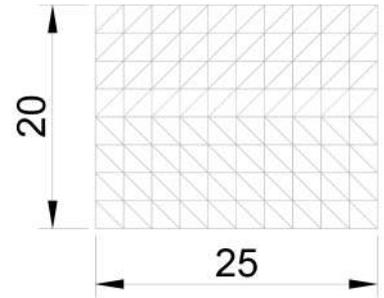


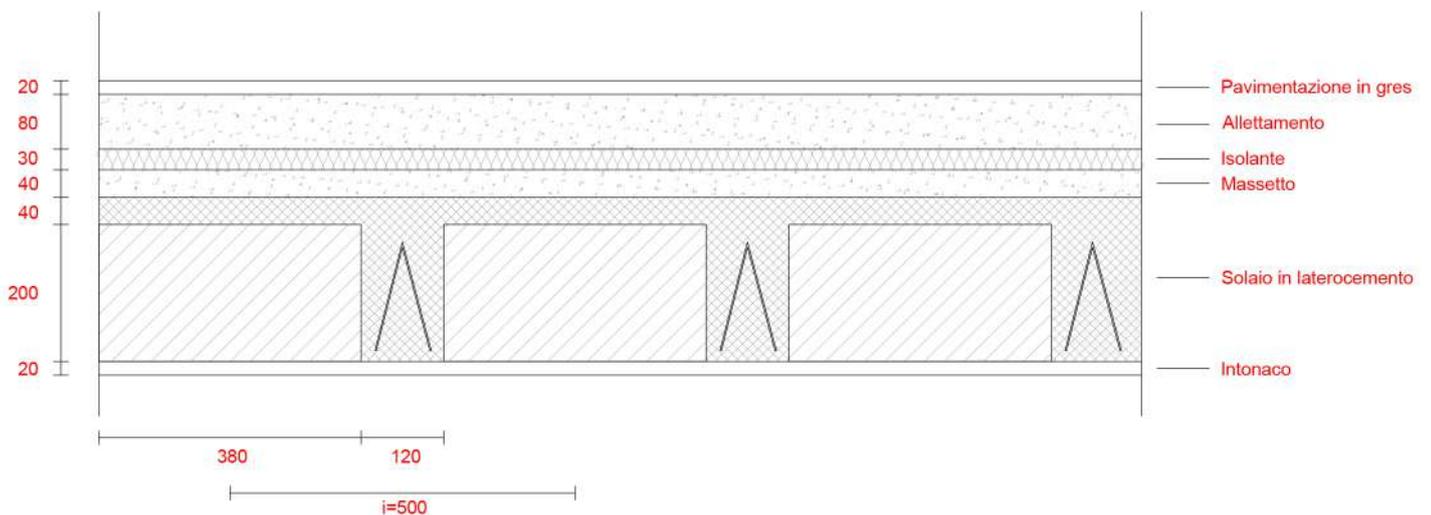
## 0 - Creazione del progetto

Le travi reticolari sono strutture formate da aste reticolari collegate a cerniera ai loro estremi in punti chiamati nodi. Le forze esterne sono posizionate sui nodi secondo il funzionamento delle aste reticolari.

Il progetto intende analizzare un edificio appeso i cui piani, in totale 5, vengono sostenuti da strutture a travi reticolari. Esse poggiano su 4 vincoli a cerniera posti internamente e sostengono un pacchetto composto da: solaio in laterocemento, pavimentazione con allettamento e massetto. I moduli hanno dimensione 2.5x2.5x2.5 mc per un totale di area di 25x20 mq.



## 1 - Analisi dei carichi - Solaio in laterocemento



### Analisi carico strutturale del solaio "Gk1"

P travetti in c.a. (approssimati a rettangoli): 1.2 KN/mq  
 P pignatte: 0.912 KN/mq  
 P strato in c.a.: 1 KN/mq  
**TOTALE: 3.112 KN/mq**

Calcolo effettuato nell'unità di superficie:  
 $P = \text{Area elemento} \times P. \text{specifico} / \text{interasse}$

$P = \text{Spessore} \times P. \text{specifico}$

### Analisi carico non strutturale "Gk2"

P Massetto + allettamento: 2.4 KN/mq  
 P isolante: 0.03 KN/mq  
 P pavimentazione in gres: 0.4 KN/mq  
 P intonaco: 0.4 KN/mq  
 Incidenza tramezzi + incidenza impianti secondo NTC2018: 1.5 KN/mq  
**TOTALE: 4.83 KN/mq**

### Analisi carico variabile "Qk1"

P Civile abitazione secondo NTC2018: 2 KN/mq

### Combinazioni secondo NTC2018:

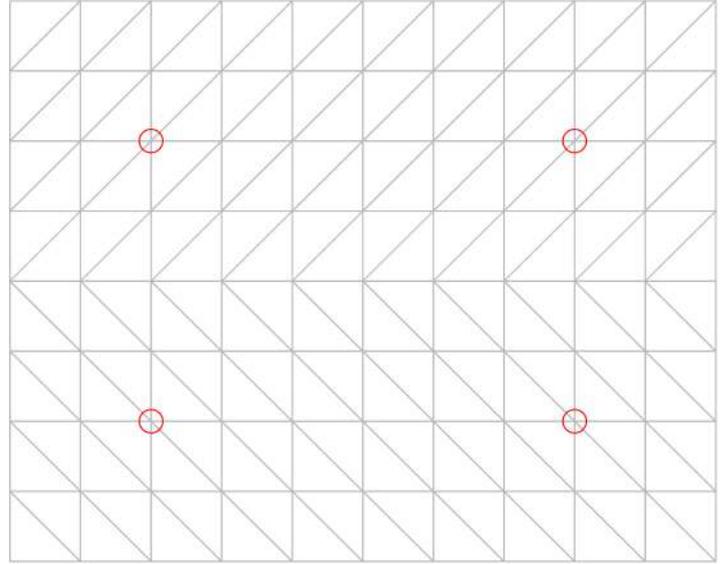
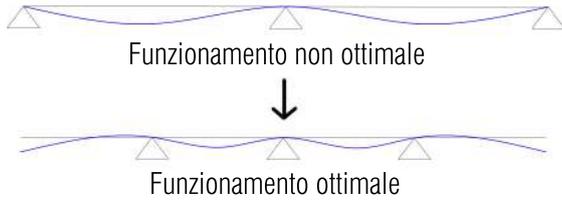
Carico SLU:  $\delta_{G1} Gk1 + \delta_{G2} Gk2 + \delta_{Qk1} Qk1 = 14.3 \text{ KN/mq}$

Carico SLE:  $Gk1 + Gk2 + Qk1 = 10 \text{ KN/mq}$

		Coefficiente $\gamma_f$	EQU	A1	A2
Carichi permanenti $G_i$	Favorevoli	$\gamma_{G1}$	0,9	1,0	1,0
	Sfavorevoli		1,1	1,3	1,0
Carichi permanenti non strutturali $G_{2(1)}$	Favorevoli	$\gamma_{G2}$	0,8	0,8	0,8
	Sfavorevoli		1,5	1,5	1,3
Azioni variabili Q	Favorevoli	$\gamma_Q$	0,0	0,0	0,0
	Sfavorevoli		1,5	1,5	1,3

## 2 - Progettazione dei vincoli a cerniera

I vincoli vengono posizionati internamente in modo da ridurre l'eccessivo abbassamento della deformata. Nelle aste reticolari la flessione si annulla in prossimità dei nodi. A livello funzionale la disposizione dei vincoli in un corpo segue delle logiche progettuali come in questo esempio:



## 3 - Analisi delle forze agenti sui nodi

Per poter trovare le forze agenti "F" su ogni nodo occorre ragionare sulle aree di influenza di ogni nodo. Studio quindi 3 tipologie di vincolo differenti:

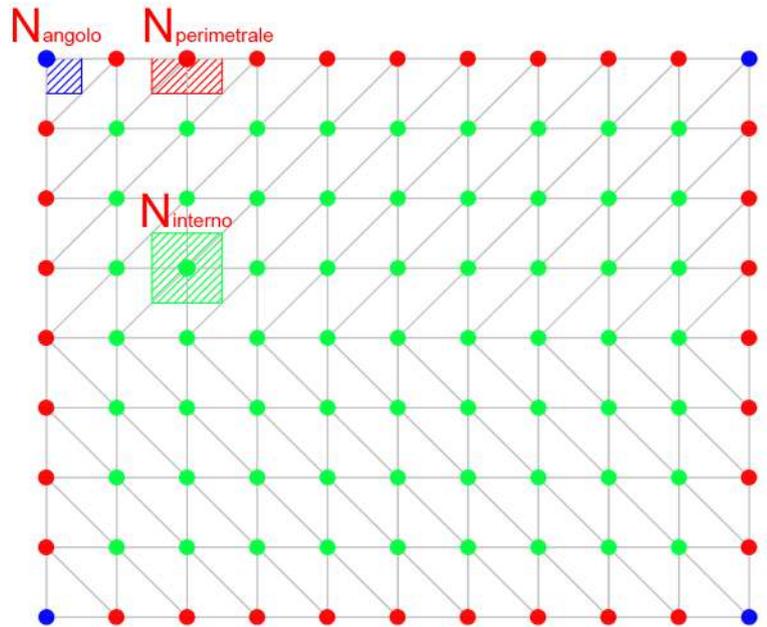
$$N_{\text{angolo}} = 4$$

$$N_{\text{perimetrale}} = 32$$

$$N_{\text{interno}} = 63$$

Su cui verranno ripartite le seguenti forze:

su $N_{\text{angolo}}$	avrò $F/4$
su $N_{\text{perimetrale}}$	avrò $F/2$
su $N_{\text{interno}}$	avrò $F$



Trovo quindi la forza totale sfruttando l'area della struttura

$$\text{Area: } 500 \text{ mq} \quad \text{Carico SLU: } 14.3 \text{ KN/mq} \quad \rightarrow \quad F_{\text{tot}} = \text{Area} \times \text{Carico SLU} \times n \text{ piani} = 35750 \text{ KN} \quad (5 \text{ piani})$$

Posso ora sfruttare l'equilibrio per trovare F

$$(4 \cdot F/4) + (32 \cdot F/2) + (63 \cdot F) = F_{\text{tot}} \quad \rightarrow \quad F = F_{\text{tot}} / 79 \quad \rightarrow \quad F = 452.53 \text{ KN}$$

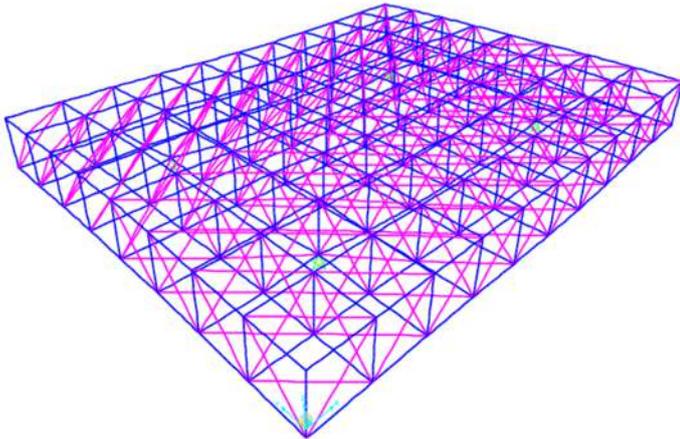
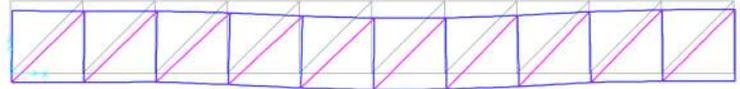
Infine riutilizzo la ripartizione delle forze per trovare le forze agenti su ogni nodo in funzione della loro area di influenza

su $N_{\text{angolo}}$	avrò $F/4 = 113.13 \text{ KN}$
su $N_{\text{perimetrale}}$	avrò $F/2 = 226.27 \text{ KN}$
su $N_{\text{interno}}$	avrò $F = 452.53 \text{ KN}$

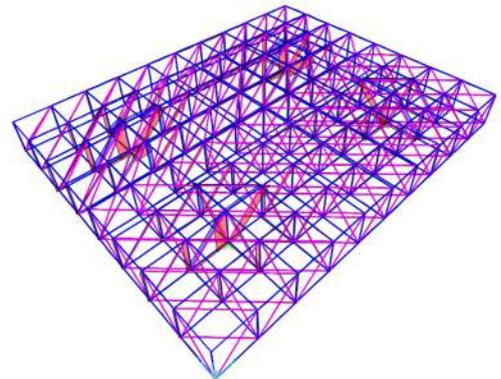
Avendo ora tutti questi dati, procediamo alla modellazione della travatura reticolare su SAP2000 e il conseguente posizionamento di vincoli e forze.

#### 4 - Analisi del modello su SAP2000

Una volta modellata la trave su SAP2000, posizionati i vincoli (nel cui intorno ho  $M=0$ ) e le forze, posso procedere all'analisi del comportamento del modello per poterne ricavare gli sforzi normali. Per creare il modello utilizzo degli elementi tubolari in acciaio di prova suddivisi per colore e il materiale è l'S275. L'analisi viene eseguita con un carico denominato "F" che avrà un "self weight" pari a 0 per non considerare il peso proprio.



Deformata della travatura reticolare in acciaio



Sforzi normali della travatura reticolare in acciaio (assenza di flessione e taglio)

#### 5 - Utilizzo delle tabelle e primo dimensionamento delle aste

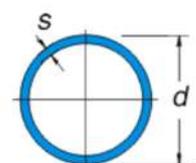
Procediamo ora all'estrazione dei dati per esportarle su Excel. Ricaviamo la tabella degli sforzi normali per ogni asta tramite la tabella "Element Forces - Frames". Ci accertiamo ancora una volta che non ci siano altre sollecitazioni al di fuori dello sforzo normale e procediamo con l'esportazione. Una volta aperta la tabella andiamo a ripulirla organizzando in gruppi le aste in modo da riconoscere quelle soggette a compressione e quelle a trazione e ricaviamo gli sforzi normali più sollecitanti.

Nel dimensionamento andremo a scegliere delle sezioni circolari prese dal sagomario di riferimento del catalogo "Promozione acciaio" e si sceglieranno 6 sezioni rappresentative per i gruppi di aste differenziate su Excel. Per i puntoni scegliamo profili circolari cavi mentre per i tiranti scegliamo profili circolari pieni in modo da sfruttare appieno il concetto di momento di inerzia in quanto relativa alla geometria della sezione.

### COMPRESSIONE

Calcolo dell'area minima da sforzo di compressione (resistenza materiale)					Calcolo dell'inerzia minima per sforzo di compressione (instabilità euleriana)					
N	fyk	γ <sub>m0</sub>	f <sub>yd</sub>	A <sub>min</sub>	E	beta	l	Lam*	rho_min	I <sub>min</sub>
kN	N/mm <sup>2</sup>		N/mm <sup>2</sup>	cm <sup>2</sup>	Mpa		m		cm	cm <sup>4</sup>
-4257,91	275,00	1,05	261,90	162,57	#####	1,00	2,50	88,96	2,81	1284
-1630,65	275,00	1,05	261,90	62,26	#####	1,00	2,50	88,96	2,81	492
-983,24	275,00	1,05	261,90	37,54	#####	1,00	2,50	88,96	2,81	296

Aste scelte: (D x S) [mm]		
457 x 12		Sezione 1
323,9 x 8		Sezione 2
139,7 x 10		Sezione 3



## TRAZIONE

N	fyk	$\gamma_{m0}$	fyd	A_min
kN	N/mm <sup>2</sup>		N/mm <sup>2</sup>	cm <sup>2</sup>
487,35	275,00	1,05	261,90	18,61
990,80	275,00	1,05	261,90	37,83
2927,33	275,00	1,05	261,90	111,77

Aste scelte:  
 (D)  
 [mm]

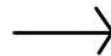
D=50 mm      Sezione 4  
 D=72 mm      Sezione 5  
 D=120 mm     Sezione 6



## 6 - Inserimento delle aste dimensionate in SAP2000

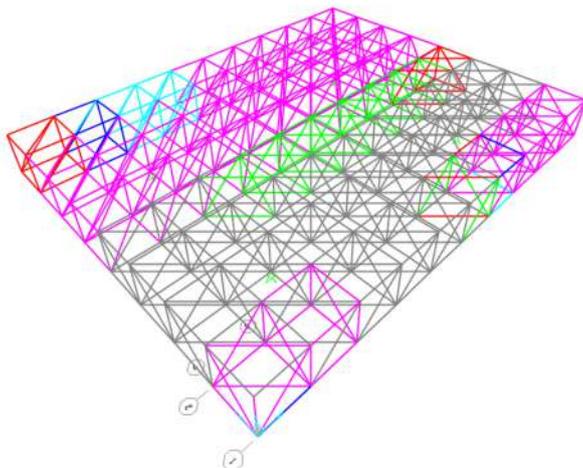
Per inserire le aste dimensionate su SAP, procediamo prima all'inserimento dei nomi delle sezioni all'interno della tabella "Element Forces - Frames" e poi all'incrocio di dati tra due tabelle: "Element Forces - Frames" viene ordinata e inserita all'interno di "Frame Section Assignments".

Frame	Station	OutputCase	CaseType	P	
10	0 F		LinStatic	-30,253	Sezione 1
100	0 F		LinStatic	18,625	Sezione 1
1000	0 F		LinStatic	55,178	Sezione 1
1001	0 F		LinStatic	-109,58	Sezione 1
1002	0 F		LinStatic	78,404	Sezione 1
1003	0 F		LinStatic	-134,928	Sezione 1
1004	0 F		LinStatic	-255,55	Sezione 1
1005	0 F		LinStatic	-349,756	Sezione 1
1006	0 F		LinStatic	-1119,866	Sezione 1
1007	0 F		LinStatic	-320,021	Sezione 1
1008	0 F		LinStatic	568,442	Sezione 1
1009	0 F		LinStatic	132,584	Sezione 1
101	0 F		LinStatic	-734,084	Sezione 1
1010	0 F		LinStatic	375,313	Sezione 1
1011	0 F		LinStatic	-207,04	Sezione 1
1012	0 F		LinStatic	154,97	Sezione 2
1013	0 F		LinStatic	630,976	Sezione 2
1014	0 F		LinStatic	80,377	Sezione 2
1015	0 F		LinStatic	281,735	Sezione 2
1016	0 F		LinStatic	-199,399	Sezione 2
1017	0 F		LinStatic	-405,04	Sezione 2
1018	0 F		LinStatic	-128,963	Sezione 2
1019	0 F		LinStatic	-252,632	Sezione 2
102	0 F		LinStatic	458,494	Sezione 2
1020	0 F		LinStatic	-144,342	Sezione 2



Frame	SectionType	AutoSelect	AnalSect	DesignSect	MatProp
10	Pipe	N.A.	Sezione 1	Sezione 1	Default
100	Pipe	N.A.	Sezione 1	Sezione 1	Default
1000	Pipe	N.A.	Sezione 1	Sezione 1	Default
1001	Pipe	N.A.	Sezione 1	Sezione 1	Default
1002	Pipe	N.A.	Sezione 1	Sezione 1	Default
1003	Pipe	N.A.	Sezione 1	Sezione 1	Default
1004	Pipe	N.A.	Sezione 1	Sezione 1	Default
1005	Pipe	N.A.	Sezione 1	Sezione 1	Default
1006	Pipe	N.A.	Sezione 1	Sezione 1	Default
1007	Pipe	N.A.	Sezione 1	Sezione 1	Default
1008	Pipe	N.A.	Sezione 1	Sezione 1	Default
1009	Pipe	N.A.	Sezione 1	Sezione 1	Default
101	Pipe	N.A.	Sezione 1	Sezione 1	Default
1010	Pipe	N.A.	Sezione 1	Sezione 1	Default
1011	Pipe	N.A.	Sezione 1	Sezione 1	Default
1012	Pipe	N.A.	Sezione 2	Sezione 2	Default
1013	Pipe	N.A.	Sezione 2	Sezione 2	Default
1014	Pipe	N.A.	Sezione 2	Sezione 2	Default
1015	Pipe	N.A.	Sezione 2	Sezione 2	Default
1016	Pipe	N.A.	Sezione 2	Sezione 2	Default
1017	Pipe	N.A.	Sezione 2	Sezione 2	Default
1018	Pipe	N.A.	Sezione 2	Sezione 2	Default
1019	Pipe	N.A.	Sezione 2	Sezione 2	Default
102	Pipe	N.A.	Sezione 2	Sezione 2	Default

A questo punto, su SAP importiamo la tabella "Frame Section Assignments" e in automatico le aste verranno disposte con il nome della sezione che gli abbiamo dato (Sezione 1,2,3,4,5,6). NOTA: prima di importare occorre creare su SAP le nuove sezioni nominate correttamente con gli spessori scelti in fase di dimensionamento.



Si controlla inoltre che tutte le sezioni siano state correttamente assegnate sul programma consultando nuovamente la tabella "Frame Section Assignments"

## 7 - Calcolo del peso proprio

Lanciamo ora l'analisi con il "DEAD" e non più con "F". A questo punto su ogni vincolo comparirà la relativa reazione vincolare, consultabile sulla tabella "Joints reactions"

Joint Text	OutputCase	CaseType	F1 KN	F2 KN	F3 KN	M1 KN-m	M2 KN-m	M3 KN-m
145	DEAD	LinStatic	13,312	-10,773	94,01	0	0	0
158	DEAD	LinStatic	6,473	19,465	144,62	0	0	0
256	DEAD	LinStatic	0,339	23,963	285,332	0	0	0
268	DEAD	LinStatic	-20,124	-32,655	200,434	0	0	0

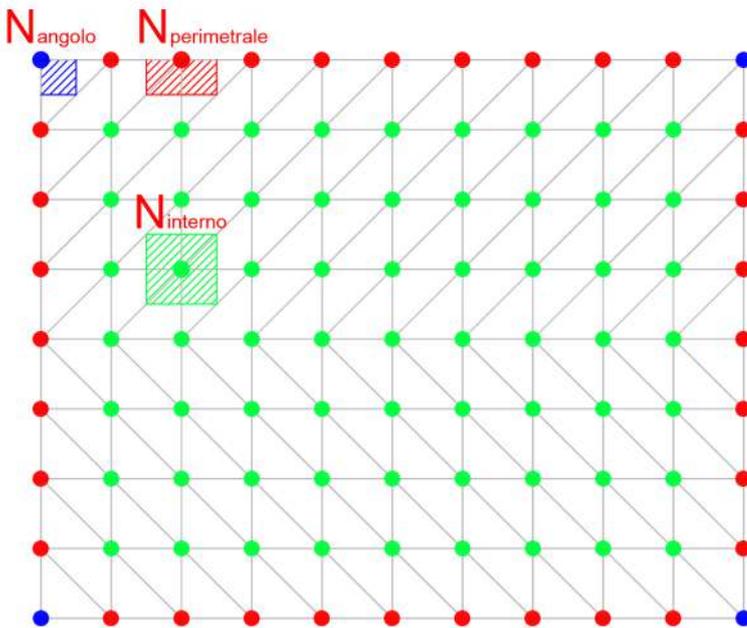
La somma di tutte le "F3" darà il peso proprio totale della struttura.

In questo caso abbiamo un incremento di 724,396 KN

Sommiamo ora il peso proprio alla  $F_{tot}$  utilizzata all'inizio nel calcolo di ripartizione delle forze sui nodi e procediamo quanto segue:

$$F_{tot \text{ p.p.}} = 36474,396 \text{ KN}$$

$$(4 \cdot F/4) + (32 \cdot F/2) + (63 \cdot F) = F_{tot} \quad \rightarrow \quad F = F_{tot} / 79 \quad \rightarrow \quad F = 461,70 \text{ KN}$$



su  $N_{angolo}$       avrò  $F/4 = 115,43 \text{ KN}$   
 su  $N_{perimetrale}$       avrò  $F/2 = 230,85 \text{ KN}$   
 su  $N_{interno}$       avrò  $F = 461,70 \text{ KN}$

Una volta ottenuti i nuovi risultati, attribuiamo ai nodi le nuove forze ottenute come è stato in precedenza.

## 8 - Prima iterazione

Una volta applicate le nuove forze sui nodi, lanciamo l'analisi con il nuovo "F", ora comprensiva del peso proprio (DEAD). Dimensioniamo nuovamente le aste con i nuovi carichi e scopriamo che possiamo riutilizzare le stesse sezioni per gli stessi gruppi che abbiamo considerato in fase di primo dimensionamento in quanto il carico di peso proprio non è eccessivamente impattante. A questo punto si può iniziare a ragionare su quanto la struttura si sia abbassata in ogni punto per compiere delle verifiche. Sulla normativa l'abbassamento massimo consentito è  $V < L/250$  dove L rappresenta la distanza tra il nodo in cui è presente l'abbassamento e il vincolo più vicino.

Notiamo però che l'abbassamento massimo non viene verificato. L'abbassamento massimo lo si può trovare analizzando la tabella "Joint Reactions" e organizzandola dal più grande al più piccolo nella colonna "U3"

Joint Text	OutputCase	CaseType Text	U1 m	U2 m	U3 m	R1 Radians	R2 Radians	R3 Radians
6	F	LinStatic	0,000872	-0,000357	-0,008451	0	0	0
209	F	LinStatic	0,000872	0,000357	-0,008451	0	0	0
5	F	LinStatic	0,001248	0,000774	-0,008119	0	0	0
208	F	LinStatic	0,001248	-0,000774	-0,008119	0	0	0
9	F	LinStatic	0,000872	-0,000364	-0,007417	0	0	0
212	F	LinStatic	0,000872	0,000364	-0,007417	0	0	0
17	F	LinStatic	0,001125	0,000119	-0,006887	0	0	0
216	F	LinStatic	0,001125	-0,000119	-0,006887	0	0	0
33	F	LinStatic	0,001581	0,000221	-0,006735	0	0	0
232	F	LinStatic	0,001581	-0,000221	-0,006735	0	0	0
41	F	LinStatic	0,001659	0,000252	-0,006711	0	0	0
240	F	LinStatic	0,001659	-0,000252	-0,006711	0	0	0
25	F	LinStatic	0,001435	0,000218	-0,006645	0	0	0
224	F	LinStatic	0,001435	-0,000218	-0,006645	0	0	0
7	F	LinStatic	0,000668	-0,000357	-0,00661	0	0	0
210	F	LinStatic	0,000668	0,000357	-0,00661	0	0	0

Il punto con abbassamento maggiore è il 6 con una distanza dal vincolo pari a 9.01 m

Quindi:

$$\text{Abbassamento} = -0.153 \text{ m}$$

$$\text{Consentito} = L/250 = 0.036 \text{ m}$$

**NON VERIFICATO**

Anche negli altri nodi la struttura non viene verificata con un rapporto di circa 50% rispetto al totale.

## 9 - Commento finale

Siamo arrivati alla conclusione che per risolvere questo problema si può ragionare in 2 modi:

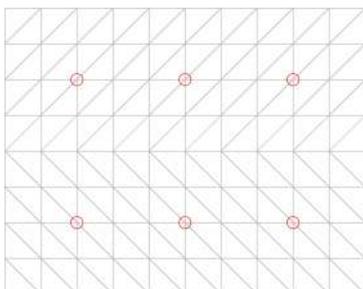
### MODO 1 : Nuove iterazioni

Eseguendo successive iterazioni ripercorrendo tutti i passaggi precedenti (compresi di analisi DEAD) si può arrivare ad un dimensionamento più adatto di tutti gli elementi al fine di rendere verificata la struttura.

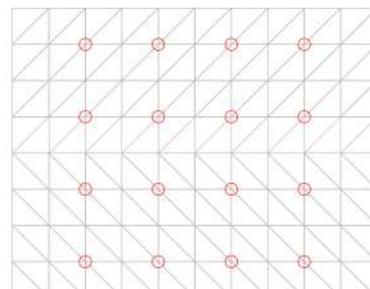
### MODO 2 : Aggiunta di vincoli alla struttura

In altre prove non citate in questo file abbiamo appurato che aggiungendo vincoli ulteriori a quelli già presenti ottenevamo dei carichi in analisi "F" molto più bassi, pertanto anche i relativi abbassamenti rientravano in percentuale maggiore nelle condizioni di verifica date dalla normativa.

Alcuni esempi di posizionamento dei vincoli che abbiamo provato a progettare precedentemente:



Es. 1 : riduzione dei carichi massimi a compressione e a trazione del 25 %



Es. 2 : riduzione dei carichi massimi a compressione e a trazione del 75 %

NOTA: questo è un caso eccessivo in quanto i vincoli sono troppo ravvicinati e a livello progettuale basterebbe usare travi normali piuttosto che reticolari per distanze di 5 metri.