

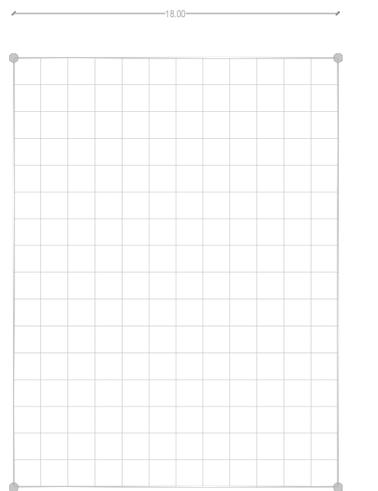
ESERCITAZIONE 3 _ DIMENSIONAMENTO DI UN GRATICCIO DI TRAVI INFLESSE _

Elisabetta Moroni

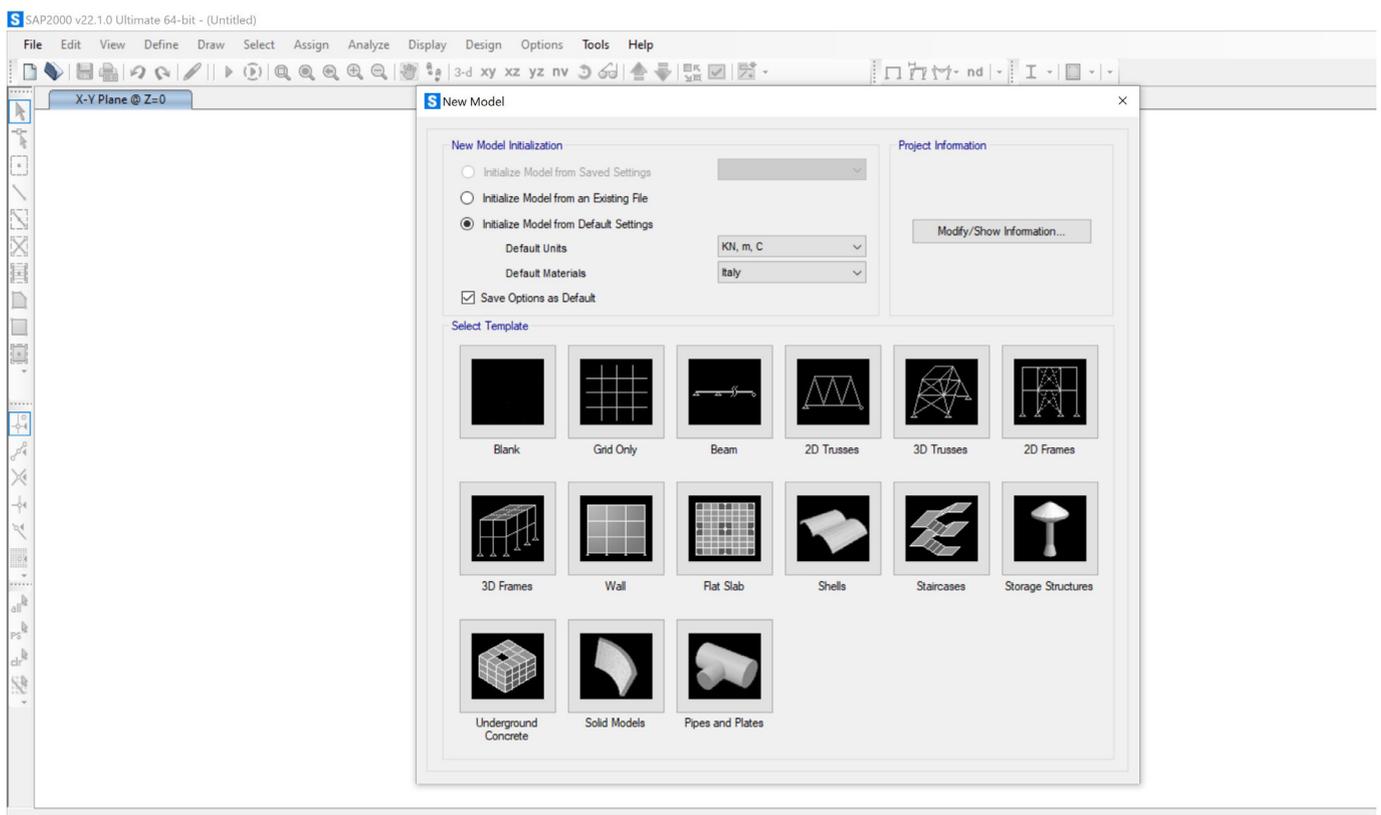
L'esercitazione assegnata prevede la progettazione di un graticcio di travi inflesse, da realizzarsi con l'ausilio del software SAP 2000.

Stabilite le dimensioni del graticcio – 18 m x 24 m – e della sua maglia – 1,5 m x 1,5 m – e del numero di piani che vi si poggiano (sei piani) si è operato un primo dimensionamento a partire da un continuo equivalente, disegnando una superficie, perché in grado di fornire, all'esito di una serie di riflessioni ed osservazioni, un ordine di grandezza delle sollecitazioni agenti, che ha consentito di orientarsi nel progetto della soluzione strutturale.

SCHEMA DI PIANTA DEL CONTINUO EQUIVALENTE (CON VINCOLI INCASTRO)

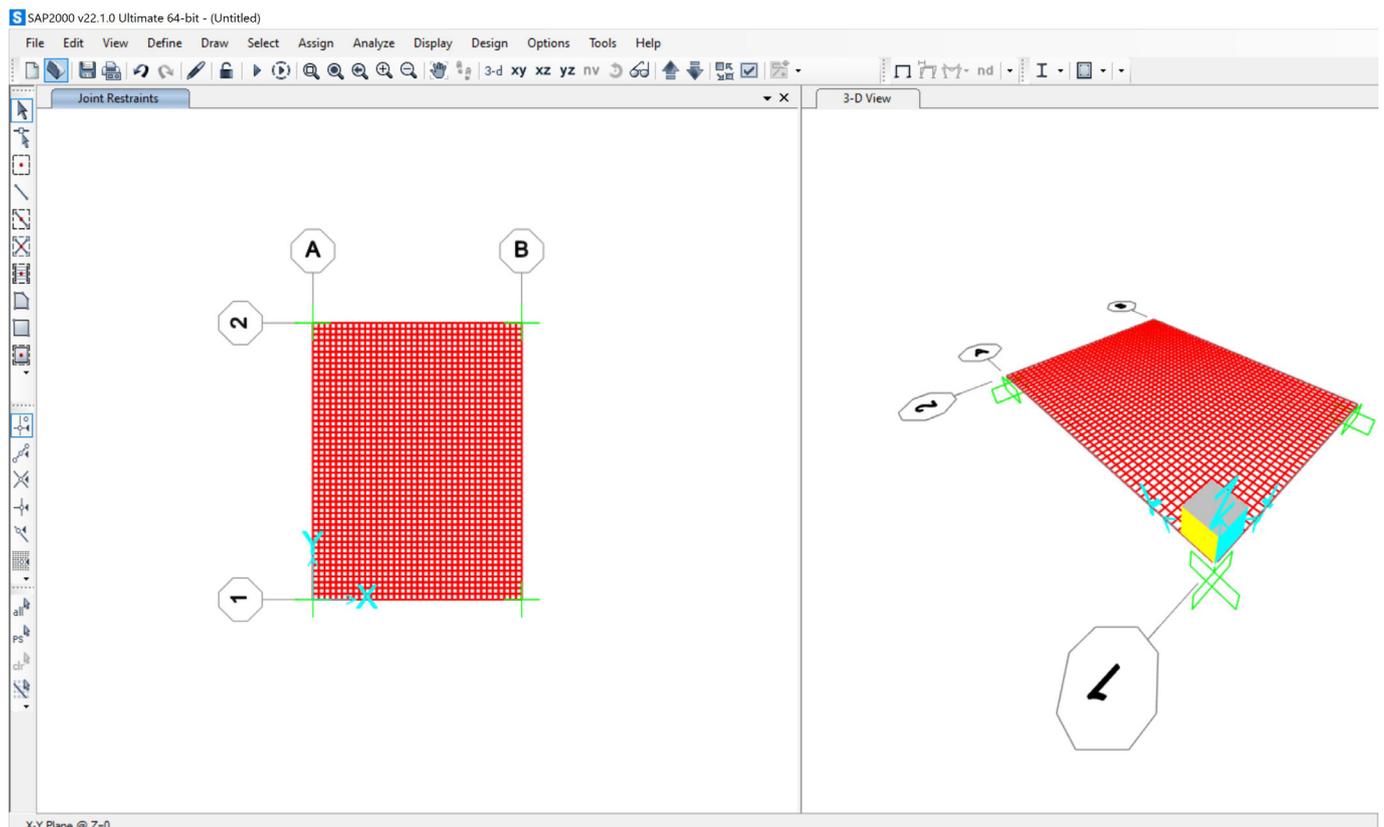
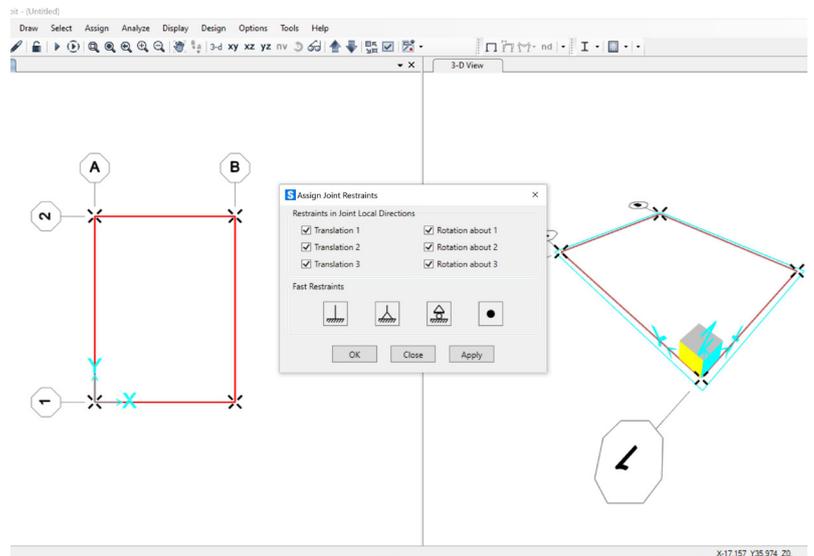
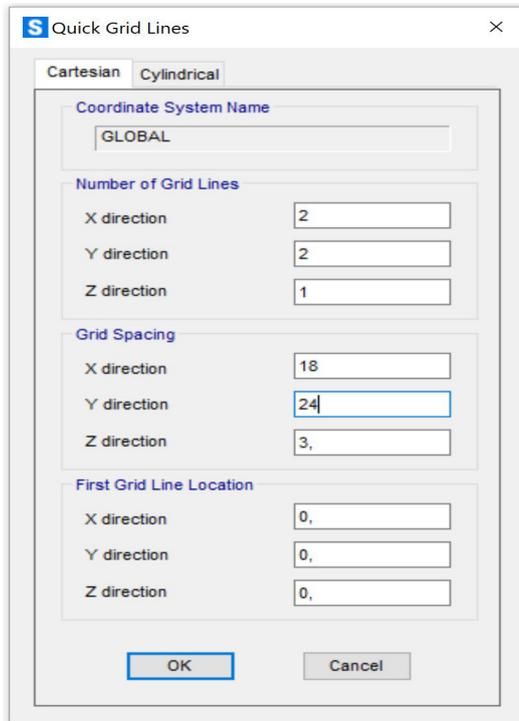


Aprò un nuovo file, imposto le unità di misura (**KN, m, C**) e i **materiali** di default (Italy) e procedo alla modellazione della **griglia** (*File_ New Model_Grid only*).



Imposto le *grid lines* (numero di griglie 2 per gli assi globali x,y e 1 lungo z) e le dimensioni del continuo equivalente (18 m lungo l'asse x e 24 m lungo l'asse y).

Disegno l'area (*Draw_Rectangular Area*) ed assegno i vincoli esterni ai quattro vertici (*Assign_Joint_ Restraints_Incastro*) e poi discretizzo la superficie in modo da ottenere risultati dell'analisi più accurati (*Edit_Edit Area_Divide_Divide Area into objects of this maximum size 0,5-0,5*)



Definisco il **materiale** (*Define_Materials_Add New Materials – "Italy, Concrete, NTC 2008, CLS 35/45"*) e le **sezioni** (*Define_Section properties_Area section_Shell_Add new Section_Shell thick – anche sollecitazioni di taglio – *Thikness_Membrane 1;Bending1_Material C35/45**) e le **assegno** (*Assign_Area_Area Section*).

Add Material Property

| | |
|---------------|------------------------------------|
| Region | Italy |
| Material Type | Concrete |
| Standard | UNI EN 206-1:2006 e UNI 11104:2004 |
| Grade | C35/45 |

OK Cancel

Shell Section Data

Section Name: Shell 1 Display Color: [Blue]

Section Notes: Modify/Show...

Type:

- Shell - Thin
- Shell - Thick
- Plate - Thin
- Plate Thick
- Membrane
- Shell - Layered/Nonlinear

Modify/Show Layer Definition...

Thickness:

- Membrane: 1
- Bending: 1

Material:

- Material Name: + C35/45
- Material Angle: 0

Time Dependent Properties: Set Time Dependent Properties...

Concrete Shell Section Design Parameters: Modify/Show Shell Design Parameters...

Stiffness Modifiers: Set Modifiers... Temp Dependent Properties: Thermal Properties...

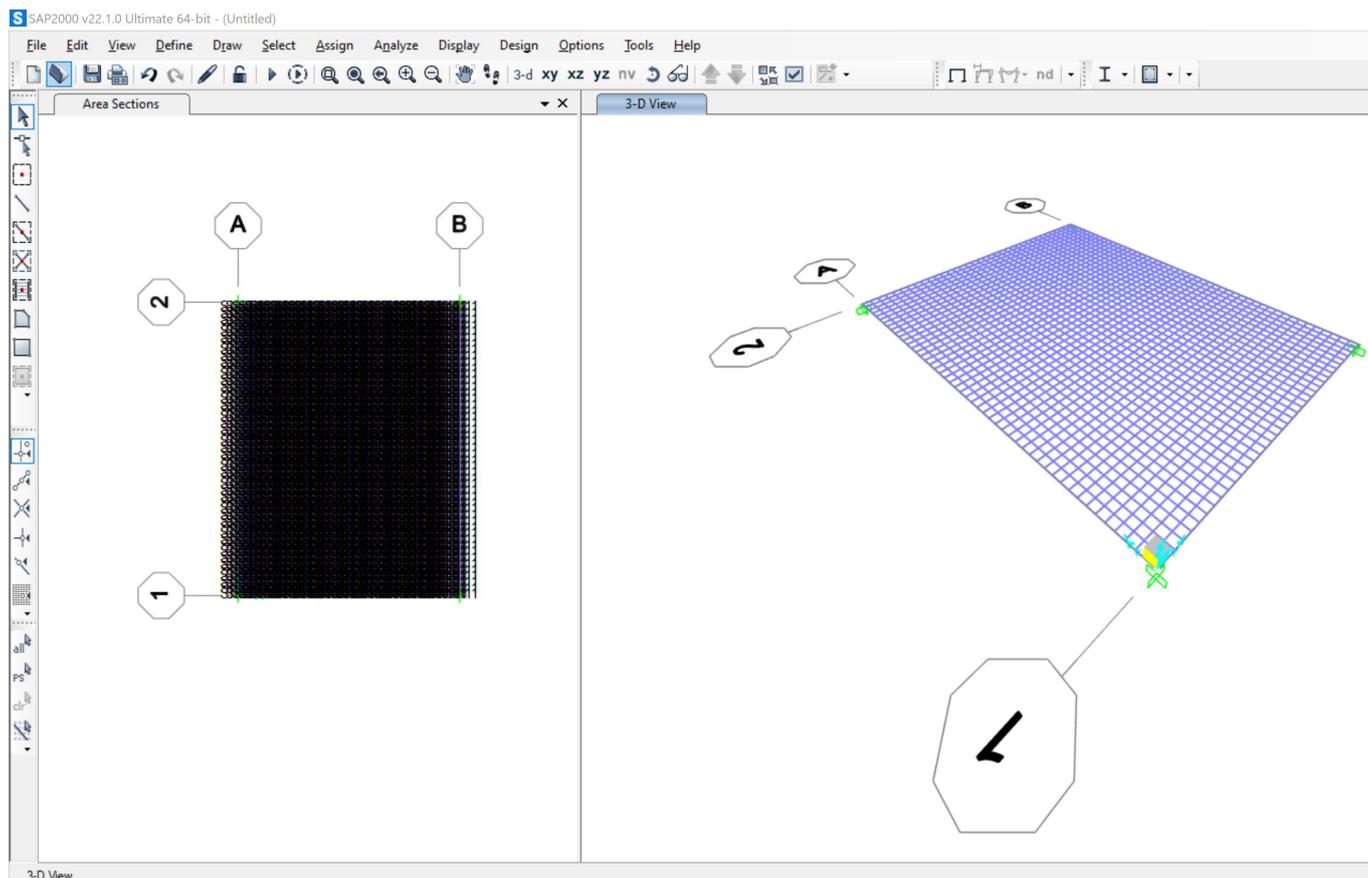
OK Cancel

Assign Area Sections

ASEC1

None

Shell 1



Per avviare una prima analisi dei carichi, scelgo il tipo di solaio (latero cemento) e procedo all'analisi.

ANALISI DEI CARICHI

GK1 (carico permanente strutturale_peso proprio solaio) TOT: 3,12 KN/m²

peso soletta c.a.: 1,00 KN/m²

peso travetti: 1,20 KN/m²

peso pignatte: 0,92 KN/m²

GK2 (carico permanente non strutturale) TOT: 4,83 KN/m²

pavimento in gress: 0,40 KN/m²

allettamento+massetto: 2,40 KN/m²

isolante: 0,030 KN/m²

tramezzi (incidenza): 1,60 KN/m²

intonaco: 0,40 KN/m²

Qk (carico variabile) TOT: 2,00 KN/m²

Cat. A (civile abitazione): 2,00 KN/m²

ANALISI DEI CARICHI ALLO SLU_ COMBINAZIONE FONDAMENTALE

$$F_d = (\gamma_{g1} \cdot GK1) + (\gamma_{g2} \cdot GK2) + (\gamma_{q1} \cdot QK1)$$

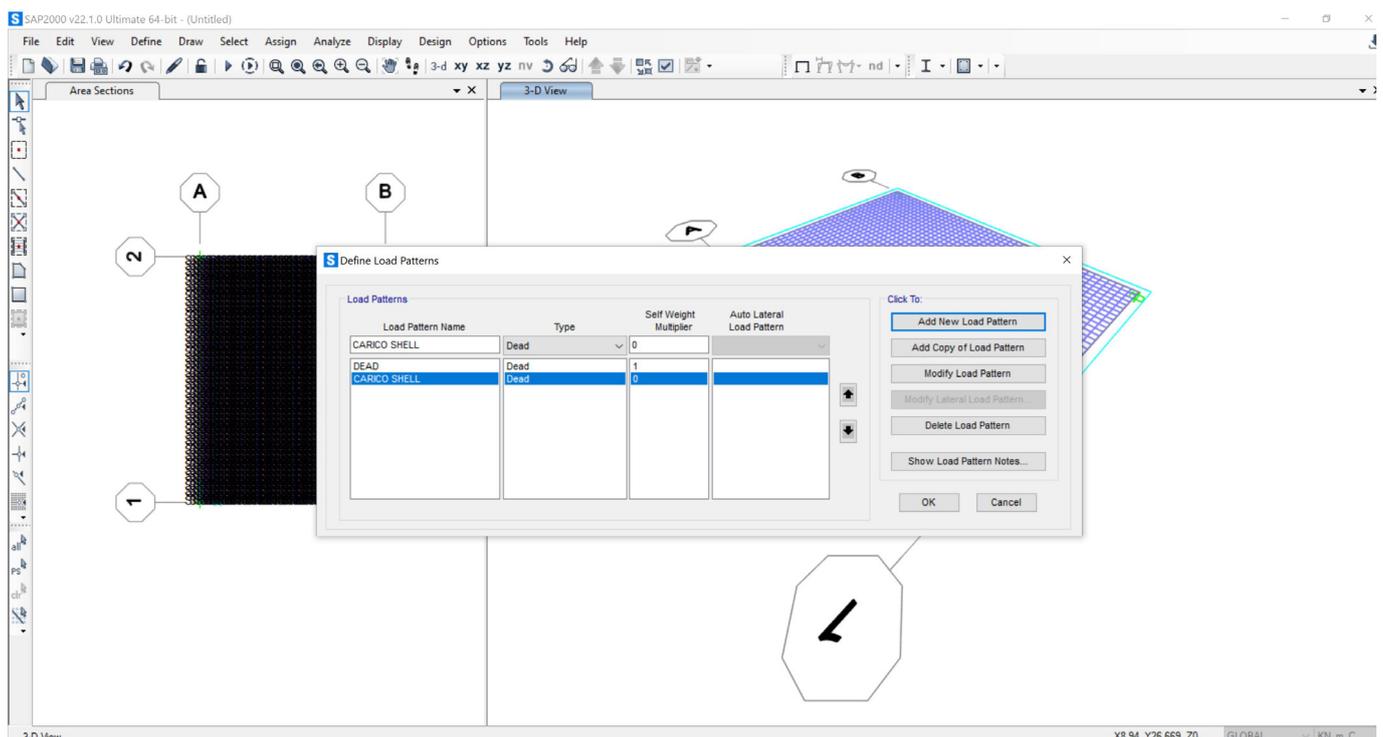
$$F_d = (3,12 \cdot 1,3) + (4,83 \cdot 1,5) + (2 \cdot 1,5) = 14,301 \text{ KN/m}^2$$

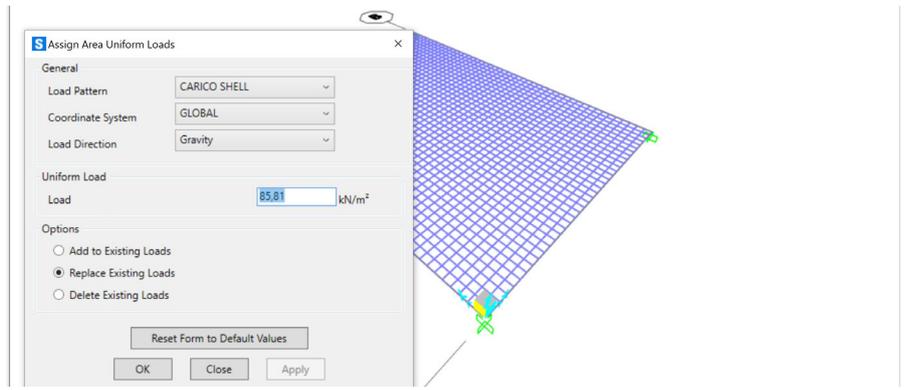
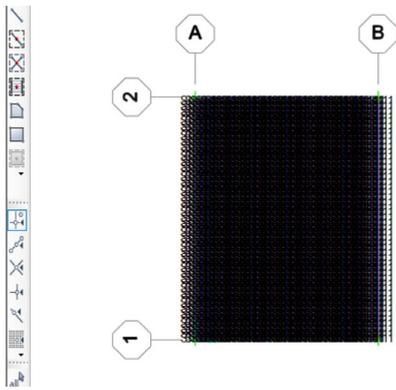
Calcolo ora la sollecitazione totale agente al m², moltiplicandola per il numero di piani:

$$14,301 \text{ KN/m}^2 \cdot 6 = 85,81 \text{ KN/m}^2$$

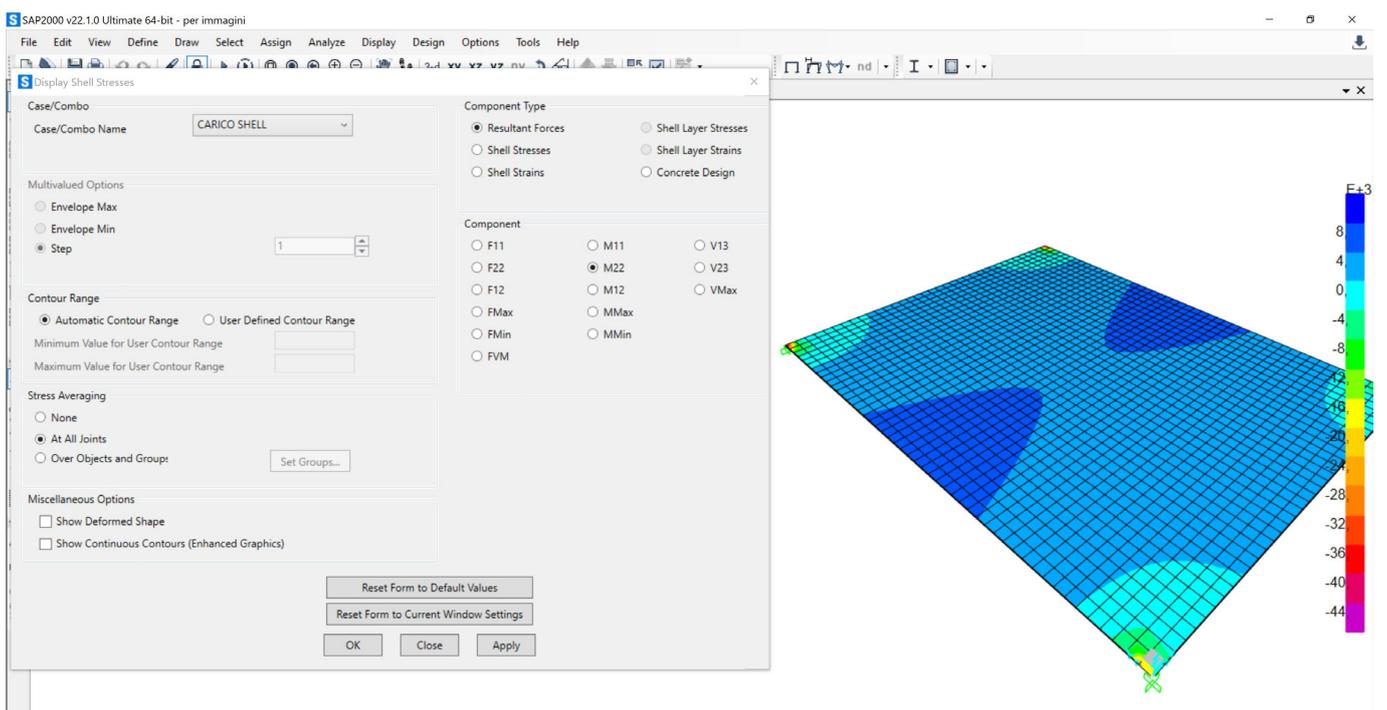
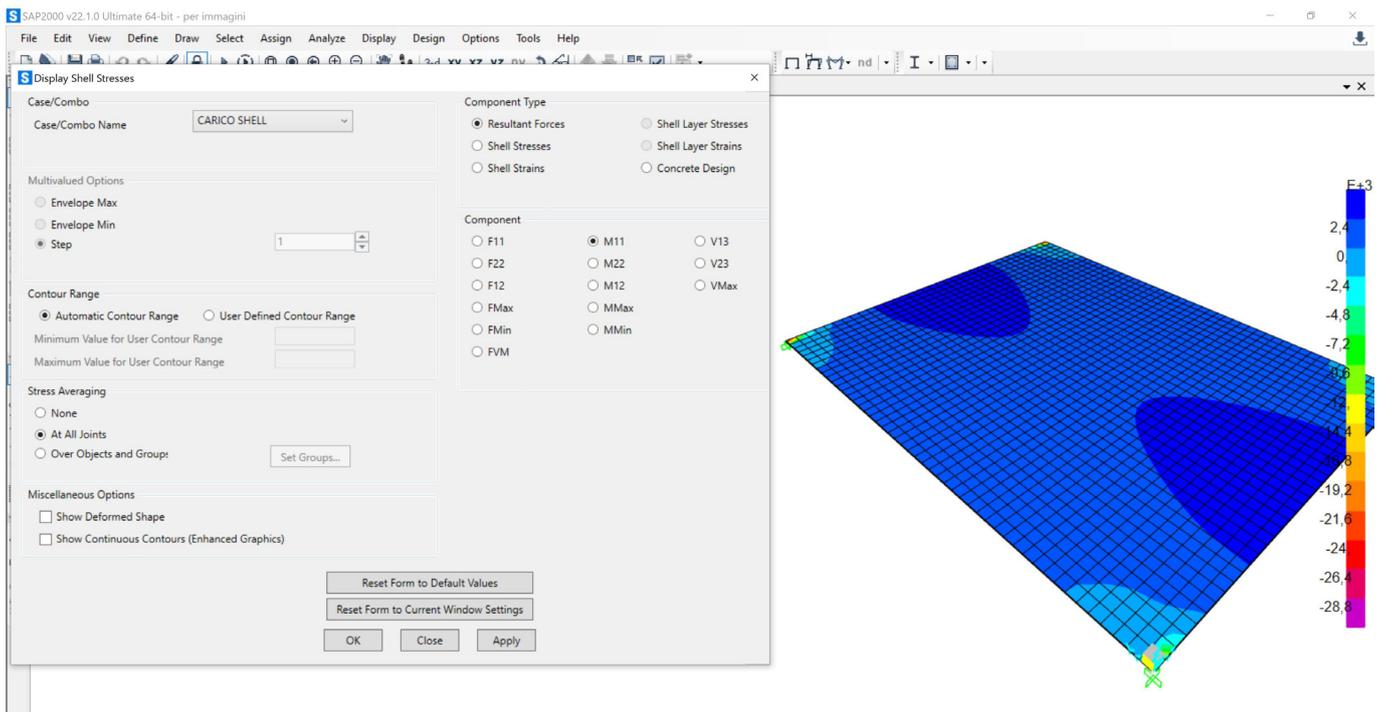
Definisco il Load Pattern (**Carico Shell**) e annullo il moltiplicatore di carico per il peso proprio che in questo momento trascuro e valuterò solo dopo, con il disegno del graticcio, perché questa analisi è, appunto, finalizzata ad avere un primo ordine di grandezza delle sollecitazioni agenti per iniziare la progettazione (con l'intenzione quindi di svuotare la lastra di cls pieno, di spessore 1 m, per aumentare l'inerzia e diminuirne il peso).

Assegno dunque il carico (*Assign_Area Loads_Uniform shell, carico distribuito*) di 85,81 KN/m².





Avvio l'analisi, facendo girare solo il Carico Shell e visualizzo i risultati della shell (Display_Shell Stresses) e valuto il valore del momento massimo nelle due direzioni M11 (3.500 KNxm) e M22 (4.800 KNxm).



Prendo in considerazione, dunque, per il dimensionamento a flessione delle travi il momento più elevato nella direzione 2 (4.800 KNxm), perché nel sistema a graticcio tutte le travi presentano le medesime dimensioni, non esistendo gerarchia e dovendo essere in grado di sopportare la sollecitazione massima.

Dal calcolo emerge che il continuo equivalente disegnato, per essere correttamente progettato, valutando una base di un metro di soletta piena (b), dovrebbe presentare uno spessore di circa 120 cm (H).

Decido poi che l'interasse strutturale del graticcio è 150 cm, quindi ricalcolo il momento massimo, aumentandolo di 1,5 volte (7.200,00 KNxm) e modifico la geometria della sezione (40 cm di spessore) e l'altezza minima della trave è di 227,00 cm circa.

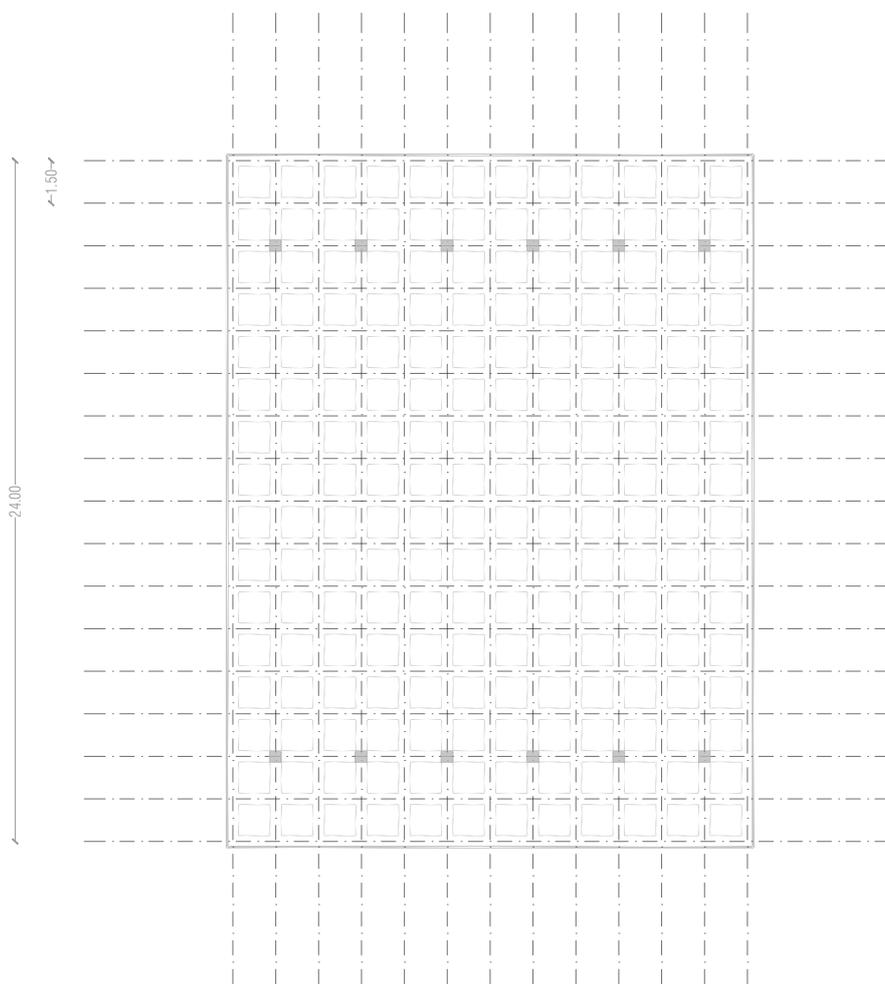
Valuto anche che non è stato ancora messo in conto il peso proprio del graticcio, che è estremamente significativo, quindi aumento ancora la sollecitazione, di un ulteriore 40% (10.000,00 KN x m). L'altezza minima della trave è di 267 cm circa.

Tenendo però a mente che l'intenzione progettuale è quella di aumentare i vincoli e modificarne il posizionamento rispetto a quanto predisposto nel continuo equivalente (4 vincoli incastro agli angoli della superficie) decido di definire una prima sezione della trave di 40x250 cm.

| M_{max} (KN*m) | f_{yk} (N/mm ²) | f_{yd} (N/mm ²) | f_{ck} (N/mm ²) | f_{cd} (N/mm ²) | β | r | b (cm) | h_u (cm) | δ (cm) | H_{min} (cm) |
|------------------|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|---------|------|--------|------------|---------------|----------------|
| 4800,00 | 450,00 | 391,30 | 35,00 | 19,83 | 0,43 | 2,33 | 100,00 | 114,42 | 5,00 | 119,42 |
| 7200,00 | 450,00 | 391,30 | 35,00 | 19,83 | 0,43 | 2,33 | 40,00 | 221,57 | 5,00 | 226,57 |
| 10000,00 | 450,00 | 391,30 | 35,00 | 19,83 | 0,43 | 2,33 | 40,00 | 261,12 | 5,00 | 266,12 |

Procedo quindi al progetto del graticcio di travi inflesse di dimensioni 18 m x24m (*Draw_special Joint*, a distanza 10 metri. *Draw Frame/Cable*).

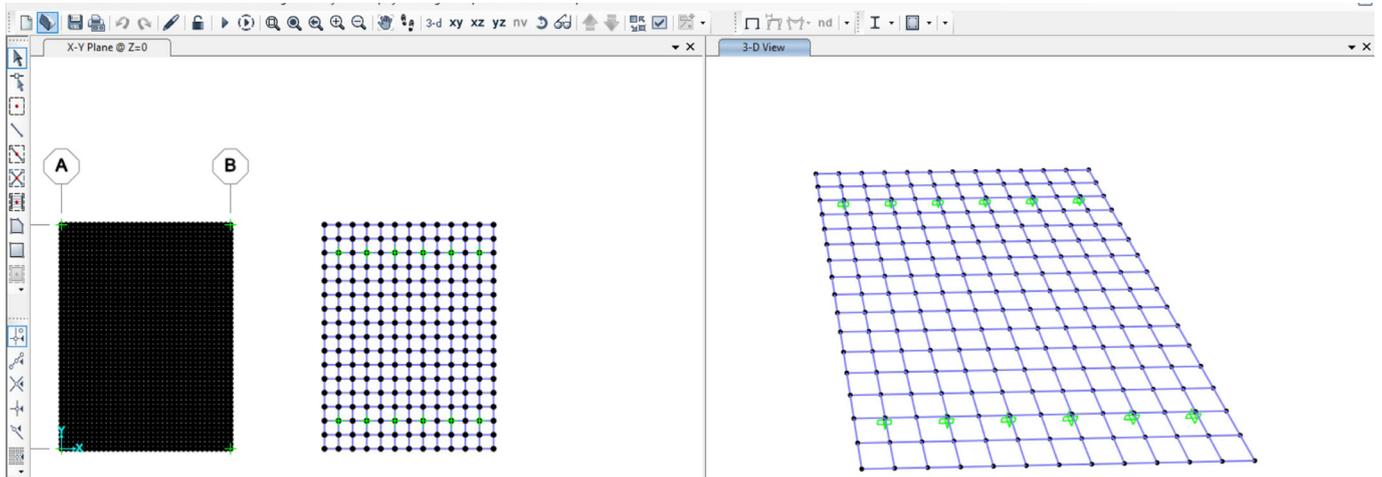
SCHEMA DI PIANTA DEL GRATICCIO (CON VINCOLI INCASTRO)



Duplico gli elementi strutturali fino alla definizione del Graticcio (*Edit Replicate_Linear_increments* 1,5 lungo y, per 16 volte; e lungo X, stesso passo, per 12 volte).

Definisco la sezione (*Define_Section Properties_Frame section_Add new property_Concrete, Rectangular, C35/45*, dimensioni 2,50x0,40 m).

Imposto il nodo rigido interrompendo tutte le travi (*Edit_Edit Lines_Divide Frames_Break at intersection with selected Joints_*) ed assegno i vincoli (12 vincoli incastro) e la sezione, precedentemente definita.



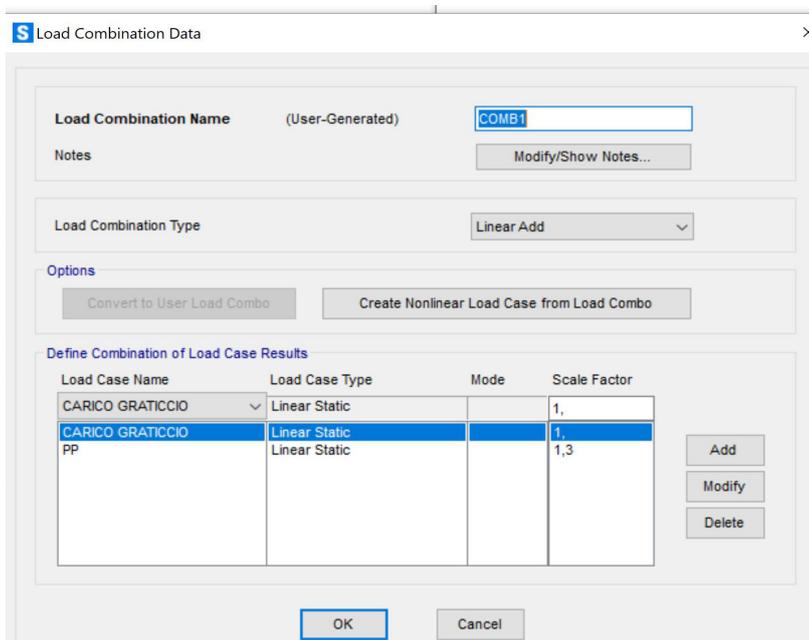
Definisco due Load Pattern:

- il **Peso proprio** (PP) – Self Weight Multiplier 1 –
- il **Carico Graticcio** – Self Weight Multiplier 0 –

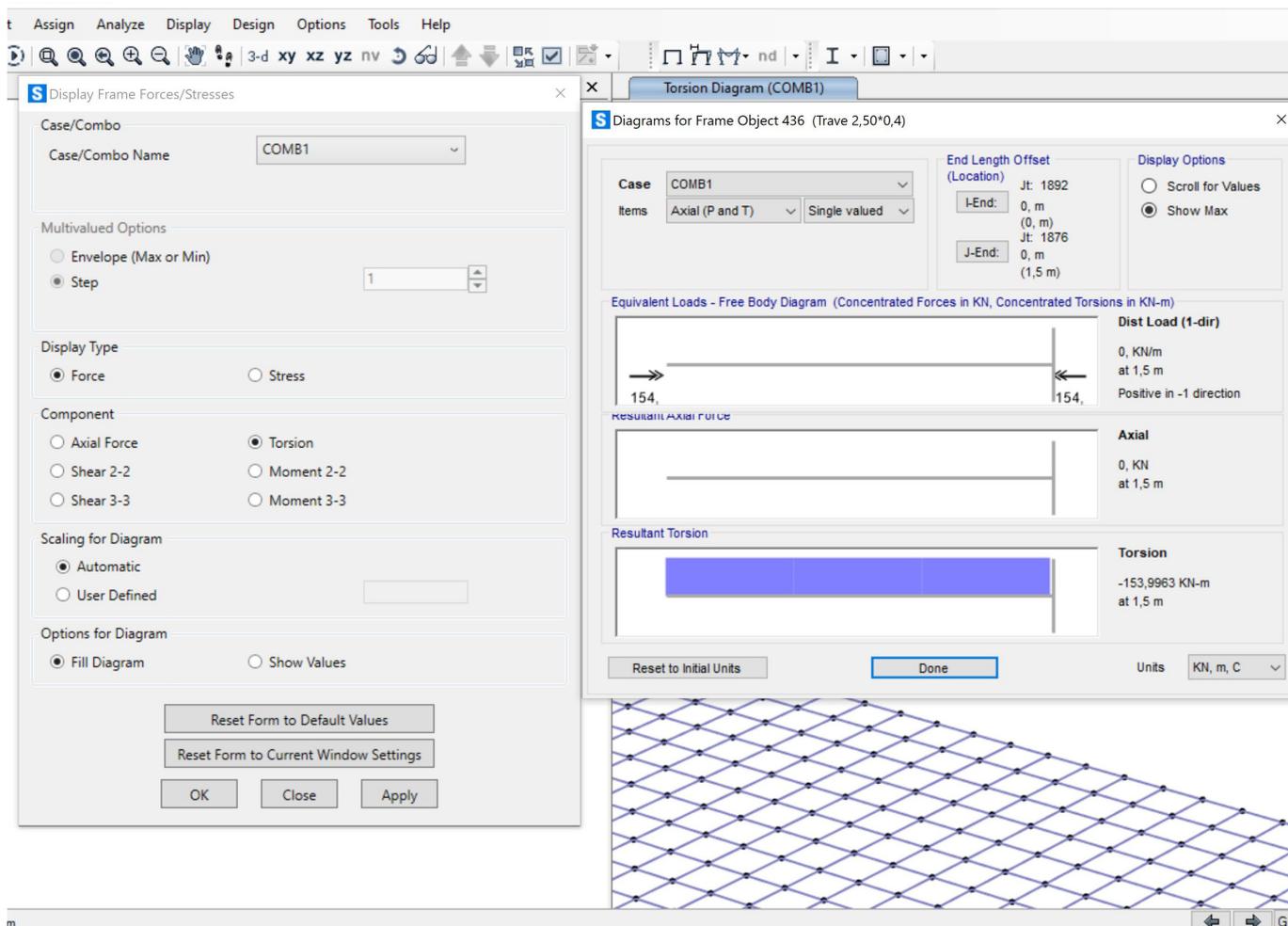
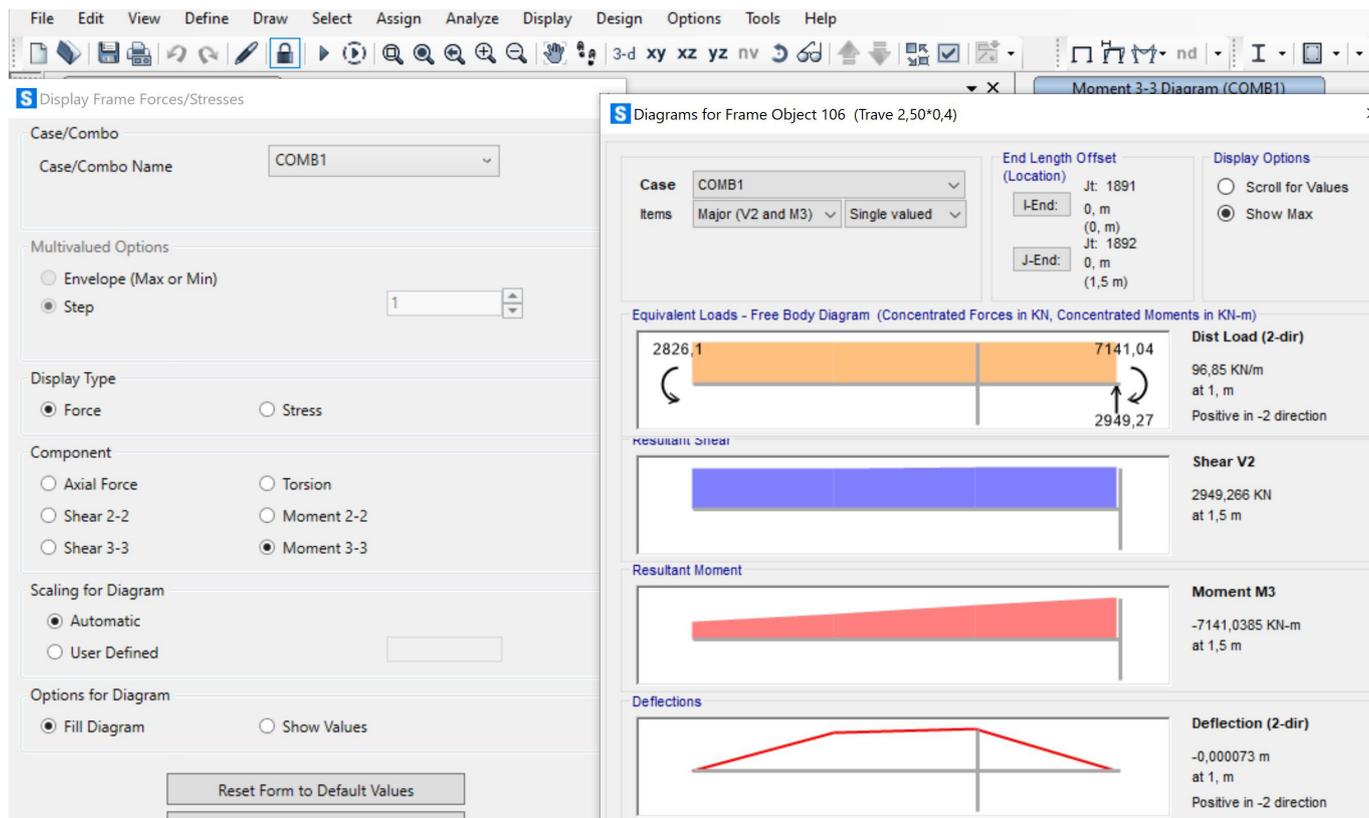
Assegno il carico (*Assign_Frame Loads_Distributed_Carico Graticcio*):

- per tutte le travi interne: $(85,81 \text{ KN/m}^2 \times 1,5 \text{ m}) / 2 = 64,36 \text{ KN/m}$
- per le travi di bordo, la cui area di influenza si dimezza ulteriormente: $64,36 \text{ KN/m} / 2 = 32,17 \text{ KN/m}$

Definisco la **Combinazione di carico** (*Define_Load Combination_Add new combo_linear Add_*) tra il PP - moltiplicato per il relativo coefficiente di sicurezza (1,3) - ed il Carico Graticcio, così da tenere in considerazione il peso proprio della soluzione strutturale e dimensionare correttamente le travi.



Avvio l'analisi e verifico le sollecitazioni a momento (Display_Frame Forces stresses) per la combinazione impostata. Il momento massimo M33 è di 7140 KNxm, mentre la torsione massima di 155 KNxm.



Procedo ad un nuovo dimensionamento a flessione della trave, e verifico che posso ridurre l'altezza della sezione a 225 cm. Controllo anche la risposta a torsione delle trave e mi assicuro che sia verificata.

| M_{max} (KN*m) | f_{yk} (N/mm ²) | f_{yd} (N/mm ²) | f_{ck} (N/mm ²) | f_{cd} (N/mm ²) | β | r | b (cm) | h_u (cm) | δ (cm) | H_{min} (cm) |
|------------------|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|---------|------|----------|------------|---------------|----------------|
| 4800,00 | 450,00 | 391,30 | 35,00 | 19,83 | 0,43 | 2,33 | 100,00 | 114,42 | 5,00 | 119,42 |
| 7200,00 | 450,00 | 391,30 | 35,00 | 19,83 | 0,43 | 2,33 | 40,00 | 221,57 | 5,00 | 226,57 |
| 10000,00 | 450,00 | 391,30 | 35,00 | 19,83 | 0,43 | 2,33 | 40,00 | 261,12 | 5,00 | 266,12 |
| 7140,00 | 450,00 | 391,30 | 35,00 | 19,83 | 0,43 | 2,33 | 40,00 | 220,65 | 5,00 | 225,65 |

| M_t (KNm) | f_{ck} (N/mm ²) | f_{tk} (N/mm ²) | f_{td} (N/mm ²) | a (cm) | b (cm) | a/b | α | T_{max} (N/mm ²) |
|-------------|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|----------|----------|-------|----------|--------------------------------|
| 155,00 | 35,0 | 4,38 | 2,92 | 40,0 | 230,0 | 0,2 | 3,31 | 0,73 |

Modifico la sezione nel modello SAP e lanciai nuovamente l'analisi con la combinazione di carico del peso proprio e del Carico Graticcio e verifico che posso procedere alla riduzione dell'altezza minima a 225 cm, senza ricadute sulla torsione, che risulta comunque verificata (le tau max essendo di gran lunga inferiori alla resistenza di progetto).

Il momento massimo M33, all'esito della sostituzione della sezione è di 6.910 KNxm mentre la torsione massima 170 KNxm.

| M_t (KNm) | f_{ck} (N/mm ²) | f_{tk} (N/mm ²) | f_{td} (N/mm ²) | a (cm) | b (cm) | a/b | α | T_{max} (N/mm ²) |
|-------------|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|----------|----------|-------|----------|--------------------------------|
| 155,00 | 35,0 | 4,38 | 2,92 | 40,0 | 230,0 | 0,2 | 3,31 | 0,73 |
| 170,00 | 35,0 | 4,38 | 2,92 | 40,0 | 230,0 | 0,2 | 3,31 | 0,80 |

The screenshot shows the SAP software interface with two windows open:

- Display Frame Forces/Stresses:** Shows settings for Case/Combo (COMB1), Multivalued Options (Step 1), Display Type (Force), Component (Moment 3-3), and Scaling for Diagram (Automatic).
- Diagrams for Frame Object 106 (Trave 2,25*0,4):** Displays analysis results for Case COMB1.
 - Equivalent Loads - Free Body Diagram:** Shows concentrated forces of 2663,51 KN and 6906,78 KN, and a concentrated moment of 2899,04 KNm.
 - Dist Load (2-dir):** 93,6 KN/m at 1,5 m, Positive in -2 direction.
 - Shear V2:** 2899,044 KN at 1,5 m.
 - Moment M3:** -6906,7784 KN-m at 1,5 m.
 - Deflections:** -0,000097 m at 1,5 m, Positive in -2 direction.

S Display Frame Forces/Stresses

Case/Combo
Case/Combo Name: COMB1

Multivalued Options
 Envelope (Max or Min)
 Step: 1

Display Type
 Force Stress

Component
 Axial Force Torsion
 Shear 2-2 Moment 2-2
 Shear 3-3 Moment 3-3

Scaling for Diagram
 Automatic User Defined

Options for Diagram
 Fill Diagram Show Values

Reset Form to Default Values
Reset Form to Current Window Settings
OK Close Apply

S Diagrams for Frame Object 436 (Trave 2,25*0,4)

Torsion Diagram (COMB1)

Case: COMB1
Items: Axial (P and T) Single valued

End Length Offset (Location)
I-End: 0, m (0, m) Jt: 1892
J-End: 0, m (1,5 m) Jt: 1876

Display Options
 Scroll for Values
 Show Max

Equivalent Loads - Free Body Diagram (Concentrated Forces in KN, Concentrated Torsions in KN-m)

Dist Load (1-dir)
0, KN/m at 1,5 m
Positive in -1 direction

Resultant Axial Force
168,13

Axial
0, KN at 1,5 m

Resultant Torsion
-168,132 KN-m at 1,5 m

Torsion
-168,132 KN-m at 1,5 m

Reset to Initial Units Done Units: KN, m, C

