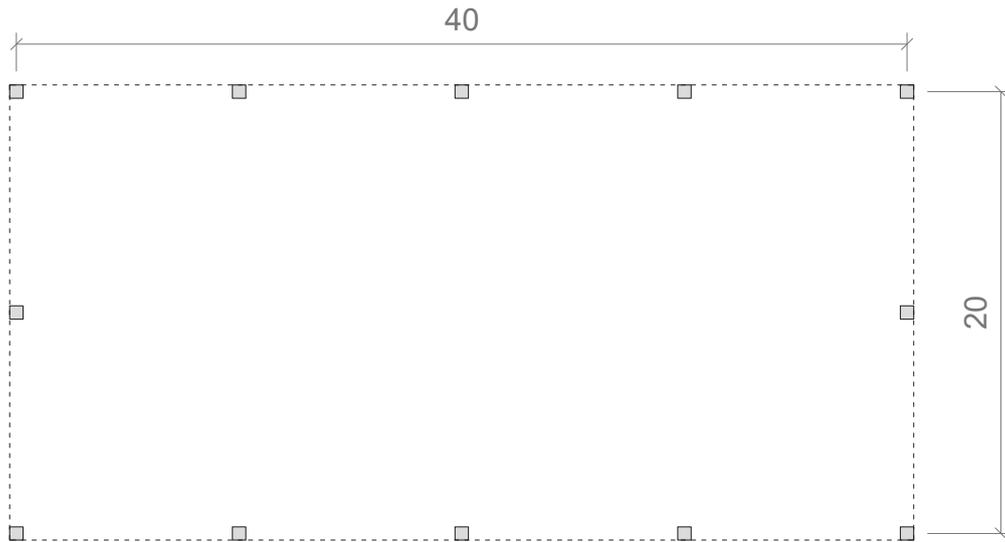


## ESERCITAZIONE 5

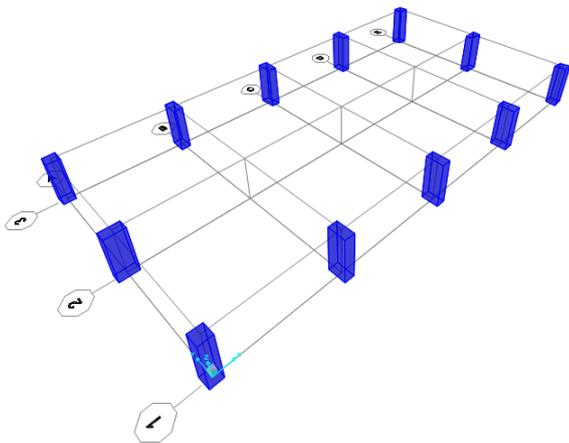
### **Predimensionamento e verifica di un graticcio di travi inflesse**

L'esercitazione si pone l'obiettivo di mostrare come sia possibile risolvere strutture discrete complesse attraverso un modello continuo equivalente più semplice.

Definiamo l'area sulla quale vogliamo andare a progettare il nostro graticcio: ipotizziamo di voler coprire uno spazio rettangolare di 40 x 20 m. La copertura sarà sorretta da pilastri con interasse 10 m l'uno dall'altro.



Al fine di snellire e velocizzare il processo iterativo che ci porterà al dimensionamento delle travi che compongono il graticcio, anziché definire da subito il reticolo di travi che lo compongono, possiamo disegnare una soletta continua di cemento armato equivalente e modellarla su SAP.



- NB:
1. Poiché stiamo lavorando con una struttura straordinaria scegliamo un cls ad alte prestazioni (C50/60).
  2. I pilastri sono stati definiti nel seguente modo:
    - angolari 1 x 1 m;
    - perimetrali 0.8 x 1.5 m
  3. È importante orientare i pilastri affinché l'inerzia maggiore segua lo sviluppo del graticcio: quindi dopo avere assegnato la sezione a tutti i pilastri perimetrali andrò a ruotare di 90° quelli lungo la direzione y.

Vincoliamo i pilastri a terra tramite incastri e modelliamo la shell, ovvero una piastra con delle caratteristiche simili a quelle del graticcio.

**S** Material Property Data

**General Data**

Material Name and Display Color: SHELL C50/60

Material Type: Concrete

Material Grade: C50/60

Material Notes:

**Weight and Mass**

Weight per Unit Volume: 24.9926

Mass per Unit Volume: 2.5485

Units: KN, m, C

**Isotropic Property Data**

Modulus Of Elasticity, E: 37278000

Poisson, U: 0

Coefficient Of Thermal Expansion, A: 1.000E-05

Shear Modulus, G: 15532500

**Other Properties For Concrete Materials**

Specified Concrete Compressive Strength, f<sub>c</sub>: 50000

Expected Concrete Compressive Strength: 50000

Lightweight Concrete

Shear Strength Reduction Factor:

Switch To Advanced Property Display

Definiamo e assegnamo innanzitutto il materiale della shell: sicuramente sarà lo stesso tipo di calcestruzzo usato per i pilastri (C50/60), andando però a cambiare il coefficiente di Poisson che valuta gli effetti delle deformazioni nelle direzioni ortogonali alla forza. Dobbiamo cioè imporre a SAP di trascurare quelle deformazioni dovute all'argamento del materiale che in un sistema discretizzato non ci sarebbero. Quindi imponiamo il coefficiente di Poisson  $U = 0$ .

Definiamo poi la sezione della piastra (1 x 1 m).

Inoltre avendo una piastra piena di cls non possiamo non tenere conto del peso proprio dell'elemento che possiamo calcolare e assegnare come carico esterno, oppure lasciar calcolare a SAP tramite la definizione dei carichi (Load Pattern):

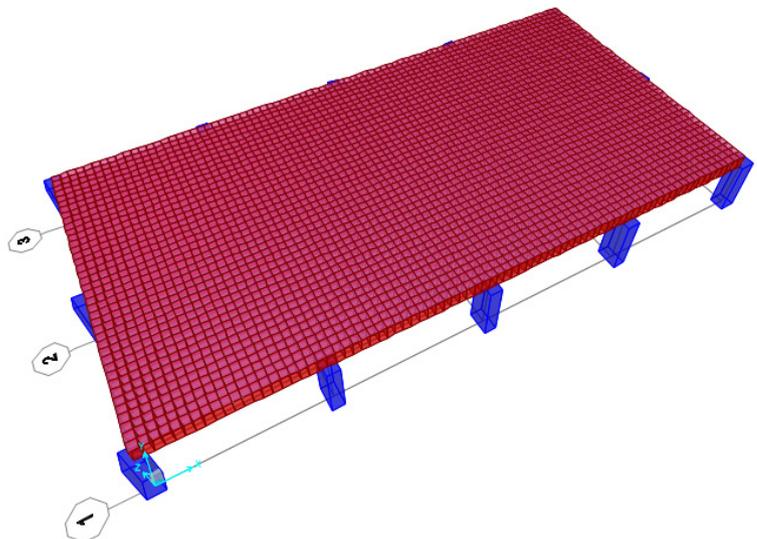
**S** Define Load Patterns

**Load Patterns**

Load Pattern Name	Type	Self Weight Multiplier	Auto Lateral Load Pattern
F	Dead	1	
DEAD	Dead	1	
F	Dead	1	

Click To:

A questo punto è possibile disegnare la piastra, andando poi a suddividere l'area in geometrie quadrangolari più piccole (discretizzare l'area quindi) in modo da permettere al software di restituirci risultati più accurati.



Proseguiamo con l'analisi dei carichi, seguendo questo ragionamento: immaginiamo che tutti i piani che poggiano sul graticcio (3 piani) abbiano lo stesso carico distribuito ( $10 \text{ KN/m}^2$ ).

Il peso totale sarà:  $A \times q_u \times \# \text{ piani} = [(40 \times 20) \text{ m}^2 \times 10 \text{ KN/m}^2] \times 3 = 24000 \text{ KN}$ .

Troviamo la forza concentrata  $F$  da applicare sui nodi, ricordandoci che quelli perimetrali prenderanno la metà di  $F$  (e quindi, rispetto al totale dei nodi perimetrali, posso considerarne metà) e quelli angolari  $1/4$  (quindi in totale considero solo 1 nodo angolare).

Avendo 3321 nodi totali, di cui 3082 centrali, 235 perimetrali e 4 angolari, otterremo:

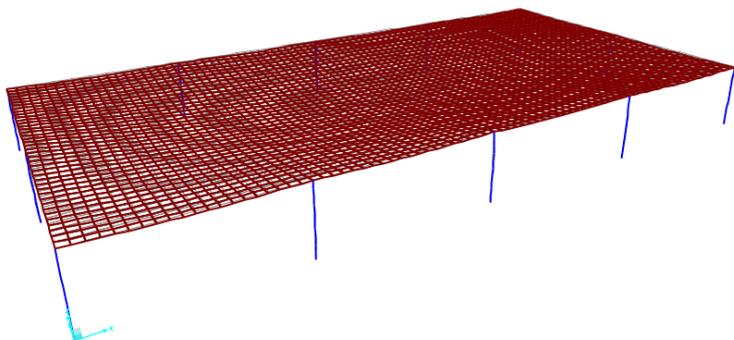
$$3082 + 117.5 + 1 = 3200.5$$

$$24000 \text{ KN} / 3200.5 = 7.5 \text{ KN} \quad \text{da applicare sui nodi centrali}$$

$$7.5 \text{ KN} / 2 = 3.8 \text{ KN} \quad \text{da applicare sui nodi perimetrali}$$

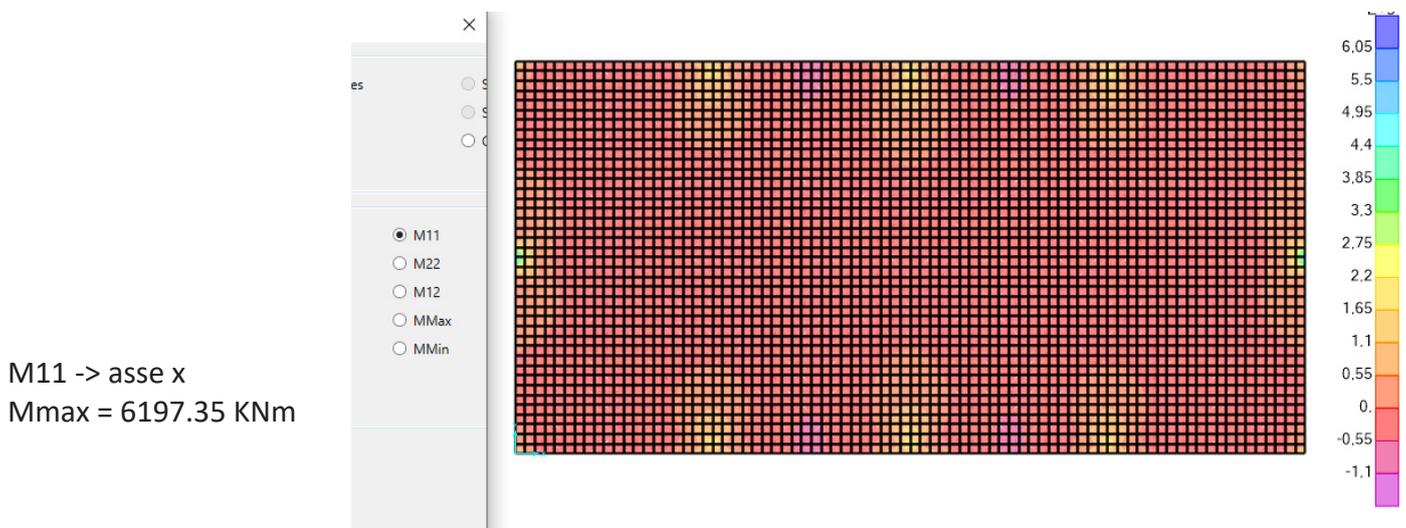
$$3.8 \text{ KN} / 2 = 1.9 \text{ KN} \quad \text{da applicare sui nodi angolari}$$

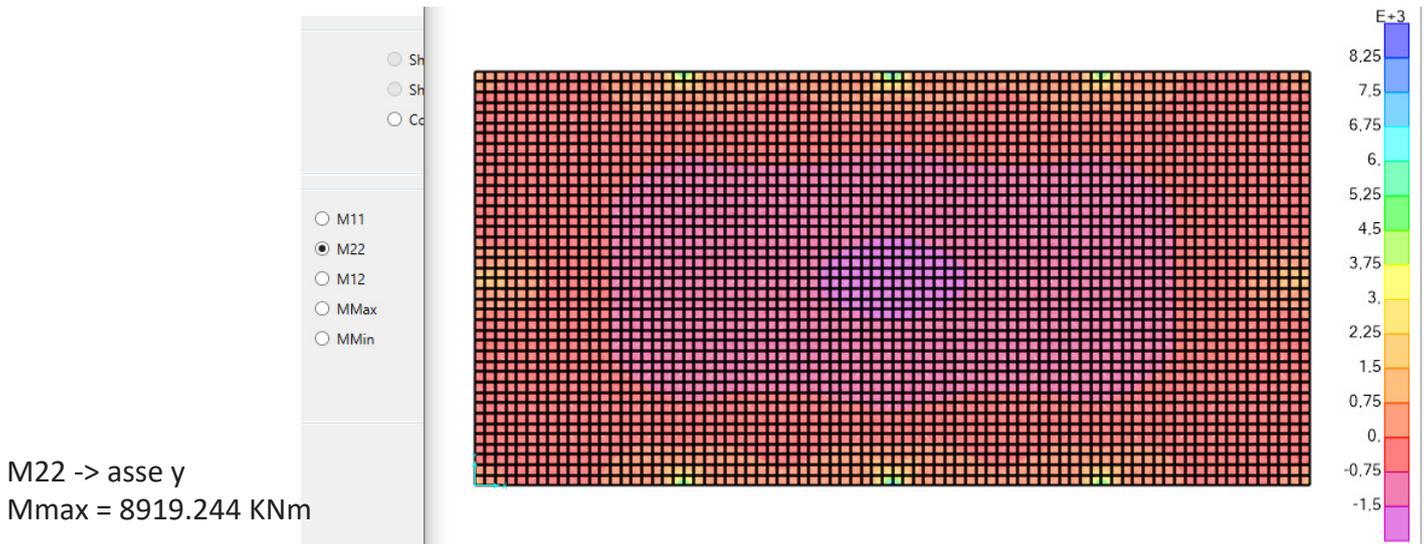
Applichiamo i carichi sul modello e lanciamo l'analisi (con il DEAD spento).



La deformata mostra un lieve abbassamento dell'ordine di 2 cm.

### ***Momenti flettenti nelle due direzioni:***





Utilizziamo il foglio di calcolo excel già visto nelle altre esercitazioni per il predimensionamento delle travi:

$M_{max}$ (KN*m)	$f_{yk}$ (N/mm <sup>2</sup> )	$f_{yd}$ (N/mm <sup>2</sup> )	$f_{ck}$ (N/mm <sup>2</sup> )	$f_{cd}$ (N/mm <sup>2</sup> )	$\beta$	$r$	$b$ (cm)	$h_u$ (cm)	$\delta$ (cm)	$H_{min}$ (cm)	$H$
8919,24	450,00	391,30	50,00	28,33	0,52	2,16	100,00	120,96	5,00	125,96	130,00
8919,24	450,00	391,30	50,00	28,33	0,52	2,16	100,00	120,96	5,00	125,96	verificata

Arrivati a questo punto, se stessimo davvero analizzando una piastra, dovremmo iniziare il processo di iterazione del predimensionamento: ovvero, dal momento massimo calcolato su una fascia di 1 x 1 m è risultata un'altezza necessaria di 1.30 m. Dovremmo quindi andare ad assegnare questa nuova dimensione al modello (di piastra) su SAP, rimandare l'analisi e procedere con le verifiche.

Questa operazione però risulta superflua nel caso di risultati di poco differenti (30/40/50 %).  
Conviene dunque passare direttamente al graticcio.

Per prima cosa definiamo il momento d'inerzia di una fascia della piastra larga 1 m e alta 1 m, che sarà pari a  $0.083 \text{ m}^4$  [ $I=(bxh^3)/12$ ].

Invertendo il risultato possiamo ricavare  $h = ((I \times 12)/b)^{1/3}$

Ripetiamo quest'operazione una volta fissato il passo delle travi con cui si intende tessere il graticcio (in questo caso 2.50 m):  $I = (2.50 \times 1^3) / 12 = 0.21 \text{ m}^4$ .

Decidiamo la dimensione della base della trave:  $b = 50 \text{ cm}$ .

$h = ((0.21 \times 12) / 0.5)^{1/3} = 1.71 \text{ m}$

A questo punto andiamo a sostituire su SAP la piastra con il graticcio di travi appena dimensionato; facendo attenzione che nell'intersezione tra le varie travi ci sia un nodo rigido (questo si ottiene andando a dividere le travi alle intersezioni).

Prima di rimandare l'analisi con le nuove sezioni dobbiamo assegnare il carico sui nodi, calcolandolo con lo stesso ragionamento logico visto in precedenza.

Ho 153 nodi totali, di cui: 105 centrali, 44 perimetrali, 4 angolari.

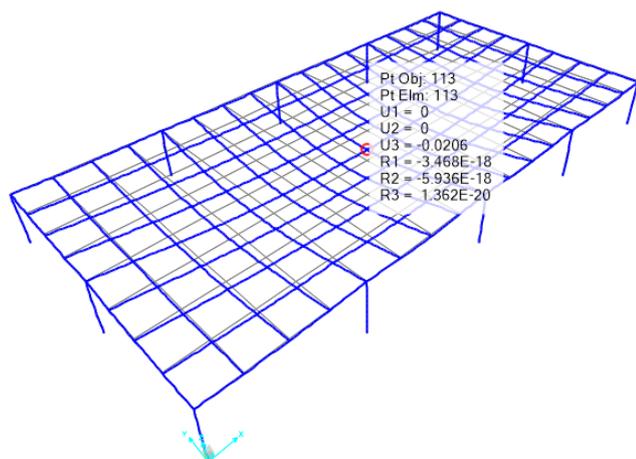
$$105 + 22 + 1 = 128$$

$$24000 / 128 = 187.5 \text{ KN} \quad \text{da applicare ai nodi centrali}$$

$$187.5 / 2 = 93.75 \text{ KN} \quad \text{da applicare ai nodi perimetrali}$$

$$93.75 / 2 = 46.875 \text{ KN} \quad \text{da applicare ai nodi angolari.}$$

NB: creo un nuovo carico Q in SAP (con moltiplicatore del peso proprio pari a 1).



Una volta rimandata l'analisi, oltre alle verifiche di resistenza, dobbiamo verificare che gli abbassamenti siano  $\leq 1/200 L$ . In questo caso, tenendo anche conto che stiamo verificando con i carichi allo SLU, la verifica risulta soddisfatta.

Inoltre è importanti fare una considerazione riguardo i pilastri e le travi di bordo.

Leggendo i valori in SAP, possiamo notare che i momenti che arrivano ai pilastri sono spesso molto elevati ( $M_{\text{max,pilastri}} = 8870 \text{ KNm}$ ). Uno dei ragionamenti che possiamo fare in proposito, prima di andare a modificare le dimensioni dei pilastri, è che la trave di bordo (quindi la trave che corre lungo tutti i pilastri) possa avere una rigidezza diversa, in modo tale da assorbire una parte del momento che arriva agli elementi verticali.

Torniamo dunque ad assegnare in SAP una nuova sezione per la trave di bordo (1.9 x 0.7 m) e rimandare l'analisi: quello che dovremmo notare è che il momento della trave perpendicolare a quella di bordo diminuisce, così come scende il momento sui pilastri.

A questo punto inizia la parte iterativa del predimensionamento del graticcio, in quanto possiamo continuare a modificare e verificare (a resistenza e deformabilità) le sezioni dei vari elementi fino a trovare la giusta combinazione.