

PROGETTO DI UNA TRAVATURA RETICOLARE SPAZIALE MEDIANTE L'UTILIZZO DEL SOFTWARE SAP2000.

Introduzione

L'obiettivo di questa esercitazione è quello di studiare una travatura reticolare spaziale e dimensionarne le aste tese e compresse mediante l'utilizzo del programma di calcolo Sap2000, al fine di dimensionare correttamente tutte le parti della struttura mediante la lettura e comprensione dei fogli di calcolo Excel che il programma fornisce dopo l'analisi strutturale.

Riassunto dei passaggi principali :

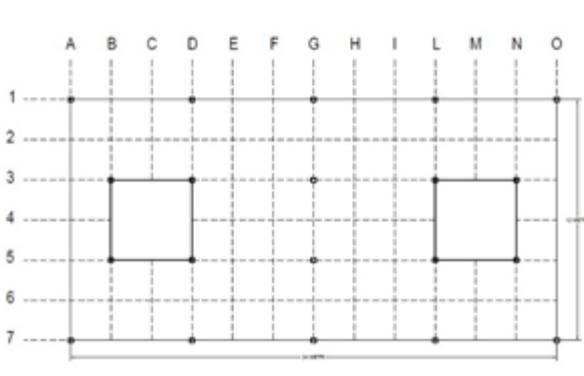
1. Disegno in Autocad del piano tipo dell'edificio
2. Disegno della travatura reticolare in Sap2000
3. Analisi delle aree di influenza
4. Analisi dei Carichi allo SLU e SLE
5. Definizione della Sezione , Assegnazione dei vincoli e dei carichi in Sap2000
6. Analisi della Struttura
7. Esportazione Tabelle .xls e valutazione dei risultati con conseguente divisione in macro gruppi
8. Dimensionamento a Compressione e Trazione delle Aste
9. Aggiunta del peso proprio della struttura, sostituzione sezioni dimensionate e analisi finale
10. Verifica ultima della snellezza delle aste ($\lambda > 200$).

1 - Disegno in Autocad del piano tipo dell'edificio

Disegno in Autocad la pianta tipo di un edificio.

Posiziono le gabbie scale e i pilastri che saranno collegati ai nodi della travatura reticolare.

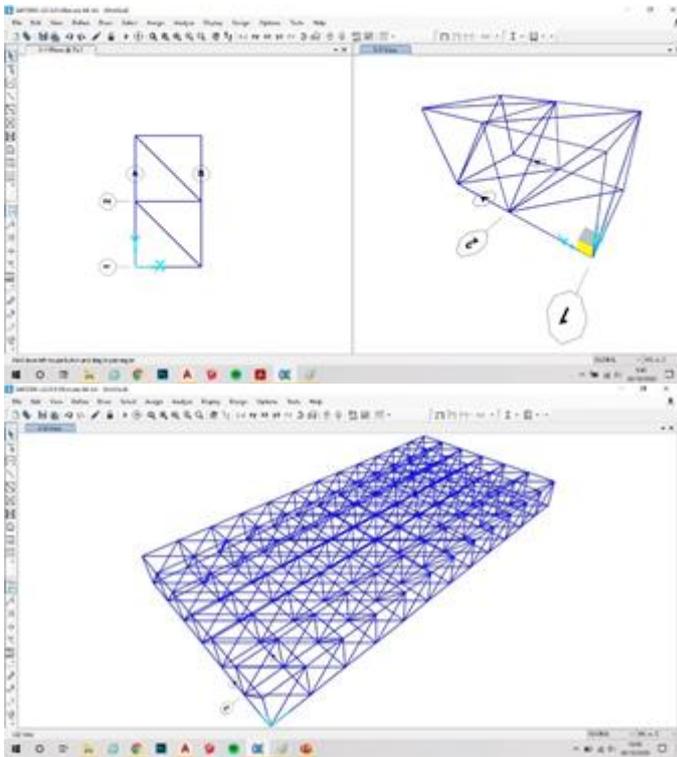
Dimensionamento di una trave reticolare spaziale di un edificio composto da n° 8 piani, i quali sono «appesi» alla travatura reticolare mediante dei tiranti, a sua volta sostenuta da 2 punti di appoggio in cls (gabbia scale).



2 - Disegno della travatura reticolare in Sap2000

Come primo passaggio si disegna un cubo controventato per definire un modulo della nostra struttura. (2x2x2m).

Per disegnarlo si imposta una griglia di lavoro per avere dei riferimenti spaziali nel modello di Sap2000 attraverso il comando Define Grid System Data (grid only – importante il controllo delle unità di misura espresse in Kn,m,C). Si inseriranno quindi nella finestra di dialogo dedicata alla griglia i valori che si vogliono assegnare (2 m per lato).



3 – Analisi delle Aree di influenza

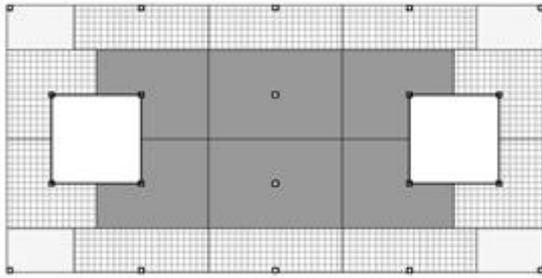
Torniamo in Autocad per calcolare l'area di influenza di ogni appoggio.

Avremo 3 distinzioni :

- Nodi centrali
- Nodi perimetrali
- Nodi angolari

Divideremo poi il carico che calcoleremo successivamente

Stando attenti ad una proporzione idonea del carico per posizione del nodo, in funzione delle singole aree di influenza .



4 – Analisi dei carichi allo SLU e SLE



Scegliamo ora la tipologia di solaio scelto per il nostro edificio .

Solaio leggero in acciaio .

Utilizziamo le formule fornite dalla normativa in materia NTC 2008 che corrispondono a due distribuzioni di carico diverse:

- SLU : Sicurezza
- SLE : Confortevolezza

Nelle due formule cambiano quindi i coefficienti moltiplicatori in caso di SLU o SLE.

Dovremo comunque sempre considerare per ognuna delle due questi valori :

- Q_u = carico strutturale
- Q_p = sovraccarico permanente
- Q_a = sovraccarico accidentale

Nel nostro caso $q_u = 10,31 \text{ kN/m}^2$

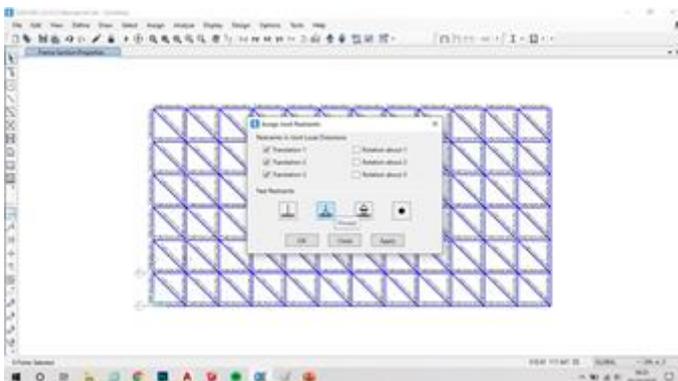
5 – Definizione della sezione, Assegnazione dei vincoli e dei carichi in Sap2000

Definiremo ora la sezione delle aste aggiungendo un materiale con il comando **Add Materiale>Acciaio S355> selezione tutte le aste>Assign>Frame>FrameSection>Import New Properties>Sagomario>euro.pro>Pipe>Tubo D244 5x5,4>ok .**



Ora si posizionano i vincoli :

View>Set2d view>piano xy>quota 0>seleziono i nodi interessati>Assign>Joint>Joint Restraints>cerniera>ok.



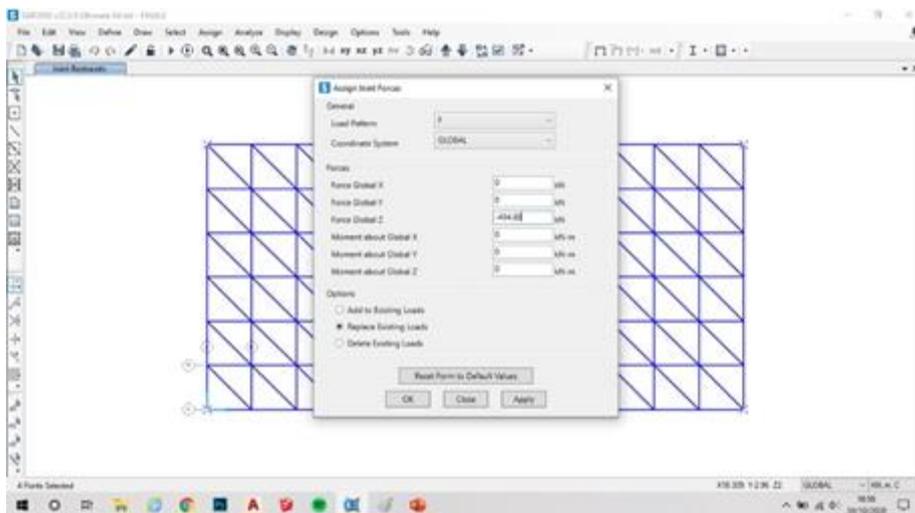
Ora assegno i carichi:

Selezione dei pilastri centrali, perimetrali e angolari e assegneremo ad ogni gruppo di questi il carico corrispondente che abbiamo calcolato precedentemente.

Definisco quindi un **LOAD PATTERN** chiamato “F”> togliendo il moltiplicatore di peso proprio (no carichi distribuiti).

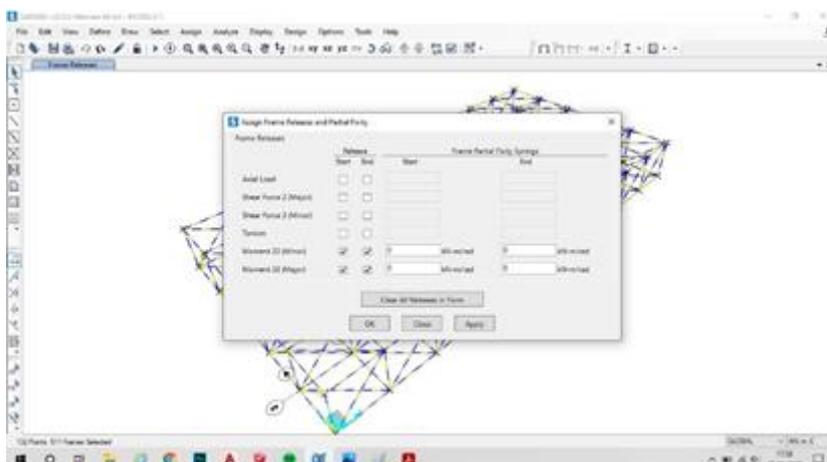
Assign>JointLoads>Forces>F>Force Global Z> e si inseriscono i valori calcolati precedentemente.

- Nodi angolari: $10.31 \text{ kN/mq} \times 6\text{mq} \times 8 \text{ (piani)} = 494.88 \text{ kN}$
- Nodi centrali: $10.31 \text{ kN/mq} \times 24\text{mq} \times 8 \text{ (piani)} = 1979.52 \text{ kN}$
- Nodi perimetrali: $10.31 \text{ kN/mq} \times 12\text{mq} \times 8 \text{ (piani)} = 989.76 \text{ kN}$
- Nodi gabbia scale interni: $10.31 \text{ kN/mq} \times 16\text{mq} \times 8 \text{ (piani)} = 1319.68 \text{ kN}$



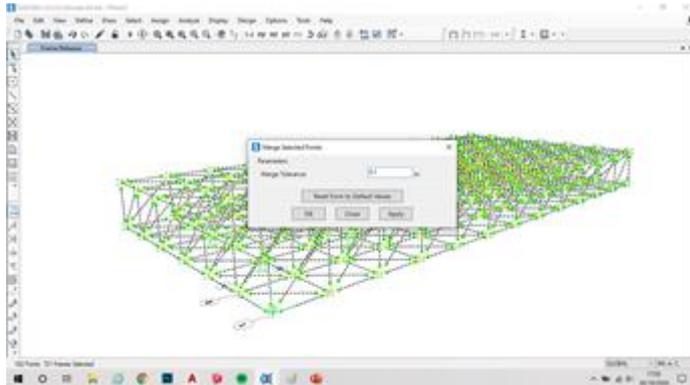
Come ultimo passaggio prima di avviare l’analisi si deve fare l’operazione del Rilascio dei Momenti .

Assign>Frame>Release Partial Fixity> moment 22 e moment 33 = 0 (all’inizio e alla fine).



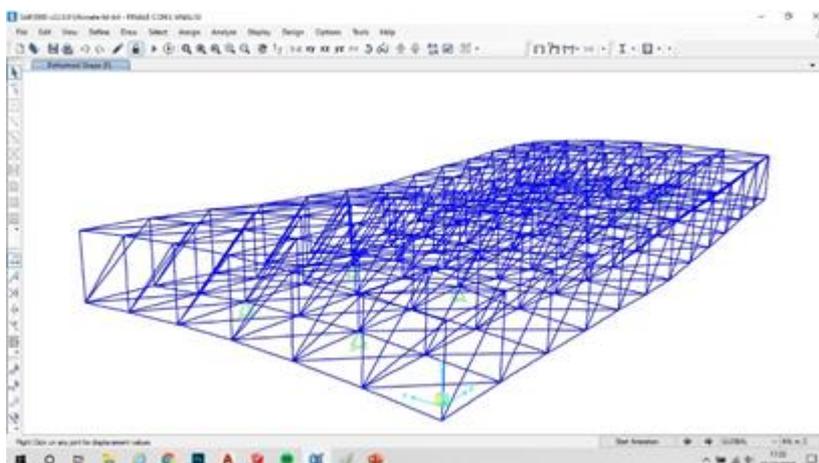
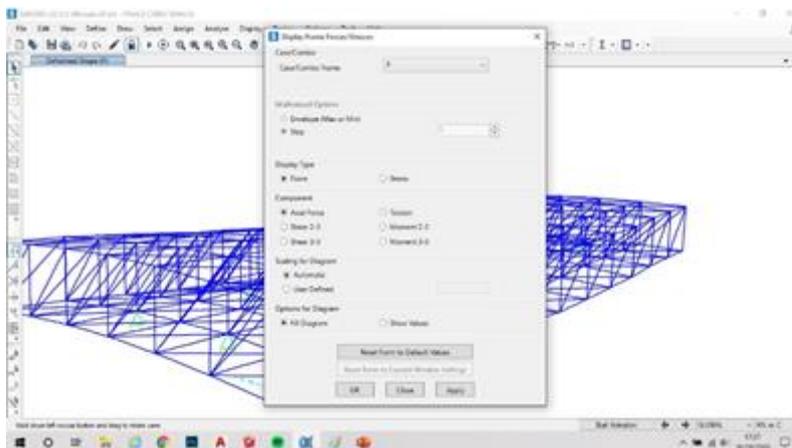
Selezione quindi tutta la struttura >edit>edit points>Matchjoints>criterio di tolleranza 0,1m >ok.

(questo passaggio si effettua per eliminare le incongruenze geometriche che in alcuni casi si verificano nell'importazione del modello in sap o nella sua costruzione).

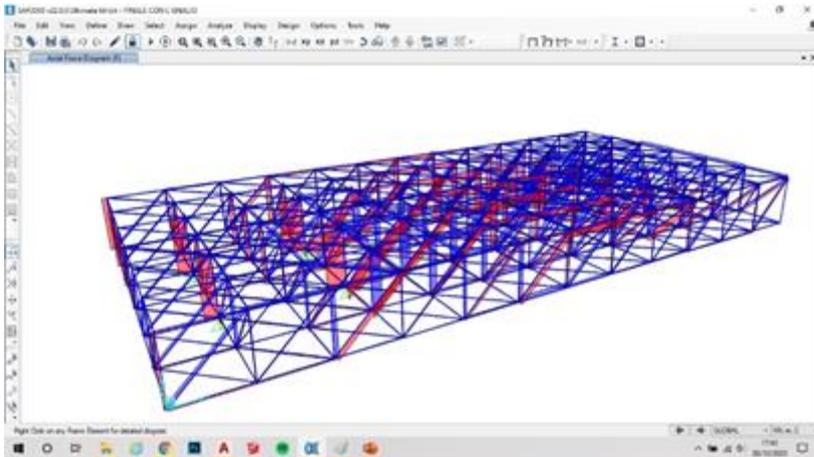


6 – Analisi della Struttura

Analysis>RunAnalysis



Dopo aver avviato l'analisi visualizziamo quindi il diagramma grafico degli sforzi normali agenti sulla struttura tramite il comando **Display Frame Forces/Stresses**.



7 - Esportazione Tabelle .xls e valutazione dei risultati con conseguente divisione in macro gruppi

Attraverso il comando **Assign>Frame>Output Stations** si indica a Sap che nell'esportazione delle tabelle excel dovrà considerare solamente i valori all'inizio e alla fine delle aste, per non creare confusione al momento della lettura dei valori.

Con il comando Ctrl+T esportiamo quindi le tabelle.

Analisi delle tabelle di esportazione da Sap2000 : per ordinare i risultati eliminiamo le righe che riportano valori ininfluenti (pari a 0) e dividiamo le aste per gruppi selezionando un range di valori di sforzo normale ragionevolmente ampi, per far sì che la progettazione delle aste tese e compresse sia verosimile a quella che si fa nella realtà .

8 - Dimensionamento a Compressione e Trazione delle Aste

Per dimensionare le aste compresse consideriamo diversi parametri come : **l'Area minima Amin, il momento di inerzia Ix, e il raggio giratore di inerzia pmin.**

(per far sì che l'asta sia verificata anche per il fenomeno di instabilità euleriana).

Con il valore dell'Area minima consulteremo quindi i profilari , in base alla sezione assegnata alle aste in fase di modellazione in Sap2000, scegliendo i valori immediatamente superiori.

Si riportano i valori corrispondenti di Area di design, Inerzia di design e Rho min corrispondenti alla sezione scelta.

	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)						Ingegnierizzazione sezione e verifica snellezza per una membratura principale (< 200)				
2	Gruppo asta	N	fyk	γ _{ed}	fyd	A_min	E	beta	i	Lam*	rho_min	I_min	A_design	I_design	rho_min	lam
3		kN	N/mm2		N/mm2	cm2	Mpa		m		cm	cm4	cm2	cm4	cm	
4																
5	1	-2873.82	355.00	1.05	338.10	85.00	210000.00	1.00	2.00	78.30	2.55	555	20.6	697	5.81	34.42
6	2	-1267.63	355.00	1.05	338.10	37.49	210000.00	1.00	2.00	78.30	2.55	245	13.9	211	3.90	51.26
7	3	-964.76	355.00	1.05	338.10	28.54	210000.00	1.00	2.00	78.30	2.55	186	9.65	88	3.02	66.23
8	4	-799.74	355.00	1.05	338.10	23.65	210000.00	1.00	2.00	78.30	2.55	154	3.07	3.60	1.08	185.19
9	5	-599.46	355.00	1.05	338.10	17.73	210000.00	1.00	2.00	78.30	2.55	116	3.07	3.60	1.08	185.19
10	6	-498.18	355.00	1.05	338.10	14.73	210000.00	1.00	2.00	78.30	2.55	96	3.07	3.60	1.08	185.19
11	7	-397.21	355.00	1.05	338.10	11.73	210000.00	1.00	2.00	78.30	2.55	77	3.07	3.60	1.08	185.19
12	8	-297.15	355.00	1.05	338.10	8.79	210000.00	1.00	2.00	78.30	2.55	57	3.07	3.60	1.08	185.19
13	9	-196.79	355.00	1.05	338.10	5.88	210000.00	1.00	2.00	78.30	2.55	38	3.07	3.60	1.08	185.19
14	10	-96.65	355.00	1.05	338.10	2.92	210000.00	1.00	2.00	78.30	2.55	19	3.07	3.60	1.08	185.19

Per dimensionare le aste tese consideriamo il valore dello sforzo normale e la resistenza di progetto.

Conoscendo questi due valori possiamo dunque ricavare il valore dell'Area necessaria a contrastare lo sforzo normale, scegliendo i valori immediatamente superiori.

	A	B	C	D	E	F	G
1	Calcolo dell'area minima da sforzo normale di trazione						
2							
3	Gruppo asta	N	fyk	γ_m	f_d	A_min	A_design
4		kN	Mpa		Mpa	cm2	cm2
5							
6	1	99,20	355,00	1,05	338,10	2,93	3,07
7	2	199,93	355,00	1,05	338,10	5,91	9,65
8	3	299,13	355,00	1,05	338,10	8,85	15,40
9	4	399,27	355,00	1,05	338,10	11,81	20,60
10	5	597,29	355,00	1,05	338,10	17,67	20,60
11	6	789,96	355,00	1,05	338,10	23,37	20,60
12	7	1141,06	355,00	1,05	338,10	33,75	20,60
13							

Raggrupperemo infine le aste tese e compresse in macro gruppi aventi tutti le stesse sezioni .

Ai fini dell'ingegnerizzazione delle aste abbiamo pensato di suddividere il numero totale di queste in gruppi (ogni gruppo ha un range di carico piuttosto ampio per far sì che il cantiere sia organizzato per poter assemblare la travatura reticolare ottimizzando le tempistiche e il numero di sezioni da assemblare).

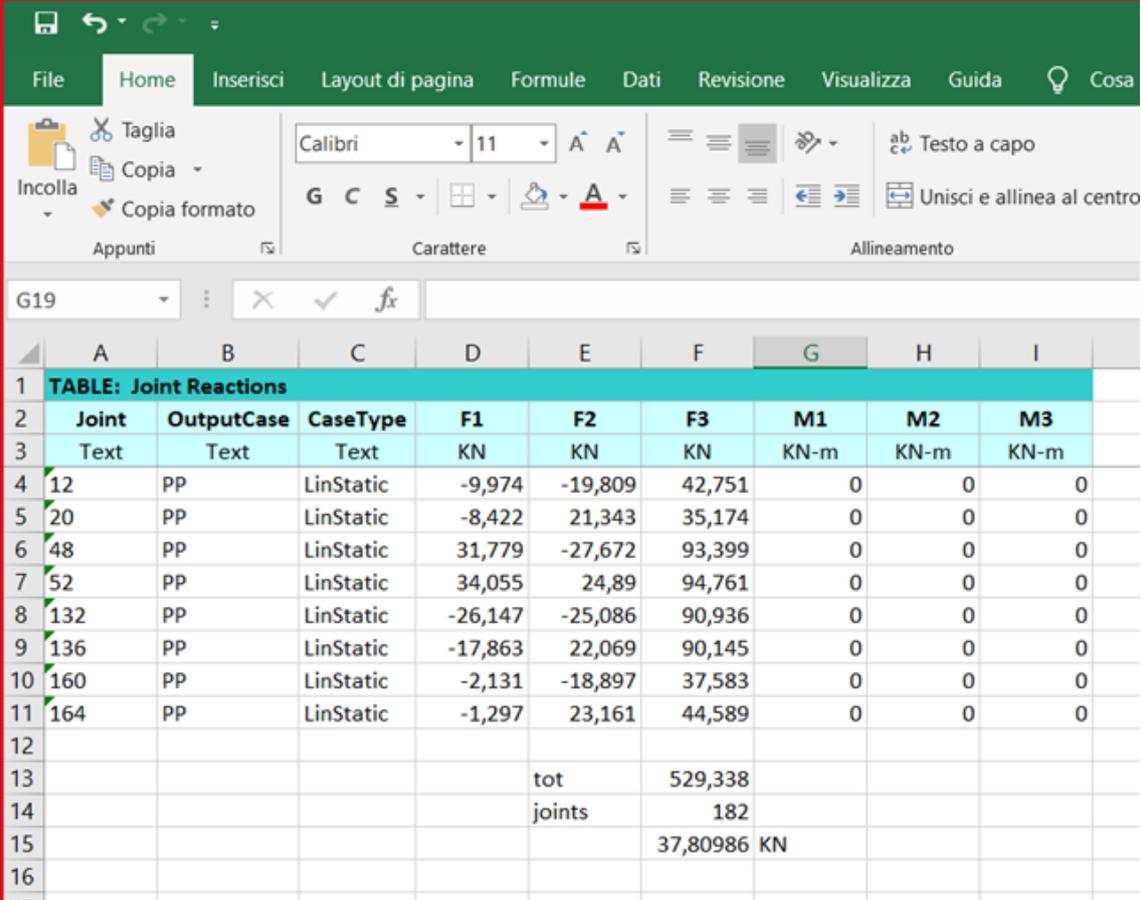
	A	B	C
1			
2	ASTA COMPRESSE		
3	Gruppo Asta	Asta	Dimensione Profilo
4			
5	1	11	168,3 x 4,0
6	2	8	139,7 x 3,6
7	3	19	88,9 x 3,6
8	4	322	33,7 x 3,2
9			
10	ASTA TRAZIONE		
11	Gruppo Asta	Asta	Dimensione Profilo
12			
13	1	121	33,7 x 3,2
14	2	69	42,4 x 2,6
15	3	40	60,3 x 2,9
16	4	133	60,3 x 3,6
17			

9 - Aggiunta del peso proprio della struttura

Torniamo in Sap2000 per aggiungere un nuovo **LOAD PATTERN** che ci aiuterà a considerare anche il peso proprio della struttura.

Modificheremo anche le sezioni dei gruppi di aste, ora calcolate con precisione in funzione dei carichi.

Ripetiamo l'analisi .



Joint	OutputCase	CaseType	F1	F2	F3	M1	M2	M3
12	PP	LinStatic	-9,974	-19,809	42,751	0	0	0
20	PP	LinStatic	-8,422	21,343	35,174	0	0	0
48	PP	LinStatic	31,779	-27,672	93,399	0	0	0
52	PP	LinStatic	34,055	24,89	94,761	0	0	0
132	PP	LinStatic	-26,147	-25,086	90,936	0	0	0
136	PP	LinStatic	-17,863	22,069	90,145	0	0	0
160	PP	LinStatic	-2,131	-18,897	37,583	0	0	0
164	PP	LinStatic	-1,297	23,161	44,589	0	0	0
				tot	529,338			
				joints	182			
					37,80986 KN			

10 - Verifica ultima della snellezza delle aste ($\lambda > 200$).

Verificheremo infine che il valore della **Lamba λ (snellezza)** sia inferiore a **200**, come espresso dalla normativa in materia.

Verificheremo inoltre l'abbassamento di ogni punto coconsiderando che lo SLE è inteso mediamente come il 30% in meno dello SLU. Verificato questo ultimo punto quindi diremo che , facendo questa semplice proporzione, l'abbassamento è verificato e rientra nei limiti normativi .

Dopo l'ultima analisi che considera sia il peso proprio della struttura sia le forze, verificheremo quindi lo spostamento massimo dei nodi .

Joint	OutputCase	CaseType	U1	U2	U3	R1	R2	R3
Text	Text	Text	mm	mm	mm	Radians	Radians	Radians
15	F	LinStatic	0.642538	0.122904	1.795292	0	0	0
13	F	LinStatic	4.090885	-1.501435	1.463335	0	0	0
174	F	LinStatic	-1.292635	1.755585	1.073121	0	0	0
19	F	LinStatic	0.000916	-0.976751	1.049105	0	0	0
175	F	LinStatic	0.286459	0.063127	0.879492	0	0	0
172	F	LinStatic	-1.46165	0.469688	0.738388	0	0	0
17	F	LinStatic	4.64292	-0.54539	0.552441	0	0	0
173	F	LinStatic	0.304632	0.904973	0.288341	0	0	0
161	F	LinStatic	-1.464252	0.80828	0.171417	0	0	0
12	F	LinStatic	0	0	0	0	0	0
14	F	LinStatic	0	0	0	0	0	0
15	F	LinStatic	0	0	0	0	0	0
16	F	LinStatic	0	0	0	0	0	0
17	F	LinStatic	0	0	0	0	0	0
18	F	LinStatic	0	0	0	0	0	0
19	F	LinStatic	0	0	0	0	0	0
20	F	LinStatic	0	0	0	0	0	0
21	F	LinStatic	0.539836	0.02544	-0.148204	0	0	0
22	F	LinStatic	0.305419	0.104129	-0.246289	0	0	0
14	F	LinStatic	2.040548	1.433363	0.400406	0	0	0

Il nodo che si abbassa di più è il n. 15 con un abbassamento di $mm = 1,79$.

Bisogna ora verificare che questo abbassamento sia $U_{max} < L/200 = 60 \text{ mm}$, è dunque verificata.