

## ES.2 – DIMENSIONAMENTO DI UN GRATICCIO

Laboratorio di progettazione strutturale 1M

Prof. Ginevra Salerno

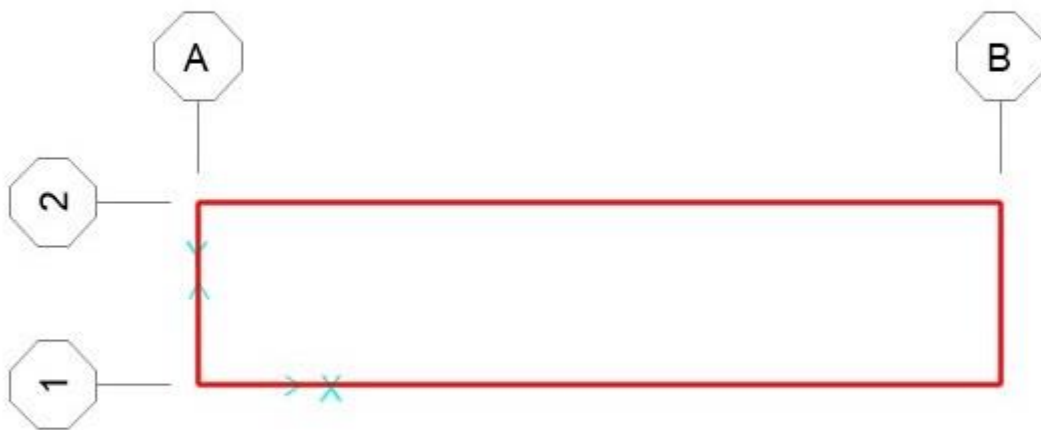
Studenti: E. Sesti, P. Visca

Cominciamo a dimensionare il graticcio partendo da una superficie (di più facile e veloce modellazione)

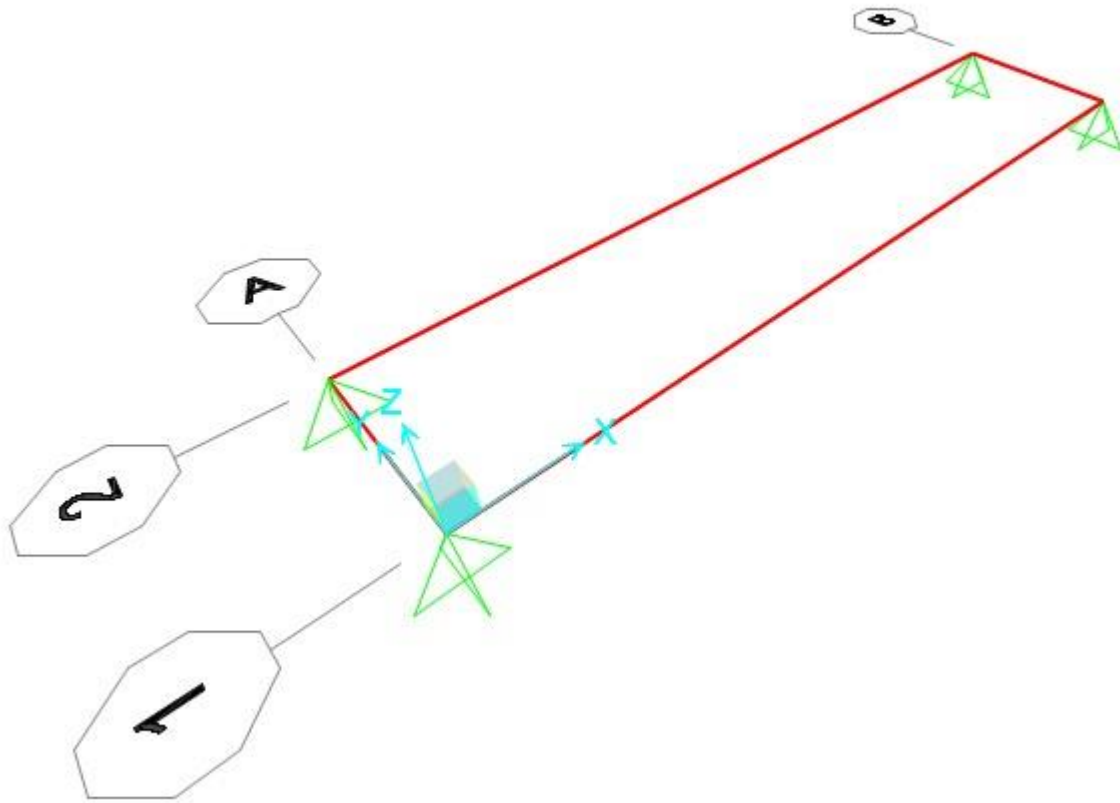
[Successivamente ci tireremo fuori un ordine di grandezza delle sollecitazioni che possiamo utilizzare per dimensionare la conformazione del graticcio]

Comincio a modellare la superficie con le dimensioni della porzione del progetto che precedentemente abbiamo considerato di reggere con un graticcio di travi inflesse: dimensioni 35m x 8m, con due solai soprastanti (uno adibito a spazio espositivo e uno per copertura: per questo abbiamo valutato che questa porzione si reggerebbe anche su un telaio e abbiamo abbandonato l'idea del graticcio).

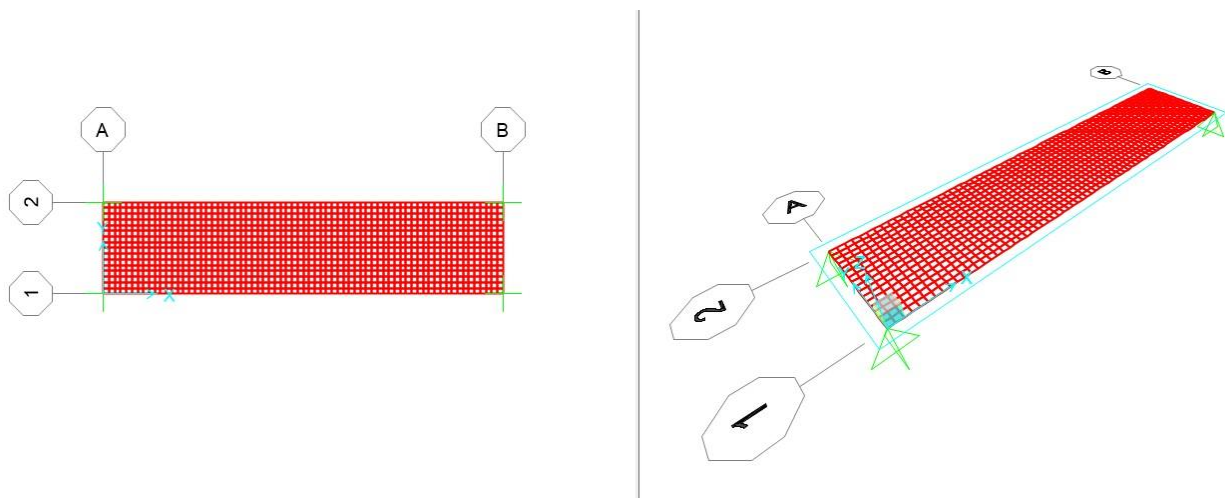
Posiziono le linee di griglia in posizione esatta e disegno una superficie rettangolare con il comando 'Draw Rectangular area'.



Assegno i vincoli esterni, mettendomi per il momento nella condizione più sfavorevole: assegno 4 cerniere ai 4 vertici del rettangolo: Selezione i vertici -> Assign -> Joint -> Restraint -> Selezione cerniera



Per avere risultati più accurati discretizzo la superficie dividendola in superfici più piccole (mantenendo sempre continua la superficie totale): Edit -> Edit areas -> Divide areas -> Selezione il secondo comando -> do le dimensioni delle piccole superfici in cui divido [dimensioni: 0.5 m x 0.5 m].



A questo punto faccio un'analisi dei carichi:

Considero che il graticcio oltre a portare sé stesso porta subito sopra 5 piani adibiti a uffici con struttura a telaio in acciaio (solo a scopo dell'esercizio, perché nel nostro edificio abbiamo solo due piani sovrastanti e per questo abbiamo optato per scegliere la struttura a telaio semplice), considero per ogni piano i carichi strutturali (per l'acciaio  $1.5 \text{ KN/m}^2$ ) i carichi accidentali (da normativa  $2 \text{ KN/m}^2$ ) e permanenti non strutturali (considero  $3 \text{ KN/m}^2$ ) e un **piano copertura** con struttura in acciaio di cui considero carico strutturale  $2 \text{ KN/m}^2$ , carico permanente non strutturale  $3 \text{ KN/m}^2$  e carico accidentale  $0.5 \text{ KN/m}^2$ .

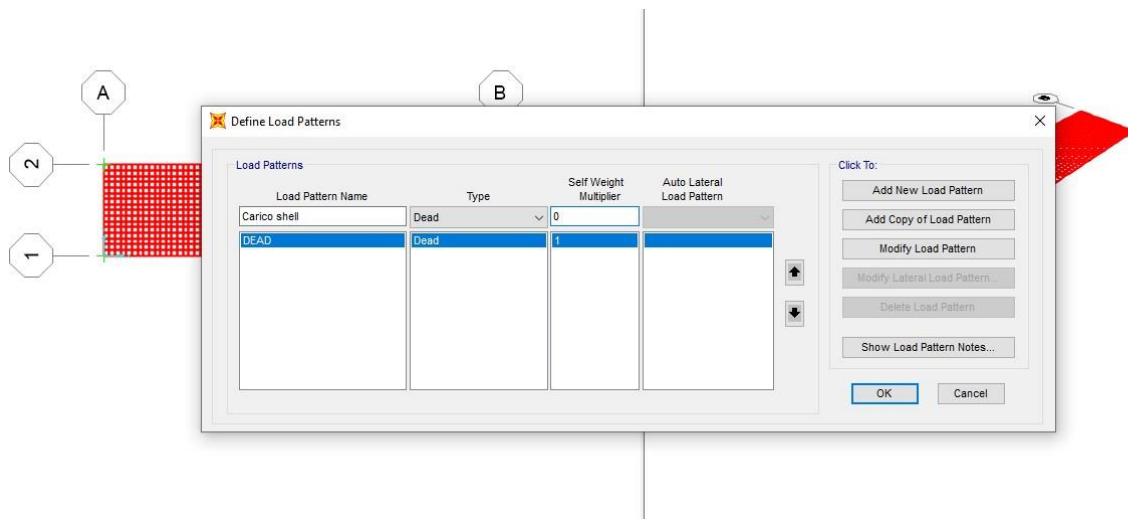
Moltiplicando per i coefficienti gamma allo SLU posso trovare i carichi totali distribuiti sull'area allo SLU dei due piani:

- Piano spazio espositivo:  $1.3 \times 1.5 \text{ KN/m}^2 + 1.5 \times 2 \text{ KN/m}^2 + 1.5 \times 3 \text{ KN/m}^2 = 9.45$  (circa) =  **$9.5 \text{ KN/m}^2$**
- Piano copertura:  $1.3 \times 2 \text{ KN/m}^2 + 1.5 \times 3 \text{ KN/m}^2 + 1.5 \times 0.5 \text{ KN/m}^2 = 7.85 \text{ KN/m}^2$  (circa) =  **$8 \text{ KN/m}^2$**

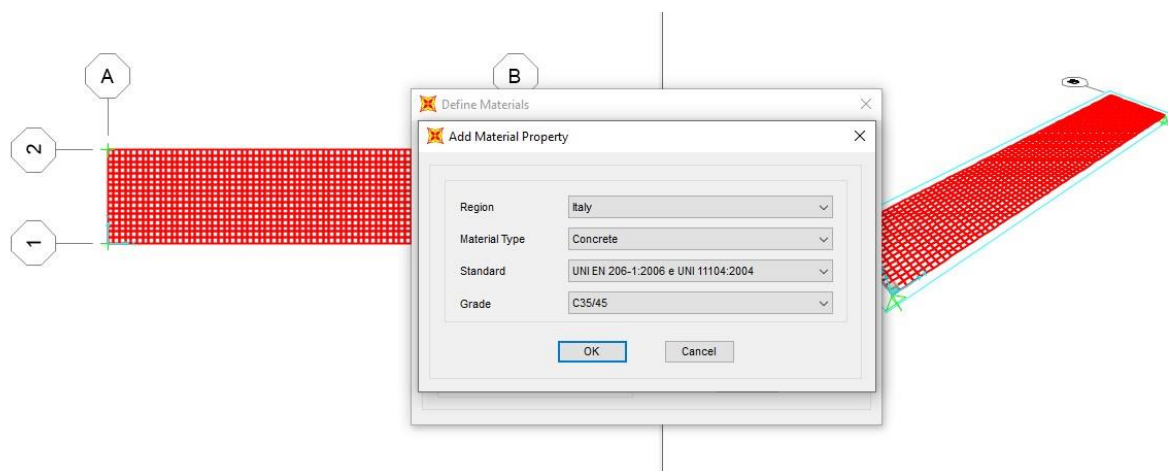
In totale sul graticcio ho un carico distribuito di:

$$9.5 \text{ KN/m}^2 \times 5 + 8 \text{ KN/m}^2 = 55,5 \text{ KN/m}^2 \text{ (circa)} = \mathbf{56 \text{ KN/m}^2}$$

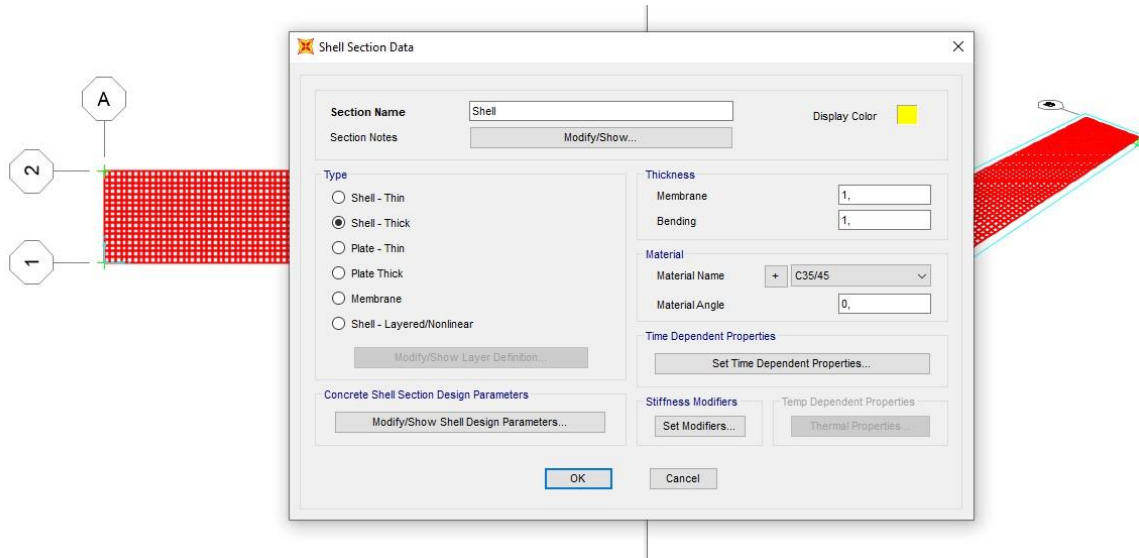
Definisco il carico su SAP [Define -> Load Patterns -> Gli do il peso proprio = 0 per ora]



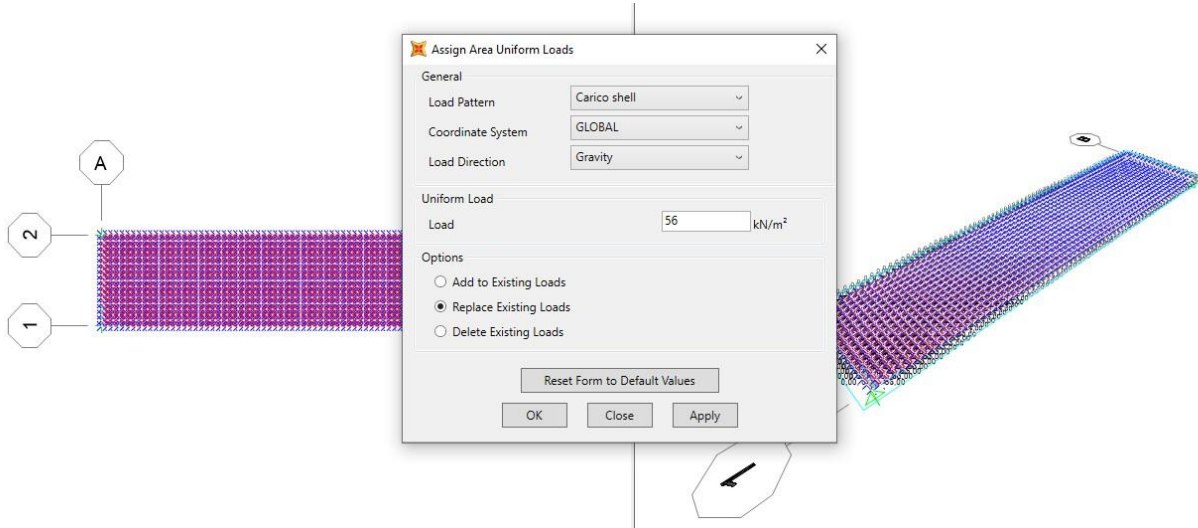
Definisco il materiale: [Define -> Material -> Add new material -> prendo per ora un calcestruzzo C35/45 (non ordinario)]



Definisco la sezione: [Define -> Section properties -> Area Sections -> Add new section -> Scelgo il Type Shell – Thick, il materiale che ho definito e lo spessore (uguale per comportamenti membranali e flessionali) di 1m per ora] e la assegno alla mia area [Assign -> Area -> Area section -> Assegno “Shell”].



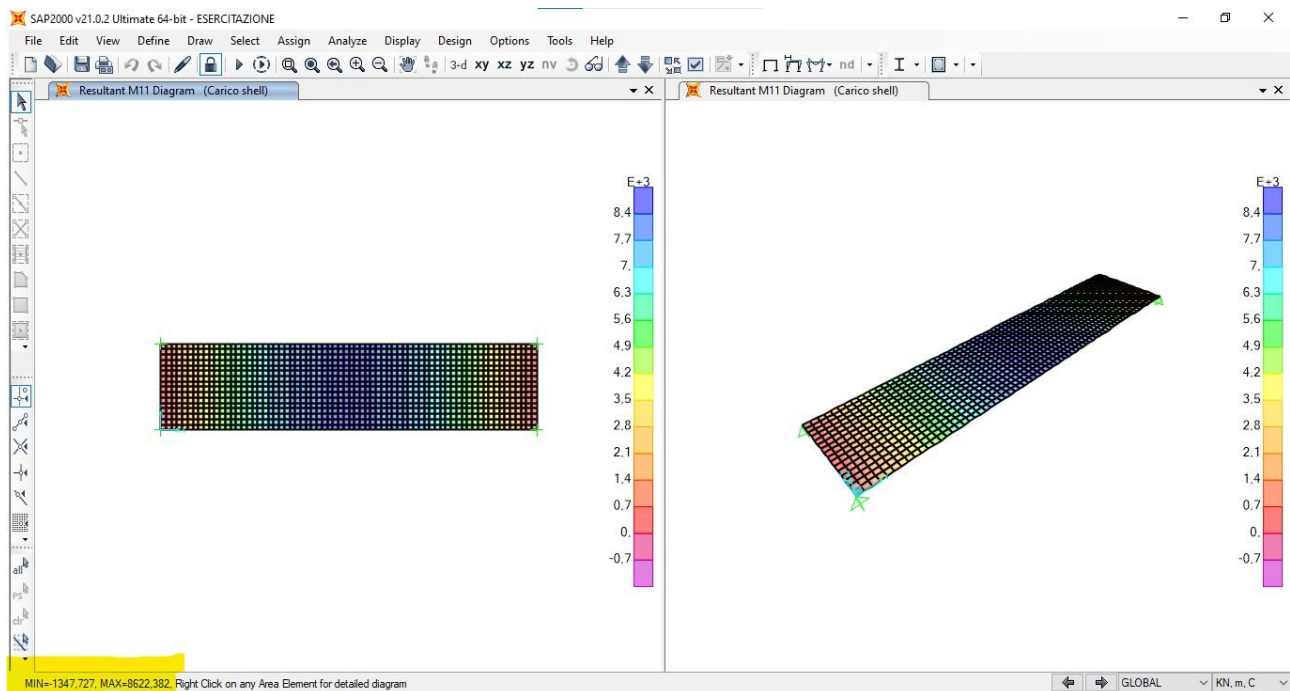
Assegno il carico: [seleziono la piastra -> Assign -> Area Loads -> Uniform (Shell) -> Assegno il carico che ho trovato prima: 56 KN/m<sup>2</sup>]



Faccio partire l'analisi solo con il carico shell.

Essendo le travi che compongono il graticcio tutte uguali, vado a dimensionare il graticcio con il momento massimo che risulta dalle analisi.

Prendo come momento massimo 8622,4 KN\*m, che arrotondo per eccesso a **8625 KN\*m**.



Inserisco il momento massimo sul file excel del dimensionamento a flessioni delle travi, sullo stesso file inserisco  $f'_{ck}$  corretto.

A questo punto lavoro con il parametro geometrico della base, per esempio inserisco una base di 30 cm. A questo punto se io considero un graticcio composto da travi di base 30 cm e di altezza 285 cm (circa) come vedo dal file excel (nella prima riga), e facessi una verifica non considerando il peso proprio, questa sarebbe soddisfatta.

A questo punto devo considerare anche il passo del graticcio. Il momento distribuito inserito è considerato in un metro di spessore (perpendicolare alla lunghezza) quindi il passo per ora sarebbe di un metro. Se io per esempio considerassi un passo delle travi che compongono il graticcio di due metri dovrei raddoppiare il momento, che in questo caso da 8625 diventerebbe 17.250 KN\*m. Inoltre non so prendendo in considerazione il peso proprio, che nel caso del graticcio in calcestruzzo armato è molto influente. Vado quindi a variare per ora il parametro del passo: il passo di un metro è troppo piccolo e quindi complicato da risolvere al livello costruttivo. Su graticci impegnativi il passo dovrebbe essere almeno 1,5 m. Quindi gli 8625 KN\*m dovrei considerarli almeno addizionati della metà:  $8625 + 8625/2 = 12.938$  KN\*m.

Se inserisco questo valore nel file excel, e aumento anche la base (da 30 a 40 cm), vedo che l'altezza del mio graticcio arriva a 302 cm (seconda riga nel file excel).

Devo tener conto anche in questa fase del peso proprio, che incide in maniera considerevole. Per strutture di questo tipo il peso proprio incide come altri due piani aggiunti considerando solo il loro peso strutturale: se io prendo i 56 KN/m<sup>2</sup> (peso distribuito di un piano), lo moltiplico per l'area di un piano e lo moltiplico per due ottengo  $56 \times 35 \times 8 \times 2 = 31.360$  KN. Si può dire che mi devo confrontare all'incirca con questo peso aggiunto.

Comincio a fare una serie di prove che tengono conto anche di questo, per esempio provo a raddoppiare il momento massimo che diventerebbe di 17.250 KN\*m. Vedo che l'altezza con una base di 40 cm diventa di circa 3,5 m (terza riga nel file excel).

Salvataggio automatico  dimensionamento a flessione travi - Modalità compatibilità  Cerca

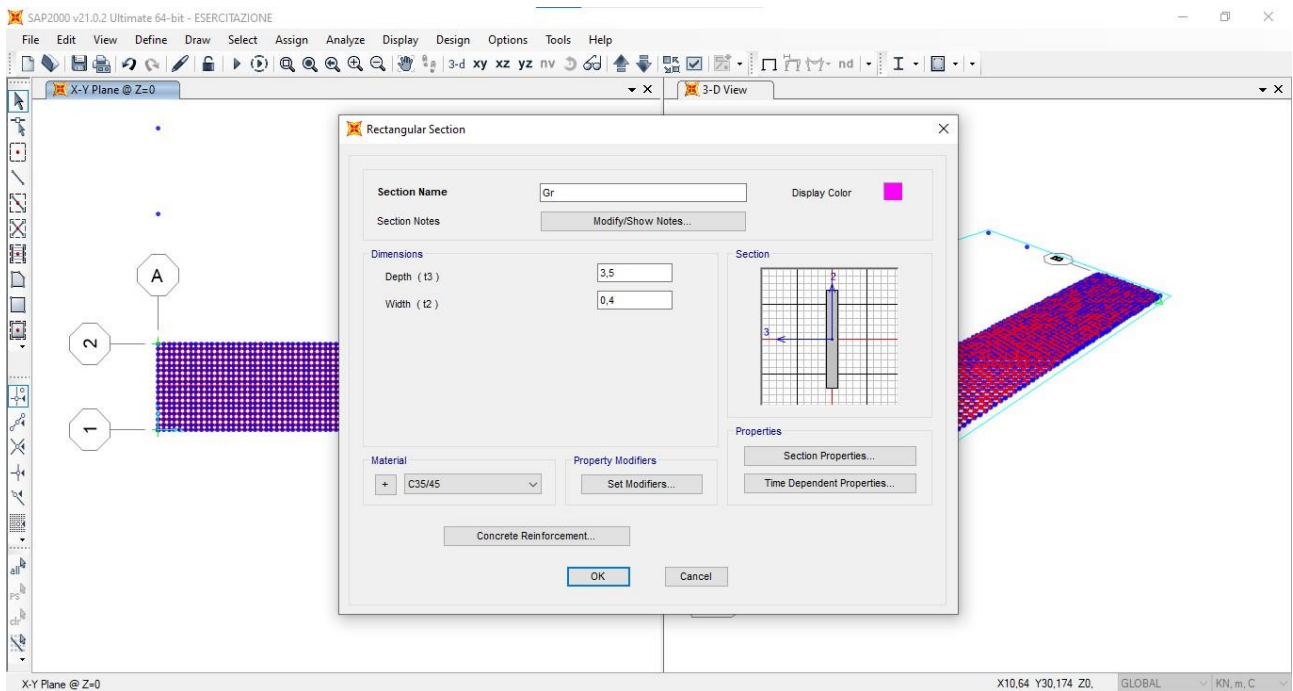
File Home Inserisci Disegno Layout di pagina Formule Dati Revisione Visualizza Automate Guida

Appunti Carattere Allineamento Numeri Stili Formattazione condizionale Formatta come tabella Stili cella Celle Ordina e filtra Trova e seleziona Riservatezza

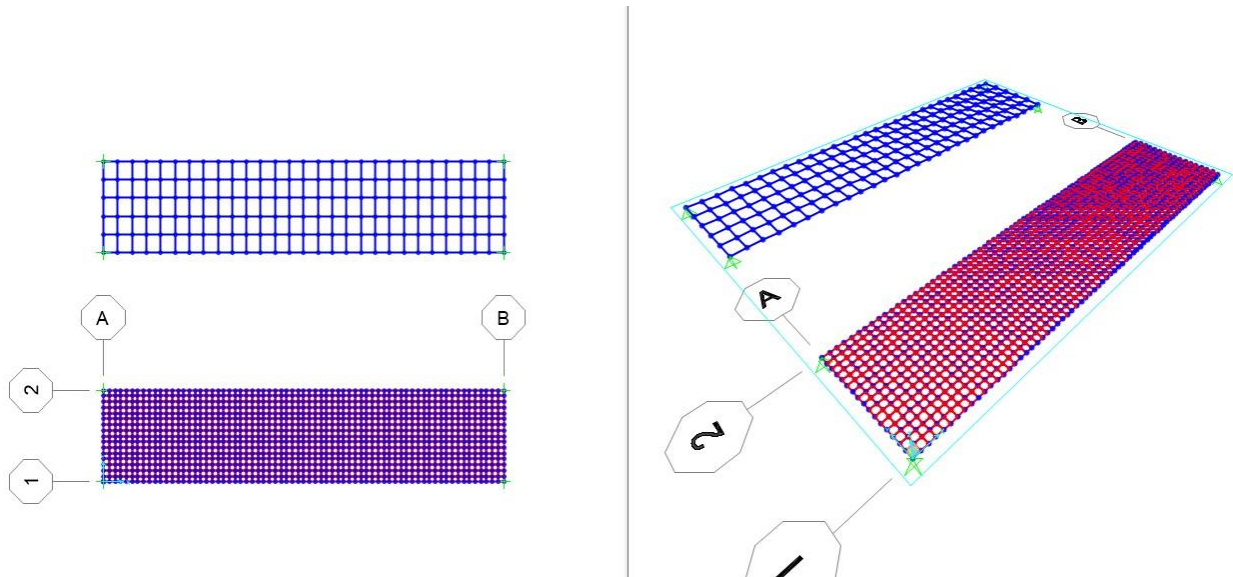
|    | E            | F        | G                | H                             | I                             | J                             | K                             | L       | M    | N        | O          | P             | Q              | R     | S    | T                      | U                    | V | W |
|----|--------------|----------|------------------|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|---------|------|----------|------------|---------------|----------------|-------|------|------------------------|----------------------|---|---|
| 1  | $q_u$ (KN/m) | luce (m) | $M_{max}$ (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     | H/I  | area (m <sup>2</sup> ) | peso unitario (KN/m) |   |   |
| 2  |              |          |                  |                               |                               |                               |                               |         |      |          |            |               |                |       |      |                        |                      |   |   |
| 3  | 45,14        | 8,00     | 8625,00          | 450,00                        | 391,30                        | 35,00                         | 19,83                         | 0,43    | 2,33 | 30,00    | 280,02     | 5,00          | 285,02         | 55,00 | 0,36 | 0,17                   | 4,13                 |   |   |
| 4  | 112,86       | 8,00     | 12938,00         | 450,00                        | 391,30                        | 35,00                         | 19,83                         | 0,43    | 2,33 | 40,00    | 297,02     | 5,00          | 302,02         | 52,00 | 0,07 | 0,21                   | 5,20                 |   |   |
| 5  | 101,00       | 8,00     | 17250,00         | 450,00                        | 391,30                        | 35,00                         | 19,83                         | 0,43    | 2,33 | 40,00    | 342,96     | 5,00          | 347,96         | 80,00 | 0,10 | 0,32                   | 8,00                 |   |   |
| 6  |              |          |                  |                               |                               |                               |                               |         |      |          |            |               |                |       |      |                        |                      |   |   |
| 7  |              |          |                  |                               |                               |                               |                               |         |      |          |            |               |                |       |      |                        |                      |   |   |
| 8  |              |          |                  |                               |                               |                               |                               |         |      |          |            |               |                |       |      |                        |                      |   |   |
| 9  |              |          |                  |                               |                               |                               |                               |         |      |          |            |               |                |       |      |                        |                      |   |   |
| 10 |              |          |                  |                               |                               |                               |                               |         |      |          |            |               |                |       |      |                        |                      |   |   |
| 11 |              |          |                  |                               |                               |                               |                               |         |      |          |            |               |                |       |      |                        |                      |   |   |
| 12 |              |          |                  |                               |                               |                               |                               |         |      |          |            |               |                |       |      |                        |                      |   |   |
| 13 |              |          |                  |                               |                               |                               |                               |         |      |          |            |               |                |       |      |                        |                      |   |   |
| 14 |              |          |                  |                               |                               |                               |                               |         |      |          |            |               |                |       |      |                        |                      |   |   |
| 15 |              |          |                  |                               |                               |                               |                               |         |      |          |            |               |                |       |      |                        |                      |   |   |
| 16 |              |          |                  |                               |                               |                               |                               |         |      |          |            |               |                |       |      |                        |                      |   |   |
| 17 |              |          |                  |                               |                               |                               |                               |         |      |          |            |               |                |       |      |                        |                      |   |   |
| 18 |              |          |                  |                               |                               |                               |                               |         |      |          |            |               |                |       |      |                        |                      |   |   |
| 19 |              |          |                  |                               |                               |                               |                               |         |      |          |            |               |                |       |      |                        |                      |   |   |
| 20 |              |          |                  |                               |                               |                               |                               |         |      |          |            |               |                |       |      |                        |                      |   |   |
| 21 |              |          |                  |                               |                               |                               |                               |         |      |          |            |               |                |       |      |                        |                      |   |   |
| 22 |              |          |                  |                               |                               |                               |                               |         |      |          |            |               |                |       |      |                        |                      |   |   |
| 23 |              |          |                  |                               |                               |                               |                               |         |      |          |            |               |                |       |      |                        |                      |   |   |
| 24 |              |          |                  |                               |                               |                               |                               |         |      |          |            |               |                |       |      |                        |                      |   |   |
| 25 |              |          |                  |                               |                               |                               |                               |         |      |          |            |               |                |       |      |                        |                      |   |   |
| 26 |              |          |                  |                               |                               |                               |                               |         |      |          |            |               |                |       |      |                        |                      |   |   |
| 27 |              |          |                  |                               |                               |                               |                               |         |      |          |            |               |                |       |      |                        |                      |   |   |

Pronto Accessibilità: non disponibile

Torno sul modello SAP e disegno il graticcio accanto alla shell. Definisco la sezione con le dimensioni definite nel file excel (40 cm x 350 cm).



Disegno le travi che compongono il graticcio (passo 1,5 m, arrotondo leggermente il passo per difetto per far centrare un numero di travi nelle due dimensioni), assegno i vincoli a terra: sempre 4 cerniere nei 4 spigoli e divido tutte le travi in vari frame che vanno da un'intersezione all'altra (sempre mantenendo i nodi rigidi) con [Edit -> Edit Lines -> Divide Selected Frames -> Spunto la seconda voce].



Assegno il la sezione (che ho chiamato Gr) e i carichi.

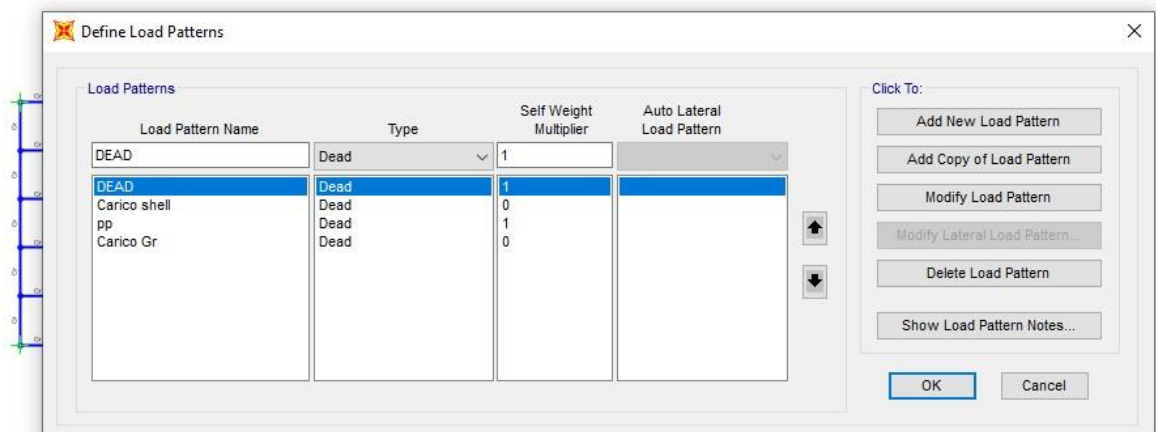
Come carico assegno quello distribuito linearmente, siccome gerarchicamente le travi sono tutte uguali (non ci sono travi principali) per ottenere i KN/m (su tutte le travi escluse quelle di bordo), oltre a moltiplicare il carico distribuito sull'area trovato prima ( $56 \text{ KN/m}^2$ ) per l'interasse del graticcio devo anche dividere per due (perché le travi portano il carico in entrambe le direzioni).

Quindi trovo il carico distribuito linearmente in questo modo:

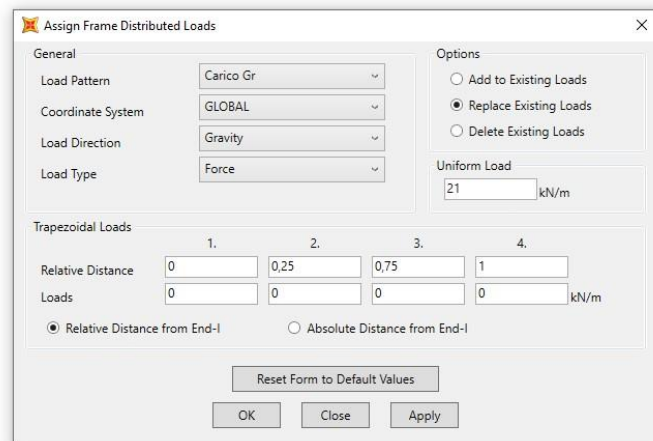
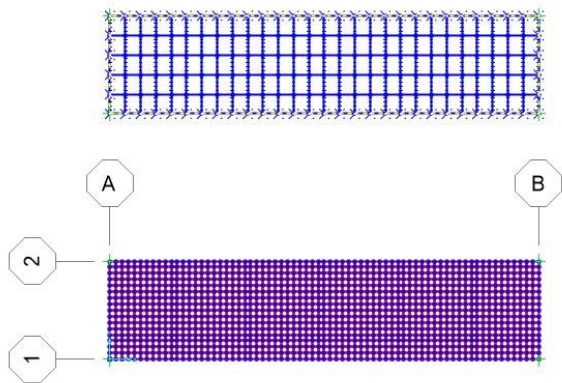
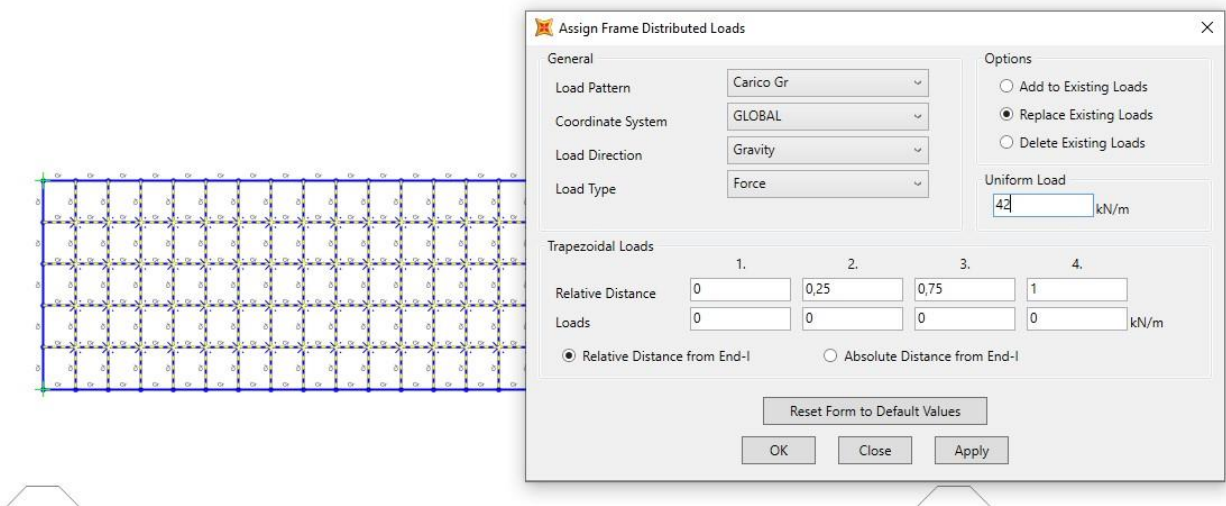
$56 \text{ KN/m}^2 \times 1,5 \text{ m} / 2 = \mathbf{42 \text{ KN/m}}$  (sulle travi centrali)

$42 \text{ KN/m} / 2 = \mathbf{21 \text{ KN/m}}$  (sulle travi di bordo)

Definisco i nuovi carichi, quello del peso proprio (pp) a cui lascio il self weight multiplier = 1, e il carico del graticcio (Carico Gr).



Assegno i carichi: Sulle aste centrali  $42 \text{ KN/m}$  e sulle aste perimetrali  $21 \text{ KN/m}$ .



Devo considerare entrambi i carichi, quello dell'edificio sovrastante e il peso proprio del graticcio. Quindi faccio una combinazione di carico: [Define -> Load Combinations -> Add New Combo -> Metto il Carico Gr e il peso proprio (strutturale) che moltiplico per il coefficiente gamma per carichi strutturali allo SLU = 1,3.



**Load Combination Data** [X]

Load Combination Name (User-Generated)

Notes

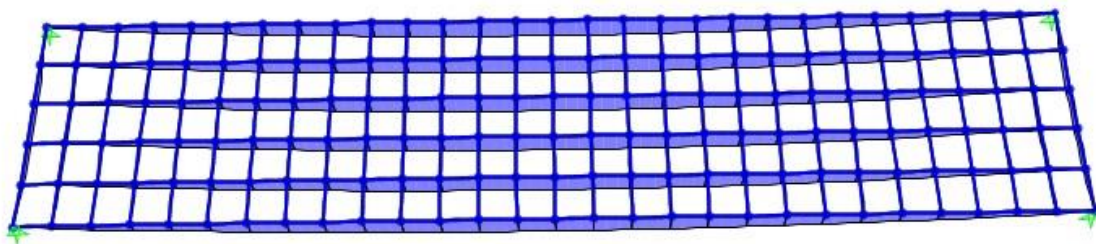
Load Combination Type  ▾

Options

Define Combination of Load Case Results

| Load Case Name | Load Case Type | Scale Factor |
|----------------|----------------|--------------|
| pp ▾           | Linear Static  | 1,3          |
| Carico Gr      | Linear Static  | 1            |
| pp             | Linear Static  | 1,3          |
|                |                |              |

Faccio ripartire l'analisi e vedo i risultati.



Osservo che il momento flettente è ovviamente molto più alto nella direzione della luce maggiore, perché è di molto più grande della luce minore in questo caso specifico (probabilmente non è un'area affine al sistema del graticcio, ma a scopo di esercizio abbiamo usato questa porzione di edificio perché è l'unica in cui c'è stata la possibilità di usufruire di questo sistema strutturale e nel futuro questa esercitazione potrebbe essere utile nel caso pensassimo di riutilizzarlo in questa porzione).

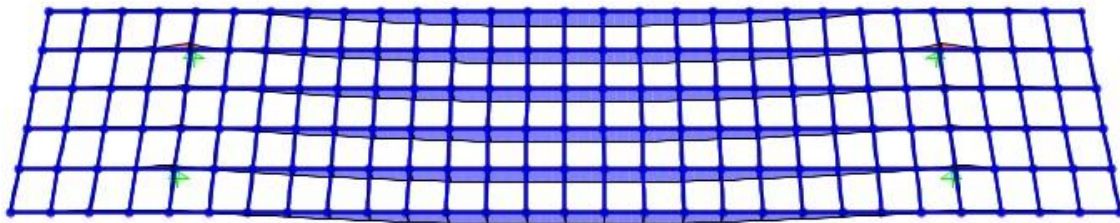
Mi accorgo che il momento massimo nella trave più sollecitata (quella al bordo) è di 26.600 KN\*m. Provo a inserirlo su Excel e vedo che mi verrebbe una trave alta 430 cm e larga 40 cm.

Prima però di pensare ad un eventuale aumento dell'altezza delle travi e a una reiterazione di analisi fino ad arrivare alla convergenza tra aumento del momento e aumento del peso proprio, posso procedere attraverso due procedimenti:

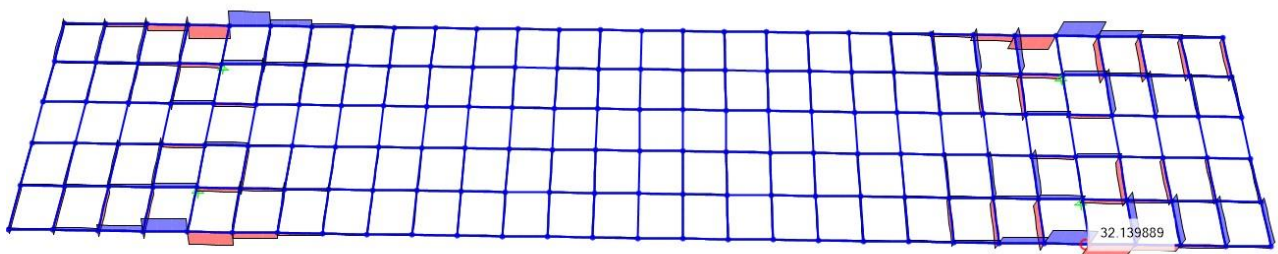
- Scelgo un calcestruzzo ancora più performante (sconsigliato)
- Riduco la luce tra gli appoggi.

Procedo a ridurre la luce provando a spostare i 4 appoggi più verso la metà del graticcio di quattro moduli nella luce lunga e di un modulo nella luce corta.

Vado a vedere i risultati e osservo che il momento massimo è di 11.255 KN. Quindi il graticcio sarebbe dimensionato correttamente rispetto alle prove che ho fatto precedentemente con Excel (undicesima immagine).



A questo punto vado a considerare anche la torsione, vedo i risultati del momento torcente. Prendo quello massimo, lo inserisco sul file Excel della verifica a torsione e mi accorgo che è ampiamente verificata la sezione.



Salvataggio automatico | verifica a torsione CLS | Edoardo Sesti

File Home Inserisci Disegno Layout di pagina Formule Dati Revisione Visualizza Automate Guida

Calibri 11 A<sup>+</sup> A<sup>-</sup> Numero Formattazione condizionale Formatta come tabella Stili cella

Appunti Carattere Allineamento Numeri Celle Modifica Riservatezza

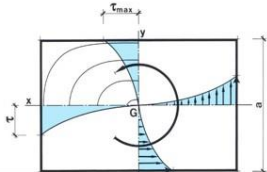
N3 32

**Sezioni circolari**

La tensione tangenziale massima viene calcolata con la relazione:

$$\tau_{max} = \alpha \cdot \frac{M_t}{b \cdot a^2} \quad [9]$$

dove  $a$  e  $b$  rappresentano rispettivamente le dimensioni minore e maggiore della sezione, mentre  $\alpha$  è un coefficiente variabile in funzione del rapporto  $b/a$  e i suoi valori sono riportati nella **tabella 1**, oppure possono essere calcolati con la formula:

$$\alpha = 3 + 1,8 \cdot \frac{a}{b}$$


|   | N           | O                             | P                             | Q                             | R        | S        | T     | U        | V                                 |
|---|-------------|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|----------|----------|-------|----------|-----------------------------------|
|   | $M_t$ (KNm) | $f_{sk}$ (N/mm <sup>2</sup> ) | $f_{tk}$ (N/mm <sup>2</sup> ) | $f_{td}$ (N/mm <sup>2</sup> ) | $a$ (cm) | $b$ (cm) | $a/b$ | $\alpha$ | $\tau_{max}$ (N/mm <sup>2</sup> ) |
| 1 | 32,00       | 60,0                          | 7,50                          | 5,00                          | 40,0     | 350,0    | 0,1   | 3,21     | 0,07                              |
| 2 | 140,00      | 60,0                          | 7,50                          | 5,00                          | 30,0     | 110,0    | 0,3   | 3,49     | 3,86                              |
| 3 | 375,00      | 50,0                          | 6,25                          | 4,17                          | 40,0     | 130,0    | 0,3   | 3,55     | 5,55                              |
| 4 | 444,00      | 50,0                          | 6,25                          | 4,17                          | 40,0     | 130,0    | 0,3   | 3,55     | 6,57                              |
| 5 | 48,00       | 60,0                          | 7,50                          | 5,00                          | 40,0     | 130,0    | 0,3   | 3,55     | 0,71                              |
| 6 | 120,00      | 35,0                          | 4,38                          | 2,92                          | 40,0     | 130,0    | 0,3   | 3,55     | 1,78                              |

Foglio1

Pronto Accessibilità: verifica 100%

In ogni caso a scopo dell'esercizio potrei cambiare comunque le travi perimetrali (quelle più sollecitate a torsione) perché aumentando la rigidezza flessionale prenderebbero più sforzo flessionale e lo diminuirebbero nelle travi centrali.