

FASE 1. MODELLAZIONE

- Apro SAP2000 e nella schermata vuota seleziono **_FILE/NEW MODEL**
- Si aprirà una finestra nella quale inserisco le giuste unità di misura [KN,m,C]
- Seleziono **_GRID ONLY** e imposto la griglia guida tridimensionale sulla quale costruirò la mia trave

NUMBER OF GRID LINE (numero di rette che compongono la griglia)

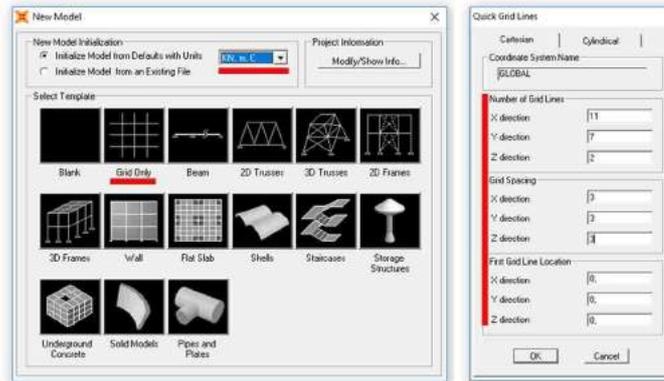
GRID SPACING (spazio fra le rette che compongono la griglia)

$X=11, Y=7, Z=2$

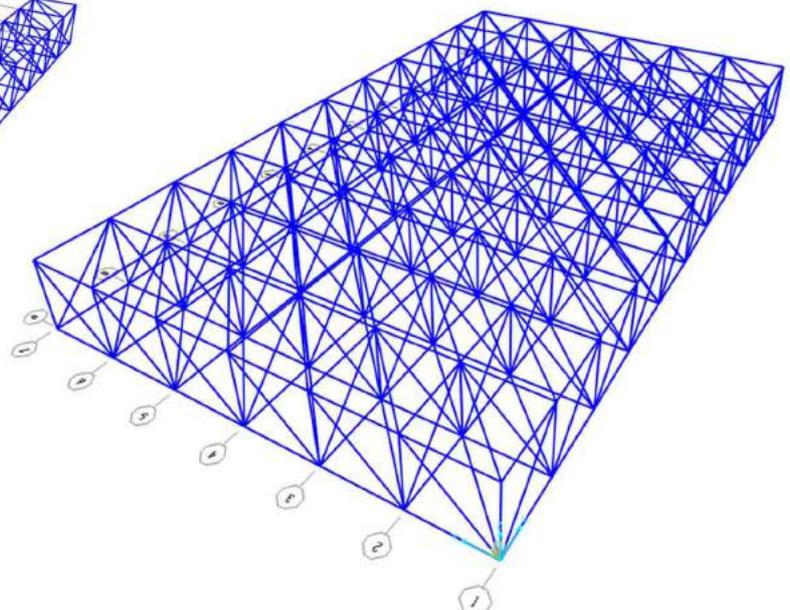
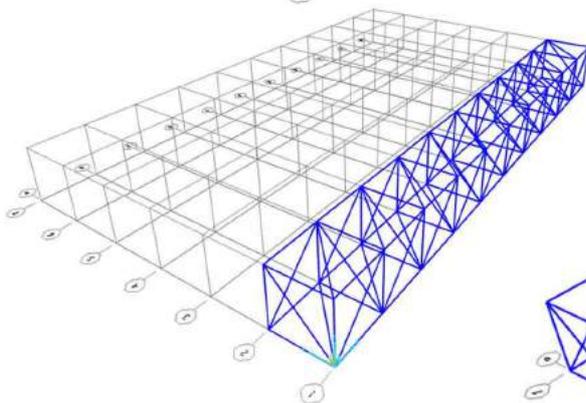
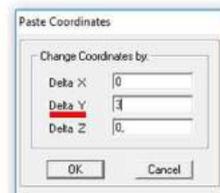
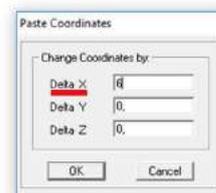
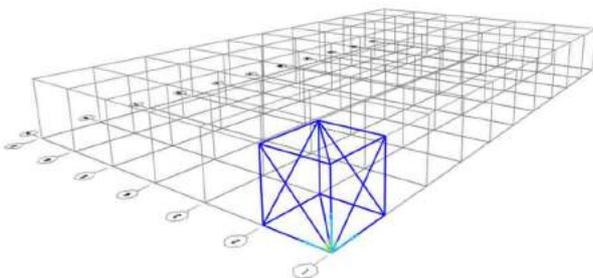
FIRST GRID LINE LOCATION (centro)

$X=0, Y=0, Z=0$

Ho quindi scelto il passo e il numero delle mie campate strutturali



- Seleziono **_DRAW/FRAME** e disegno il modello cubico scelto utilizzando le linee guida costruite
- Copio il cubo facendo attenzione a non selezionare le aste poste al primo bordo per evitare sovrapposizioni e attraverso **CTRL+C** e **CTRL+V** costruisco la trave nelle direzioni X e Y

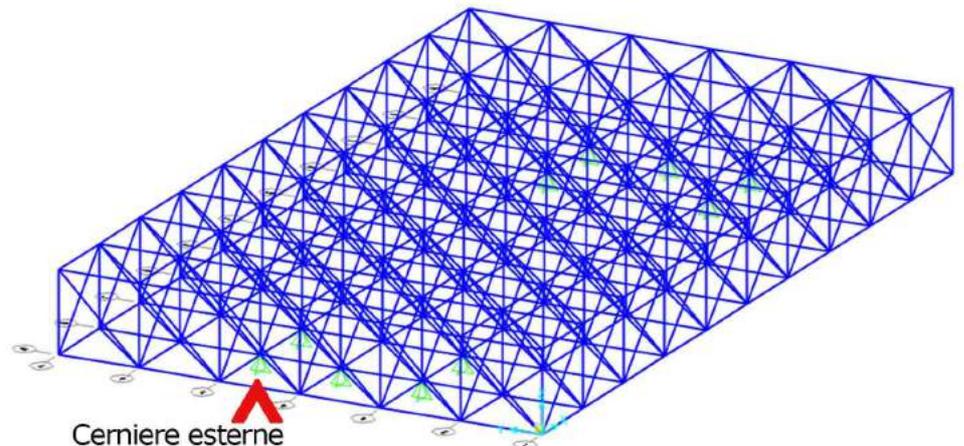
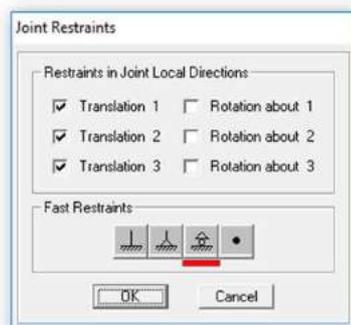


LA GRIGLIA È COMPLETA

FASE 2. ASSEGNAZIONE VINCOLI

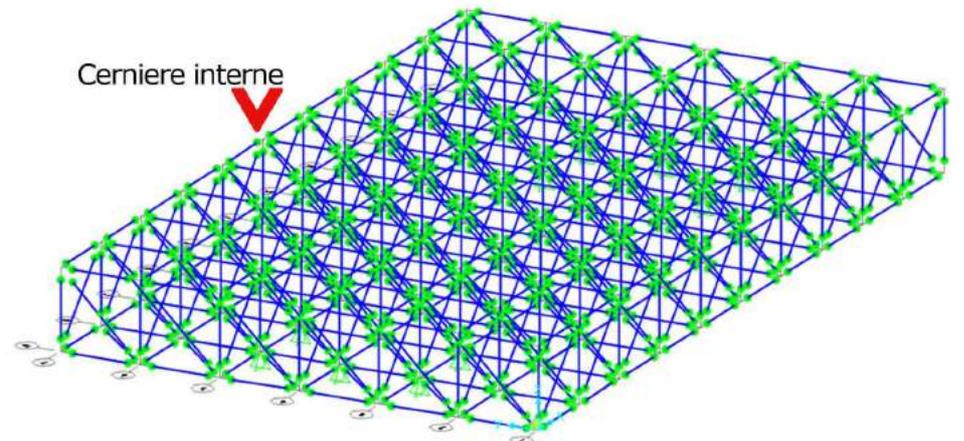
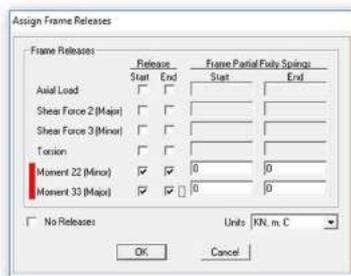
Assegno i vincoli esterni, considerando la mia struttura "appoggiata" a delle cerniere esterne

- Selezione i nodi che mi interessano e **_ASSIGNE/JOINT/RESTRAINS** e scelgo la cerniera



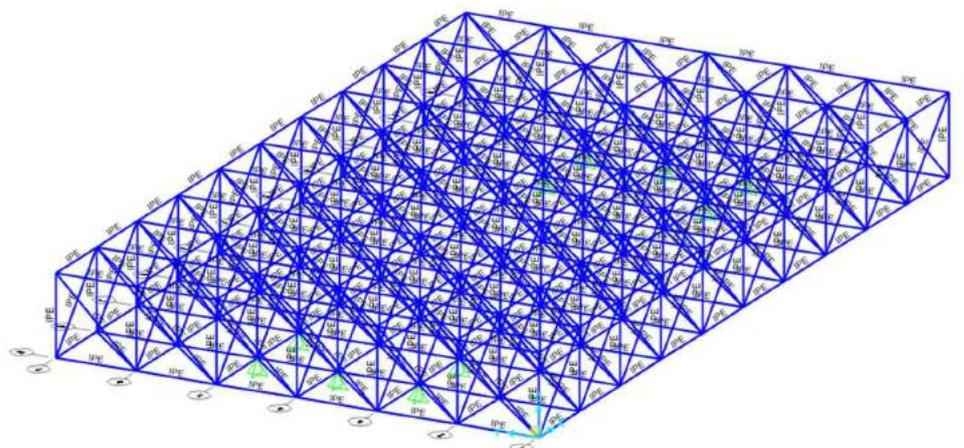
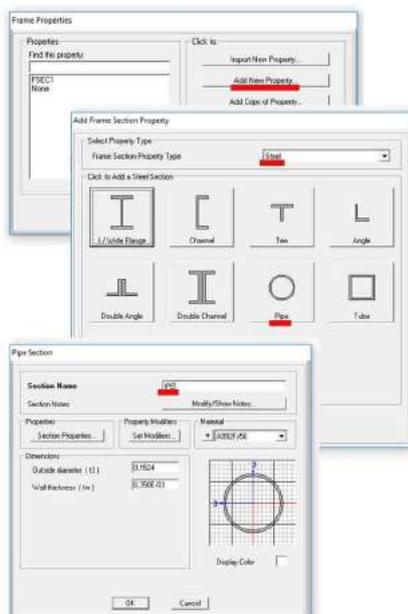
Definisco tutti i nodi di connessione tra le aste come cerniere interne

- Selezione la struttura e **_ASSIGNE/FRAME/RELEASE/PARTIAL FIXITY** e spunto moment 2-2 e moment 3-3



Sap2000 non mi permette di fare calcoli se prima non assegno una sezione alla mia struttura, quindi scelgo l'acciaio come materiale e un profilo provvisorio per poter produrre le analisi

- Selezione la struttura e **_ASSIGNE/FRAME/FRAME SECTION**
- Selezione **_ADD NEW PROPERTIES/PIPE** e rinomino il profilo scelto con IPE



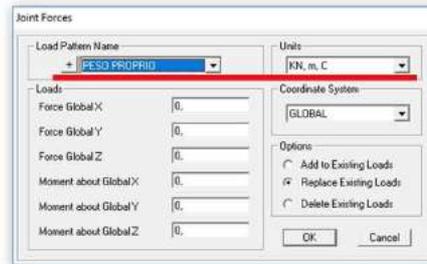
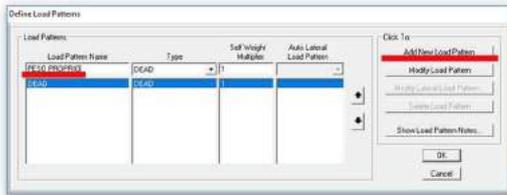
LA STRUTTURA È ADEGUATAMENTE VINCOLATA

FASE 3. ASSEGNAZIONE CARICHI E ANALISI

Le strutture reticolari sono composte da aste rettilinee incernierate agli estremi e non soggette a carichi distribuiti sulla lunghezza. Devo, quindi, calcolare i carichi distribuiti e determinare il valore equivalente di carichi concentrati agenti sui soli nodi. I carichi distribuiti totali sono dati dai due componenti: il peso proprio della struttura e il peso dei solai appesi.

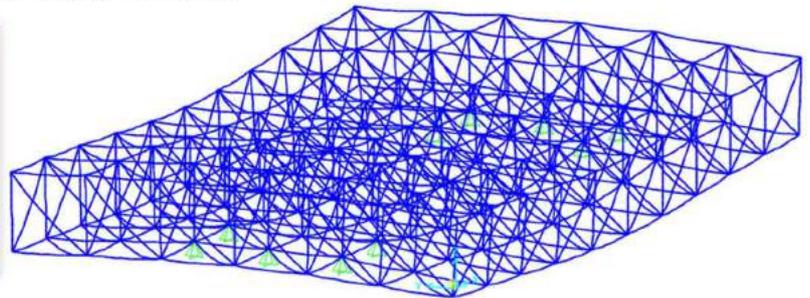
Procedo con il calcolo del peso proprio della struttura

- Selezione **_DEFINE/LOAD PATTERNS** e rinomino il carico con PESO PROPRIO
- Selezione **_ADD NEW LOAD PATTERNS**
- Assegno poi questo carico selezionando **_ASSIGNE/JOINT LOADS/FORCES**



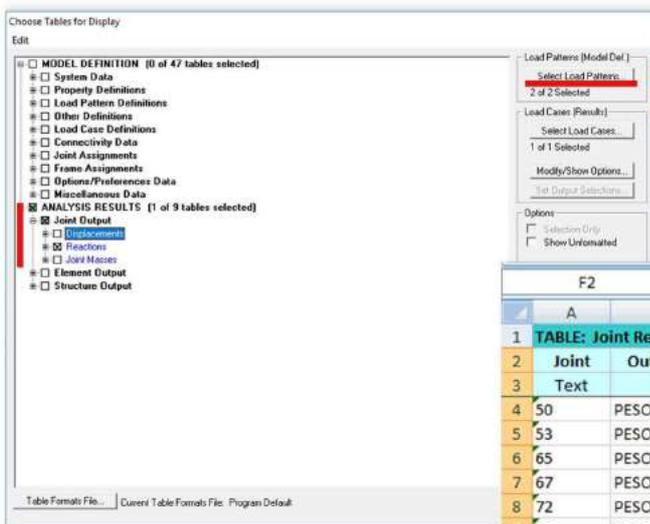
Passo all'analisi

- Selezione **_PLAY** e faccio agire il PESO PROPRIO eliminando i casi estranei tramite **_DO NOT RUN**
- Selezione **_RUN NOW** e ottengo la struttura deformata



Posso visualizzare i risultati dell'analisi

- Selezione **_DISPLAY/SHOW TABLE** e **_ANALYSIS RESULTS/SELECT LOAD PATTERNS** scegliendo **_JOINT OUTPUT/JOINT REACTIONS**
- Si apre una tabella nella quale sono già visibili i risultati, per esportarla su EXCEL seleziono **_FILE/EXPORT CURRENT TABLE/TO EXCEL**
- Sommo i risultati della colonna F3



Joint	OutputCase	CaseType	F1	F2	F3	M1	M2	M3
Text	Text	Text	KN	KN	KN	KN-m	KN-m	KN-m
50	PESO PROPRIO	LinStatic	-10,432	-20,456	25,586	0	0	0
53	PESO PROPRIO	LinStatic	43,625	-23,399	89,454	0	0	0
65	PESO PROPRIO	LinStatic	-22,353	-17,07	85,244	0	0	0
67	PESO PROPRIO	LinStatic	-1,693	-29,756	30,428	0	0	0
72	PESO PROPRIO	LinStatic	-1,18	-7,618	8,185	0	0	0
89	PESO PROPRIO	LinStatic	-3,379	-1,415	8,776	0	0	0
94	PESO PROPRIO	LinStatic	-12,618	23,89	28,064	0	0	0
97	PESO PROPRIO	LinStatic	41,181	28,949	89,031	0	0	0
109	PESO PROPRIO	LinStatic	-32,541	25,412	84,219	0	0	0
111	PESO PROPRIO	LinStatic	-0,61	21,461	29,398	0	0	0

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
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	50	PESO PROPRIO	LinStatic	-10,432	-20,456	25,586	0	0	0	
5	53	PESO PROPRIO	LinStatic	43,625	-23,399	89,454	0	0	0	
6	65	PESO PROPRIO	LinStatic	-22,353	-17,07	85,244	0	0	0	
7	67	PESO PROPRIO	LinStatic	-1,693	-29,756	30,428	0	0	0	
8	72	PESO PROPRIO	LinStatic	-1,18	-7,618	8,185	0	0	0	
9	89	PESO PROPRIO	LinStatic	-3,379	-1,415	8,776	0	0	0	
10	94	PESO PROPRIO	LinStatic	-12,618	23,89	28,064	0	0	0	
11	97	PESO PROPRIO	LinStatic	41,181	28,949	89,031	0	0	0	
12	109	PESO PROPRIO	LinStatic	-32,541	25,412	84,219	0	0	0	
13	111	PESO PROPRIO	LinStatic	-0,61	21,461	29,398	0	0	0	
14						478,385				

LA STRUTTURA PESA 478,385 KN

FASE 3. ASSEGNAZIONE CARICHI E ANALISI

Procedo con il calcolo del peso dei solai appesi. Ho ipotizzato due solai appesi alla mia travatura reticolare. Per assegnare il carico che agisce su ogni nodo tengo conto dei seguenti parametri:

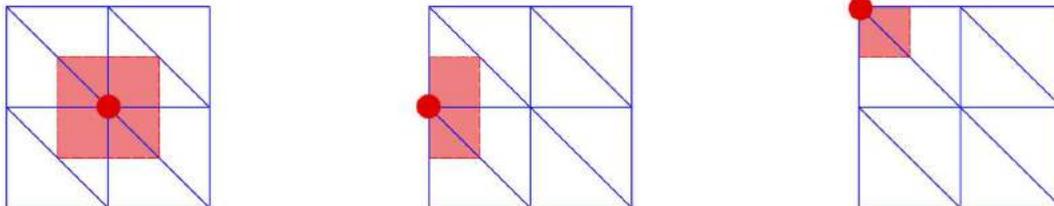
- Area= 540 mq
- Numero solai appesi= 2
- Peso proprio piano= 10 KN/mq
- Peso piano= 10 KN/mq x 540 mq= 5400 KN
- Peso totale piani= 5400 KN x 2= 10800 KN
- Peso proprio struttura reticolare= 478,385 KN
- Peso totale= 10800 KN + 478,385 KN= 11278,385 KN
- Peso totale per mq= 11278,385 KN / 540 mq= 20,9 KN

Naturalmente i nodi porteranno peso in base alla loro area d'influenza.

Nodi centrali: 20,9 KN x 9 mq= 188,1 KN/mq

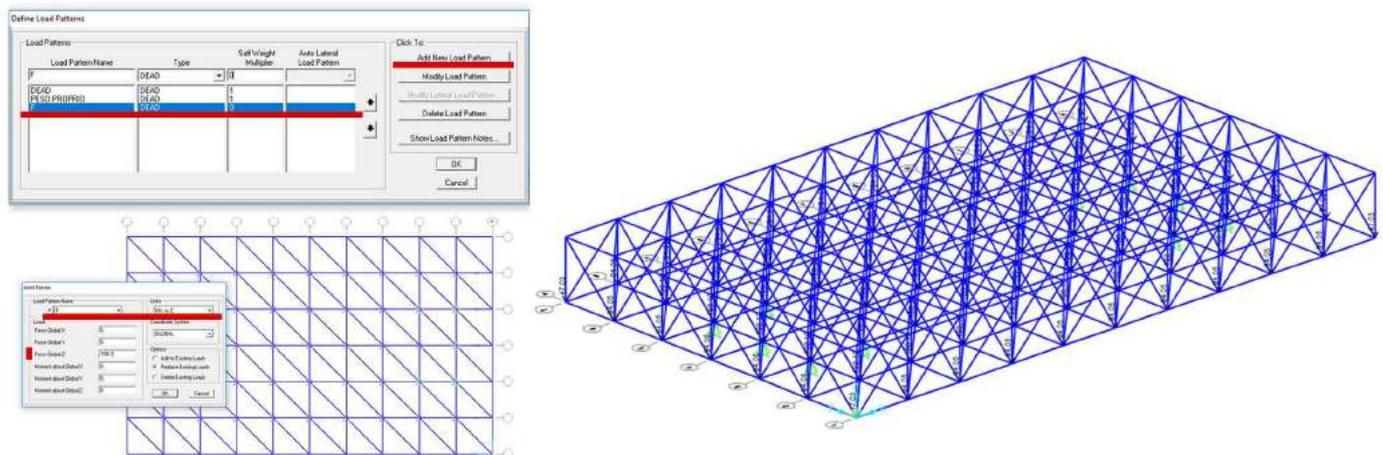
Nodi perimetrali: 20,9 KN x 4,5 mq= 94,05 KN/mq

Nodi d'angolo: 20,9 KN x 2,25 mq= 47,025 KN/mq



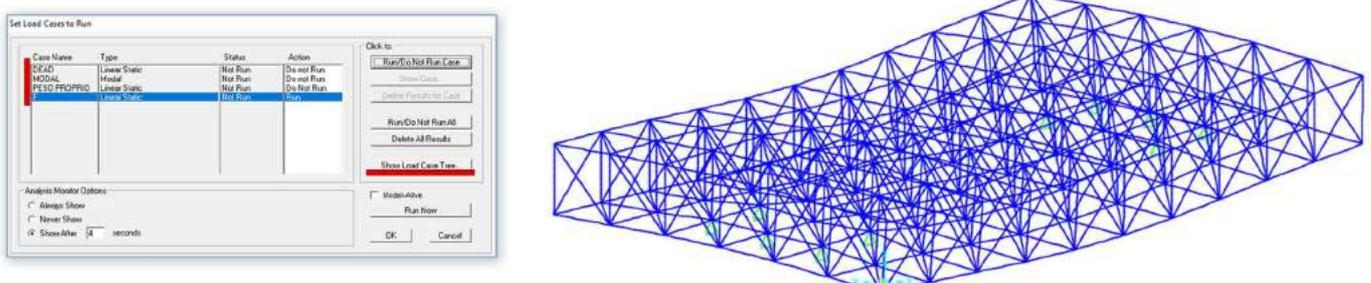
Procedo all'applicazione di queste forze

- Selezione **_DEFINE/LOAD PATTERNS** e rinomino il carico con F
 - Selezione **_ADD NEW LOAD PATTERNS**
 - Selezione i nodi da caricare e assegno il carico selezionando **_ASSIGNE/JOINT LOADS/ FORCES**
- Ripeto la stessa operazione tre volte, cambiando il valore di F in base ai nodi selezionati



Passo all'analisi

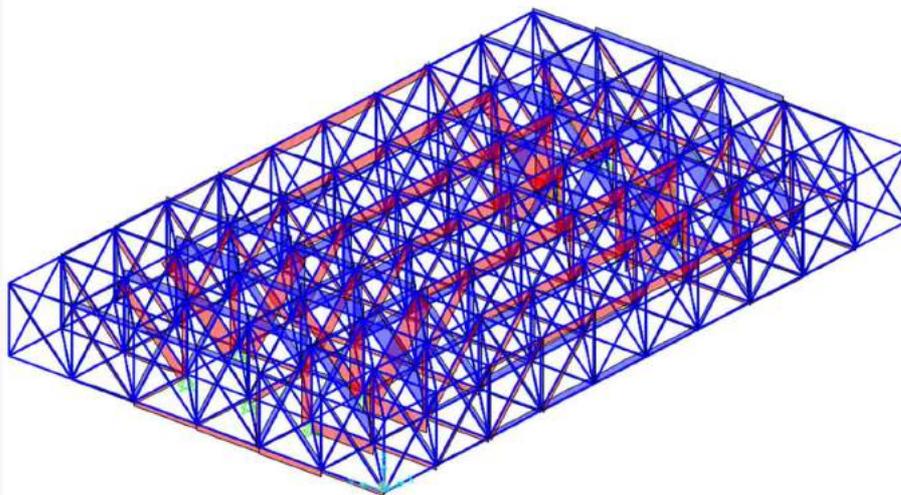
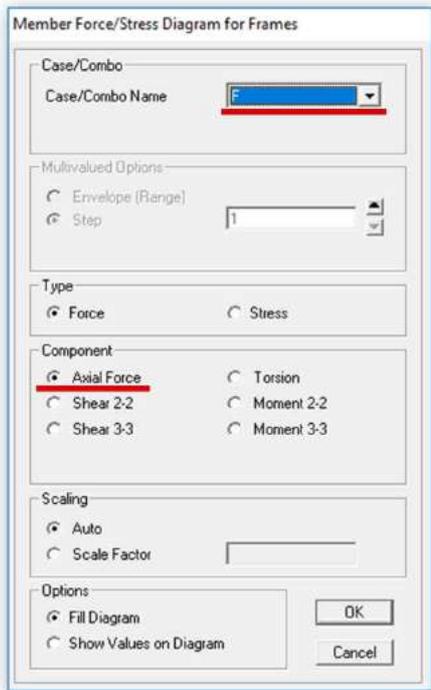
- Selezione **_PLAY** e faccio agire F eliminando i casi estranei tramite **_DO NOT RUN**
- Selezione **_RUN NOW** e ottengo la struttura deformata



FASE 3. ASSEGNAZIONE CARICHI E ANALISI

Richiedo al programma di analizzare gli sforzi assiali (gli unici presenti)

- Selezione **_DISPLAY/SHOW FORCES/STRESSES/FRAME/CABLES/AXIAL FORCE**



Per scrupolo posso fare verifiche sui diagrammi del Taglio e del Momento e verificare che sia nulli

Posso visualizzare i risultati dell'analisi

- Selezione **_DISPLAY/SHOW TABLE** e **_ANALYSIS RESULTS/SELECT LOAD PATTERNS** scegliendo la cartella **_ELEMENT OUTPUT**

- Si apre una tabella nella quale sono già visibili i risultati, per esportarla su EXCEL seleziono **_FILE/EXPORT CURRENT TABLE/TO EXCEL**

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29
TABLE: Element Forces - Frames	Frame	Station	OutputCase	CaseType	P	V2	V3	T	M2	M3	FrameElem	ElemStation																
Text	m	Text	Text	Text	KN	KN	KN	KN-m	KN-m	KN-m	Text	m																
4	1	0	F	LinStatic	-124,039	0	0	0	0	0	0-1-1	0																
5	1	0,5	F	LinStatic	-124,039	0	0	0	0	0	0-1-1	0,5																
6	1	1	F	LinStatic	-124,039	0	0	0	0	0	0-1-1	1																
7	1	1,5	F	LinStatic	-124,039	0	0	0	0	0	0-1-1	1,5																
8	1	2	F	LinStatic	-124,039	0	0	0	0	0	0-1-1	2																
9	1	2,5	F	LinStatic	-124,039	0	0	0	0	0	0-1-1	2,5																
10	1	3	F	LinStatic	-124,039	0	0	0	0	0	0-1-1	3																
11	2	0	F	LinStatic	15,657	0	0	0	0	0	0-2-1	0																
12	2	0,5	F	LinStatic	15,657	0	0	0	0	0	0-2-1	0,5																
13	2	1	F	LinStatic	15,657	0	0	0	0	0	0-2-1	1																
14	2	1,5	F	LinStatic	15,657	0	0	0	0	0	0-2-1	1,5																
15	2	2	F	LinStatic	15,657	0	0	0	0	0	0-2-1	2																
16	2	2,5	F	LinStatic	15,657	0	0	0	0	0	0-2-1	2,5																
17	2	3	F	LinStatic	15,657	0	0	0	0	0	0-2-1	3																
18	3	0	F	LinStatic	-180,616	0	0	0	0	0	0-3-1	0																
19	3	0,5	F	LinStatic	-180,616	0	0	0	0	0	0-3-1	0,5																
20	3	1	F	LinStatic	-180,616	0	0	0	0	0	0-3-1	1																
21	3	1,5	F	LinStatic	-180,616	0	0	0	0	0	0-3-1	1,5																
22	3	2	F	LinStatic	-180,616	0	0	0	0	0	0-3-1	2																
23	3	2,5	F	LinStatic	-180,616	0	0	0	0	0	0-3-1	2,5																
24	3	3	F	LinStatic	-180,616	0	0	0	0	0	0-3-1	3																
25	4	0	F	LinStatic	-55,132	0	0	0	0	0	0-4-1	0																
26	4	0,5	F	LinStatic	-55,132	0	0	0	0	0	0-4-1	0,5																
27	4	1	F	LinStatic	-55,132	0	0	0	0	0	0-4-1	1																
28	4	1,5	F	LinStatic	-55,132	0	0	0	0	0	0-4-1	1,5																
29	4	2	F	LinStatic	-55,132	0	0	0	0	0	0-4-1	2																

HO A DISPOSIZIONE IL VALORE DELLO SFORZO NORMALE SU OGNI ASTA CHE COMPONE LA STRUTTURA

FASE 4. DIMENSIONAMENTO

La tabella così ottenuta non è ottimale all'utilizzo. Devo eliminare i valori non necessari al calcolo. Ho bisogno di: **NR DELLE ASTE, FRAME, STATION, P.**

FRAME= numero con cui SAP individua le aste

STATION= SAP divide le aste ogni 50 cm

P= sforzo normale N ad ogni frame.

Nel caso delle aste reticolari N è costante quindi ho bisogno di un solo valore di N per ogni asta

- Selezione la colonna Station cliccando **_CTRL+SHIFT+FRECCIA VERSO IL BASSO**, la ordino decrescentemente (**espandi selezione**) ed elimino le caselle in cui il valore di Station è diverso da 0
- Ordino decrescentemente anche la colonna contenente i valori di P.
- Decido di suddividere i valori di N delle aste tese (+) e compresse (-) in tre categorie

Station	OutputCase	CaseType	P
0	F	LinStatic	-1228,27
0	F	LinStatic	-567,384
0	F	LinStatic	-297,967
0	F	LinStatic	0
0	F	LinStatic	238,584
0	F	LinStatic	497,366
0	F	LinStatic	984,6

PROGETTAZIONE ASTA TESA

L'area (Amin) è l'unico parametro di cui ho bisogno

- **Amin = N/fd**

- fd = tensione di progetto dell'acciaio = f_{yk}/γ_m

- f_{yk} = coeff. caratteristico di snervamento, pari a 235 N/mm² per l'acciaio scelto

- γ_m = coeff. parziale di sicurezza pari a 1,05

- fd = 235 MPa/1,05 = 223,80 Mpa (KN/mm²)

Procedo con il calcolo tramite excel

- Inerisco i valori di Nmax delle categorie individuate e ottengo Amin

- **Amin = (Nmax/235 MPa)x10 = sezione minima in cm²**

- Trovati i valori dell'Amin vado sulle tabelle dei profilati e individuo il valore dell'Adesign tale che **Amin < Adesign**

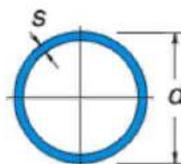
	A	B	C	D	E	F
1	Calcolo dell'area minima da sforzo di trazione (resistenza materiale)					
2	N	f _{yk}	γ _{m0}	fd	A _{min}	A _{design}
3	kN	N/mm ²		N/mm ²	cm ²	cm ²
4						
5	238,584	235,00	1,05	223,81	10,66	10,7
6	497,366	235,00	1,05	223,81	22,22	23,2
7	984,6	235,00	1,05	223,81	43,99	47,0
8						



Profilati metallici

0102

Tubi in Acciaio a sezione circolare



d x s mm	Peso kg/m	Sezione di passaggio cm ²	Sezione metallica cm ²	Momento di inerzia J = cm ⁴	Modulo di resistenza W = cm ³	Raggio di inerzia i = cm
88,9 x 4,0	8,430	51,40	10,70	96,30	21,70	3,000
168,3 x 4,5	18,10	199,0	23,20	777,0	92,40	5,790
273,0 x 5,6	36,80	538,0	47,00	4.206	308,0	9,460

FASE 4. DIMENSIONAMENTO

PROGETTO ASTA COMPRESSA

In questo caso ho bisogno di due parametri, che sono l'area (A_{min}) e il momento d'inerzia (I_{min}). Tengo quindi in considerazione i casi di instabilità e snellezza

- $A_{min} = N/f_d$
- $f_d =$ tensione di progetto dell'acciaio = f_{yk}/γ_m
- $f_{yk} =$ coeff. caratteristico di snervamento, pari a 235 N/mm² per l'acciaio scelto
- $\gamma_m =$ coeff. parziale di sicurezza pari a 1,05
- $f_d = 235 \text{ Mpa}/1,05 = 223,80 \text{ Mpa (KN/mm}^2\text{)}$

- $I_{min} = A_{min} \times (\rho_{min})^2$
- $\rho_{min} = \beta \times l / \lambda$
- $\beta =$ coeff. di vincolo = 1 (definita dalle condizioni di vincolo)
- $\lambda =$ coeff. di snellezza massimo (max 200)
- $E =$ modulo di elasticità dell'acciaio, pari a 2100 MPa
- $l =$ lunghezza dell'asta = 3m (ricordando che in realtà le aste diagonali sono più lunghe)

Procedo con il calcolo tramite Excel

- Inserisco i valori di N_{max} delle categorie individuate e ottengo A_{min} , ρ_{min} e I_{min}
- Trovati questi valori vado sulle tabelle dei profilati e individuo

$$A_{min} < A_{design}$$

$$\rho_{min} < \rho_{design}$$

$$I_{min} < I_{design}$$

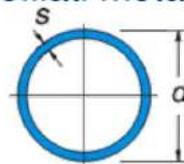
	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O
1	Calcolo dell'area minima da sforzo di compressione (resistenza materiale)					Calcolo dell'inerzia minima per sforzo di compressione (instabilità euleriana)						Ingegnerrizzazione sezione e verifica snellezza per una membratura principale (< 200)			
2	N	f_{yk}	γ_m	f_d	A_{min}	E	beta	l	Lam*	ρ_{min}	I_{min}	A_{design}	I_{design}	ρ_{min}	lam
3	kN	N/mm ²		N/mm ²	cm ²	Mpa		m		cm	cm ⁴	cm ²	cm ⁴	cm	
4															
5	-1228,27	235,00	1,05	223,81	54,88	#####	1,00	3,00	96,23	3,12	533	58,9	7453	11,20	26,79
6	-567,384	235,00	1,05	223,81	25,35	#####	1,00	3,00	96,23	3,12	246	25,7	856	5,78	51,90
7	-297,967	235,00	1,05	223,81	13,31	#####	1,00	3,00	96,23	3,12	129	13,9	211	3,90	76,92
8															



Profilati metallici

0102

Tubi in Acciaio a sezione circolare



d x s mm	Peso kg/m	Sezione di passaggio cm ²	Sezione metallica cm ²	Momento di inerzia J = cm ⁴	Modulo di resistenza W = cm ³	Raggio di inerzia i = cm
114,3 x 4,0	11,00	88,70	13,90	211,0	36,90	3,900
168,3 x 5,0	20,10	197,0	25,70	856,0	102,0	5,780
323,9 x 5,9	46,20	765,0	58,90	7.453	460,0	11,20

Alle aste scariche assegno il profilo minore tra quelli scelti.

DEFINITI TUTTI I PROFILI DELLE ASTE LI INSERISCO SU SAP2000 E RICONDUCO L'ANALISI.