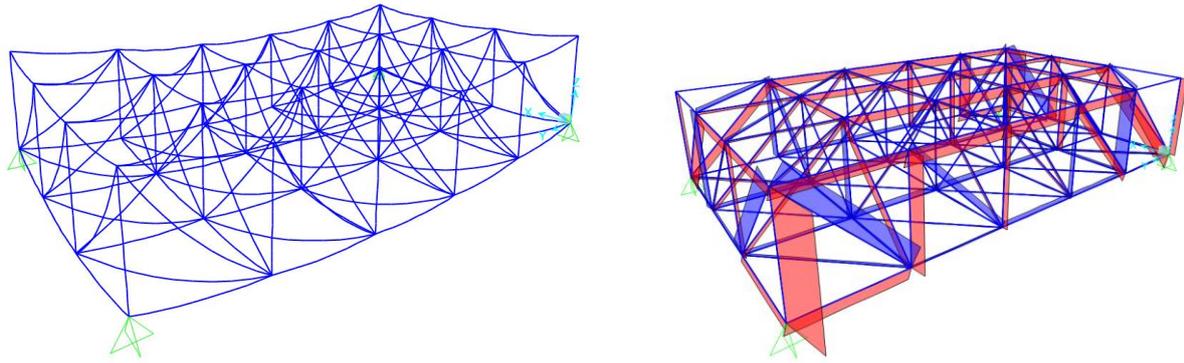


- 9- Seleziono solo le facce superiori dove andremo ad applicare delle forze di **-200 KN** poiché dirette verso il basso. **Assign > Joint Loads > Forces**



10- Ora possiamo analizzare la struttura cliccando su **Run Analysis** e scegliendo il parametro **F**. Ottengo così la configurazione deformata della struttura caricata di cui controlliamo i valori degli sforzi agenti su essa. **Frame** > **Axial Forces**





11- Cliccando su **Display > Show Tables** posso controllare i dati dell'analisi spuntando **Analysis Results** e selezionando il parametro **F**. Esportiamo adesso la tabella dei **Element Forces – Frames** in un file Excel per ottenere i valori degli sforzi normali di ogni asta utili ai fini del dimensionamento.

2	U3	R1	R2	R3
q	Kq	N-m-s2	N-m-s2	N-m-s2
15	282,75	0	0	0
44	234,24	0	0	0
16	365,56	0	0	0
16	365,56	0	0	0
15	282,75	0	0	0
44	234,24	0	0	0
15	282,75	0	0	0
16	365,56	0	0	0
16	365,56	0	0	0
44	234,24	0	0	0
15	282,75	0	0	0
16	365,56	0	0	0
16	365,56	0	0	0

29	MSSSRC1	234,24	234,24	234,24	0	0	0
30	MSSSRC1	282,75	282,75	282,75	0	0	0
31	MSSSRC1	365,56	365,56	365,56	0	0	0
32	MSSSRC1	365,56	365,56	365,56	0	0	0
33	MSSSRC1	102,91	102,91	102,91	0	0	0

-Dal foglio **Excel**, rimuoviamo i valori duplicati e ordiniamo gli sforzi dal più piccolo al più grande. A questo punto analizzare gli sforzi di trazione(positivi)

e quelli di compressioni (negativi).

TRAZIONE

Nella prima colonna inserisco i valori degli sforzi normali di ciascuna asta e assegno a queste una classe del materiale di tipo S235 JR H con una tensione di snervamento pari a **235 MPa**. Aggiungiamo un coefficiente di sicurezza γ_m pari a **1,05** e otteniamo la tensione di progetto f_d pari a **223,81 Mpa**. A questo punto otteniamo l'area minima di sezione data dalla formula $A_{min} = N/f_{yd}$ e possiamo scegliere un profilato a sezione circolare che abbia una sezione maggiore di quella minima.

Calcolo dell'area minima da sforzo normale di trazione

N	f _{yk}	γ _m	f _d	A _{min}	A _{design}	Profilato	Frame
kN	Mpa		Mpa	cm2	cm2	mm	N°
4,55E-13	235,00	1,05	223,81	0,00	2,54	33,7 x 2,6	9
7,128	235,00	1,05	223,81	0,32	2,54	33,7 x 2,6	117
9,685	235,00	1,05	223,81	0,43	2,54	33,7 x 2,6	178
14,599	235,00	1,05	223,81	0,65	2,54	33,7 x 2,6	150
17,585	235,00	1,05	223,81	0,79	2,54	33,7 x 2,6	209
19,023	235,00	1,05	223,81	0,85	2,54	33,7 x 2,6	187
20,193	235,00	1,05	223,81	0,90	2,54	33,7 x 2,6	5
21,925	235,00	1,05	223,81	0,98	2,54	33,7 x 2,6	185
22,461	235,00	1,05	223,81	1,00	2,54	33,7 x 2,6	145
22,476	235,00	1,05	223,81	1,00	2,54	33,7 x 2,6	192
25,152	235,00	1,05	223,81	1,12	2,54	33,7 x 2,6	169
29,994	235,00	1,05	223,81	1,34	2,54	33,7 x 2,6	115
36,282	235,00	1,05	223,81	1,62	2,54	33,7 x 2,6	139
46,549	235,00	1,05	223,81	2,08	2,54	33,7 x 2,6	238
50,573	235,00	1,05	223,81	2,26	2,54	33,7 x 2,6	159
53,222	235,00	1,05	223,81	2,38	2,54	33,7 x 2,6	122
53,602	235,00	1,05	223,81	2,39	2,54	33,7 x 2,6	182
55,841	235,00	1,05	223,81	2,50	2,54	33,7 x 2,6	260
58,849	235,00	1,05	223,81	2,63	2,81	33,7 x 2,9	127
59,458	235,00	1,05	223,81	2,66	2,81	33,7 x 2,9	208
62,476	235,00	1,05	223,81	2,79	2,81	33,7 x 2,9	195
66,299	235,00	1,05	223,81	2,96	3,07	33,7 x 3,2	172
69,143	235,00	1,05	223,81	3,09	3,07	33,7 x 3,2	175
71,893	235,00	1,05	223,81	3,21	3,25	42,4 x 2,6	241
71,893	235,00	1,05	223,81	3,21	3,25	42,4 x 2,6	244
82,474	235,00	1,05	223,81	3,69	3,94	42,4 x 3,2	233
90,159	235,00	1,05	223,81	4,03	4,14	48,3 x 2,9	149
91,604	235,00	1,05	223,81	4,09	4,14	48,3 x 2,9	142
95,889	235,00	1,05	223,81	4,28	4,53	48,3 x 3,2	193
96,592	235,00	1,05	223,81	4,32	4,53	48,3 x 3,2	269
103,321	235,00	1,05	223,81	4,62	5,23	60,3 x 2,9	205
104,58	235,00	1,05	223,81	4,67	5,23	60,3 x 2,9	163
114,345	235,00	1,05	223,81	5,11	5,23	60,3 x 2,9	203
117,228	235,00	1,05	223,81	5,24	5,74	60,3 x 3,2	157
128,876	235,00	1,05	223,81	5,76	6,41	60,3 x 3,6	174
129,548	235,00	1,05	223,81	5,79	6,41	60,3 x 3,6	10
131,435	235,00	1,05	223,81	5,87	6,41	60,3 x 3,6	16
133,202	235,00	1,05	223,81	5,95	6,41	60,3 x 3,6	132
133,21	235,00	1,05	223,81	5,95	6,41	60,3 x 3,6	230
134,724	235,00	1,05	223,81	6,02	6,41	60,3 x 3,6	235
135,126	235,00	1,05	223,81	6,04	6,41	60,3 x 3,6	155
142,528	235,00	1,05	223,81	6,37	6,41	60,3 x 3,6	236
153,486	235,00	1,05	223,81	6,86	7,33	76,1 x 3,2	162
155,683	235,00	1,05	223,81	6,96	7,33	76,1 x 3,2	237
158,189	235,00	1,05	223,81	7,07	7,33	76,1 x 3,2	259
159,907	235,00	1,05	223,81	7,14	7,33	76,1 x 3,2	152
161,71	235,00	1,05	223,81	7,23	7,33	76,1 x 3,2	227
171,088	235,00	1,05	223,81	7,64	8,20	76,1 x 3,6	167
174,225	235,00	1,05	223,81	7,78	8,20	76,1 x 3,6	171
180,155	235,00	1,05	223,81	8,05	8,20	76,1 x 3,6	128
187,865	235,00	1,05	223,81	8,39	9,65	88,9 x 3,6	226
207,642	235,00	1,05	223,81	9,28	9,65	88,9 x 3,6	124
208,63	235,00	1,05	223,81	9,32	9,65	88,9 x 3,6	257
226,243	235,00	1,05	223,81	10,11	12,50	114,3 x 3,6	246
235,477	235,00	1,05	223,81	10,52	12,50	114,3 x 3,6	6
246,823	235,00	1,05	223,81	11,03	12,50	114,3 x 3,6	136
248,601	235,00	1,05	223,81	11,11	12,50	114,3 x 3,6	113
262,587	235,00	1,05	223,81	11,73	12,50	114,3 x 3,6	112
266,712	235,00	1,05	223,81	11,92	12,50	114,3 x 3,6	200
278,852	235,00	1,05	223,81	12,46	12,50	114,3 x 3,6	118
282,843	235,00	1,05	223,81	12,64	13,90	114,3 x 4,0	15
282,843	235,00	1,05	223,81	12,64	13,90	114,3 x 4,0	148
282,843	235,00	1,05	223,81	12,64	13,90	114,3 x 4,0	181
282,843	235,00	1,05	223,81	12,64	13,90	114,3 x 4,0	214
302,26	235,00	1,05	223,81	13,51	13,90	114,3 x 4,0	217
306,3	235,00	1,05	223,81	13,69	13,90	114,3 x 4,0	190
306,482	235,00	1,05	223,81	13,69	13,90	114,3 x 4,0	204
322,365	235,00	1,05	223,81	14,40	15,50	114,3 x 4,5	129
326,076	235,00	1,05	223,81	14,57	15,50	114,3 x 4,5	220
360,028	235,00	1,05	223,81	16,09	19,10	139,7 x 4,5	223
380,205	235,00	1,05	223,81	16,99	19,10	139,7 x 4,5	114
381,505	235,00	1,05	223,81	17,05	19,10	139,7 x 4,5	194
382,253	235,00	1,05	223,81	17,08	19,10	139,7 x 4,5	18
405,392	235,00	1,05	223,81	18,11	19,10	139,7 x 4,5	161
434,88	235,00	1,05	223,81	19,43	25,70	168,3 x 5,0	184
441,785	235,00	1,05	223,81	19,74	25,70	168,3 x 5,0	253
478,843	235,00	1,05	223,81	21,40	25,70	168,3 x 5,0	151
550,777	235,00	1,05	223,81	24,61	25,70	168,3 x 5,0	263
637,895	235,00	1,05	223,81	28,50	33,60	219,1 x 5,0	268
672,085	235,00	1,05	223,81	30,03	33,60	219,1 x 5,0	207
1188,671	235,00	1,05	223,81	53,11	58,90	323,9 x 5,9	8
1270,181	235,00	1,05	223,81	56,75	58,90	323,9 x 5,9	240

COMPRESSIONE

Per quanto riguarda il dimensionamento delle aste a compressione il procedimento è lo stesso a meno dei fenomeni d'instabilità.

Aggiungiamo alla tabella il modulo di Young **E** del materiale pari a **210000 MPa** e la $\beta=1$.

Per quanto riguarda la lunghezza delle aste facciamo attenzione a distinguere i lati del cubo di lunghezza 3m con le aste diagonali o controventature di lunghezza 4,24m.

Ottengo i valori di λ , ρ_{min} e I_{min} e procedo con il dimensionamento delle aste facendo attenzione che i valori del profilato siano superiori a quelli trovati.

Calcolo dell'area minima da sforzo di compressione (resistenza materiale)				Calcolo dell'inerzia minima per sforzo di compressione (instabilità euleriana)				Ingegnierizzazione sezione e verifica snellezza per una membratura principale (< 200)				Frame N°			
N	f _{yk}	γ _{m0}	f _{yd}	A _{min}	E	beta	I	Lam*	rho_min	I_min	A _{design}	I _{design}	rho_min	I _{lam}	
kN	N/mm2		N/mm2	cm2	Mpa		m		cm	cm4	cm2	cm4	cm		
-1639,756	235,00	1,05	223,81	73,27	210000,00	1,00	4,24	96,23	4,41	1424	79,20	15849	14,10	30,09	247
-1040,517	235,00	1,05	223,81	46,49	210000,00	1,00	3,00	96,23	3,12	452	47,00	4206	9,46	31,71	1
-1040,517	235,00	1,05	223,81	46,49	210000,00	1,00	3,00	96,23	3,12	452	47,00	4206	9,46	31,71	262
-985,559	235,00	1,05	223,81	44,04	210000,00	1,00	4,24	96,23	4,41	856	47,00	4206	9,46	44,85	130
-898,701	235,00	1,05	223,81	40,15	210000,00	1,00	4,24	96,23	4,41	780	40,20	5144	11,30	37,55	7
-875,236	235,00	1,05	223,81	39,11	210000,00	1,00	3,00	96,23	3,12	380	39,50	2247	7,54	39,79	206
-840,517	235,00	1,05	223,81	37,56	210000,00	1,00	3,00	96,23	3,12	365	39,50	2247	7,54	39,79	2
-822,295	235,00	1,05	223,81	36,74	210000,00	1,00	3,00	96,23	3,12	357	39,50	2247	7,54	39,79	199
-753,954	235,00	1,05	223,81	33,69	210000,00	1,00	3,00	96,23	3,12	327	39,50	2247	7,54	39,79	111
-735,563	235,00	1,05	223,81	32,87	210000,00	1,00	4,24	96,23	4,41	639	33,80	3058	9,51	44,61	254
-688,803	235,00	1,05	223,81	30,78	210000,00	1,00	3,00	96,23	3,12	299	33,80	3058	9,51	31,55	166
-688,79	235,00	1,05	223,81	30,78	210000,00	1,00	3,00	96,23	3,12	299	33,80	3058	9,51	31,55	189
-680,806	235,00	1,05	223,81	30,42	210000,00	1,00	3,00	96,23	3,12	296	33,80	3058	9,51	31,55	210
-675,319	235,00	1,05	223,81	30,17	210000,00	1,00	3,00	96,23	3,12	293	33,80	3058	9,51	31,55	177
-661,39	235,00	1,05	223,81	29,55	210000,00	1,00	3,00	96,23	3,12	287	33,80	3058	9,51	31,55	232
-654,197	235,00	1,05	223,81	29,23	210000,00	1,00	4,24	96,23	4,41	568	33,80	3058	9,51	44,61	131
-619,857	235,00	1,05	223,81	27,70	210000,00	1,00	3,00	96,23	3,12	269	33,80	3058	9,51	31,55	222
-567,469	235,00	1,05	223,81	25,35	210000,00	1,00	3,00	96,23	3,12	246	27,00	1564	7,61	39,42	256
-507,442	235,00	1,05	223,81	22,67	210000,00	1,00	3,00	96,23	3,12	220	23,20	777	5,79	51,81	144
-491,129	235,00	1,05	223,81	21,94	210000,00	1,00	3,00	96,23	3,12	213	23,20	777	5,79	51,81	173
-471,296	235,00	1,05	223,81	21,06	210000,00	1,00	4,24	96,23	4,41	409	23,20	777	5,79	73,28	261
-466,166	235,00	1,05	223,81	20,83	210000,00	1,00	3,00	96,23	3,12	202	23,20	777	5,79	51,81	156
-455,893	235,00	1,05	223,81	20,37	210000,00	1,00	4,24	96,23	4,41	396	20,60	697	5,81	73,02	164
-451,06	235,00	1,05	223,81	20,15	210000,00	1,00	3,00	96,23	3,12	196	20,60	697	5,81	51,64	252
-451,06	235,00	1,05	223,81	20,15	210000,00	1,00	3,00	96,23	3,12	196	20,60	697	5,81	51,64	266
-434,873	235,00	1,05	223,81	19,43	210000,00	1,00	3,00	96,23	3,12	189	20,60	697	5,81	51,64	267
-407,653	235,00	1,05	223,81	18,21	210000,00	1,00	3,00	96,23	3,12	177	19,10	437,00	4,78	62,76	219
-389,458	235,00	1,05	223,81	17,40	210000,00	1,00	3,00	96,23	3,12	169	19,10	437,00	4,78	62,76	229
-389,458	235,00	1,05	223,81	17,40	210000,00	1,00	3,00	96,23	3,12	169	19,10	437,00	4,78	62,76	265
-386,237	235,00	1,05	223,81	17,26	210000,00	1,00	4,24	96,23	4,41	335	19,10	437,00	4,78	88,76	111
-376,462	235,00	1,05	223,81	16,91	210000,00	1,00	4,24	96,23	4,41	329	17,10	393,00	4,80	88,39	146
-376,032	235,00	1,05	223,81	16,89	210000,00	1,00	3,00	96,23	3,12	164	17,10	393,00	4,80	62,50	243
-375,453	235,00	1,05	223,81	16,78	210000,00	1,00	4,24	96,23	4,41	326	17,10	393,00	4,80	88,39	231
-349,334	235,00	1,05	223,81	15,61	210000,00	1,00	3,00	96,23	3,12	152	16,60	566,00	5,94	51,37	270
-345,57	235,00	1,05	223,81	15,44	210000,00	1,00	4,24	96,23	4,41	300	15,40	234,00	3,99	109,07	221
-319,825	235,00	1,05	223,81	14,29	210000,00	1,00	3,00	96,23	3,12	139	15,40	234,00	3,99	77,12	158
-307,45	235,00	1,05	223,81	13,74	210000,00	1,00	3,00	96,23	3,12	134	13,90	211,00	3,90	76,92	4
-289,241	235,00	1,05	223,81	12,92	210000,00	1,00	4,24	96,23	4,41	251	13,90	211,00	3,90	108,79	154
-287,055	235,00	1,05	223,81	12,83	210000,00	1,00	3,00	96,23	3,12	125	13,90	211,00	3,90	76,92	138
-268,734	235,00	1,05	223,81	12,01	210000,00	1,00	3,00	96,23	3,12	117	12,50	192,00	3,92	76,53	121
-267,107	235,00	1,05	223,81	11,93	210000,00	1,00	4,24	96,23	4,41	232	12,50	192,00	3,92	108,23	198
-260,934	235,00	1,05	223,81	11,96	210000,00	1,00	3,00	96,23	3,12	113	12,50	192,00	3,92	76,53	191
-257,204	235,00	1,05	223,81	11,49	210000,00	1,00	3,00	96,23	3,12	112	12,50	192,00	3,92	76,53	243
-251,36	235,00	1,05	223,81	11,23	210000,00	1,00	4,24	96,23	4,41	218	12,50	192,00	3,92	108,23	264
-248,369	235,00	1,05	223,81	11,10	210000,00	1,00	4,24	96,23	4,41	216	12,50	192,00	3,92	108,23	137
-229,344	235,00	1,05	223,81	10,25	210000,00	1,00	3,00	96,23	3,12	100	12,50	192,00	3,92	76,53	186
-227,511	235,00	1,05	223,81	10,17	210000,00	1,00	3,00	96,23	3,12	99	12,50	192,00	3,92	76,53	180
-210,19	235,00	1,05	223,81	9,39	210000,00	1,00	3,00	96,23	3,12	91	9,65	87,90	3,02	99,34	248
-210,035	235,00	1,05	223,81	9,38	210000,00	1,00	3,00	96,23	3,12	91	9,65	87,90	3,02	99,34	14
-205,04	235,00	1,05	223,81	9,16	210000,00	1,00	3,00	96,23	3,12	89	9,65	87,90	3,02	99,34	3
-200	235,00	1,05	223,81	8,94	210000,00	1,00	3,00	96,23	3,12	87	9,65	87,90	3,02	99,34	13
-200	235,00	1,05	223,81	8,94	210000,00	1,00	3,00	96,23	3,12	87	9,65	87,90	3,02	99,34	146
-200	235,00	1,05	223,81	8,94	210000,00	1,00	3,00	96,23	3,12	87	9,65	87,90	3,02	99,34	126
-200	235,00	1,05	223,81	8,94	210000,00	1,00	3,00	96,23	3,12	87	9,65	87,90	3,02	99,34	179
-200	235,00	1,05	223,81	8,94	210000,00	1,00	3,00	96,23	3,12	87	9,65	87,90	3,02	99,34	212
-200	235,00	1,05	223,81	8,94	210000,00	1,00	3,00	96,23	3,12	87	9,65	87,90	3,02	99,34	245
-197,178	235,00	1,05	223,81	8,81	210000,00	1,00	3,00	96,23	3,12	86	9,65	87,90	3,02	99,34	119
-189,385	235,00	1,05	223,81	8,46	210000,00	1,00	3,00	96,23	3,12	82	9,65	87,90	3,02	99,34	168
-175,563	235,00	1,05	223,81	7,84	210000,00	1,00	4,24	96,23	4,41	152	8,20	54,00	2,57	165,08	251
-171,232	235,00	1,05	223,81	7,65	210000,00	1,00	4,24	96,23	4,41	149	8,20	54,00	2,57	165,08	249
-163,571	235,00	1,05	223,81	7,51	210000,00	1,00	4,24	96,23	4,41	142	7,33	48,80	2,58	164,44	218
-158,773	235,00	1,05	223,81	7,09	210000,00	1,00	4,24	96,23	4,41	138	7,33	48,80	2,58	164,44	216
-154,447	235,00	1,05	223,81	6,90	210000,00	1,00	3,00	96,23	3,12	67	7,33	48,80	2,58	116,28	224
-147,899	235,00	1,05	223,81	6,61	210000,00	1,00	4,24	96,23	4,41	128	7,33	48,80	2,58	164,44	197
-144,96	235,00	1,05	223,81	6,48	210000,00	1,00	3,00	96,23	3,12	63	7,33	48,80	2,58	116,28	201
-144,772	235,00	1,05	223,81	6,47	210000,00	1,00	3,00	96,23	3,12	63	7,33	48,80	2,58	116,28	250
-144,647	235,00	1,05	223,81	6,46	210000,00	1,00	4,24	96,23	4,41	126	7,33	48,80	2,58	164,44	165
-134,651	235,00	1,05	223,81	6,02	210000,00	1,00	3,00	96,23	3,12	58	6,41	25,90	2,01	149,25	255
-126,889	235,00	1,05	223,81	5,67	210000,00	1,00	3,00	96,23	3,12	55	6,41	25,90	2,01	149,25	140
-120,646	235,00	1,05	223,81	5,39	210000,00	1,00	3,00	96,23	3,12	52	6,41	25,90	2,01	149,25	213
-119,05	235,00	1,05	223,81	5,32	210000,00	1,00	4,24	96,23	4,41	103	6,41	25,90	2,01	211,08	188
-115,862	235,00	1,05	223,81	5,18	210000,00	1,00									