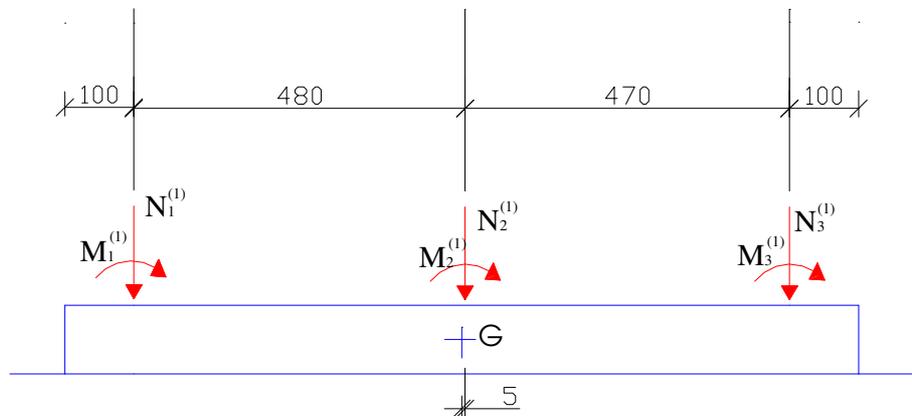


Capitolo 8

Fondazioni

8.1 Predimensionamento della fondazione

Sulla base dell'ipotesi di trave rigida su suolo elastico, si progetterà una fondazione del tipo a trave rovescia, che si sviluppa per tutta la lunghezza del telaio e che sporge di 1 m da un estremo e dall'altro. Per il predimensionamento si farà riferimento ad un valore di riferimento della pressione sul terreno, posta pari a $\sigma_t = 0,2 \text{ MPa} = 200 \text{ kN/m}^2$. Il predimensionamento si esegue con riferimento alla combinazione 1 (carichi verticali) considerando il seguente schema:



Si va quindi a determinare l'eccentricità risultante dal sistema di forze

$$e^{(i)} = \frac{\sum_j M_j^{(i)} + \sum_j N_j^{(i)} \cdot e_j}{\sum_j N_j^{(i)}} = \frac{(27,89 - 1,58 - 26,58) + (-458,70 \cdot 4,75 + 1161,41 \cdot 0,05 + 446,42 \cdot 4,75)}{(458,71 + 1161,41 + 446,42)} = 0,2 \text{ mm}$$

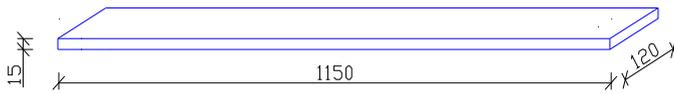
Risultando l'eccentricità molto piccola e approssimabile a 0, il progetto della sezione può essere svolto a sforzo normale:

$$\sigma_t = \frac{N^{(1)}}{A_m} = \frac{N^{(1)}}{B_m L_m}$$

dove $N^{(1)} = \sum_j N_j^{(1)} \cdot 1,10$ al fine di tenere conto del peso della fondazione che in questo caso è incognito.

$$B_m = \frac{N^{(1)}}{L_m \sigma_t} = \frac{(458,71 + 1161,41 + 446,42) \cdot 1,10}{11,50 \cdot 0,2 \cdot 1000} = 0,98 \text{ m}$$

Risulta quindi predimensionato lo strato di magrone che ha quindi dimensioni:



$$\begin{cases} L_m = 11,50m \\ B_m = 1,20m \\ s_m = 0,15m \end{cases}$$

$$\sigma_{\max} = \frac{N^{(1)}}{B_m L_m} = \frac{(458,71 + 1161,41 + 446,42)}{13,80} = 149,75 \text{ kN/m}^2$$

A questo punto è opportuno effettuare una verifica per considerare le altre due combinazioni di carico ($i=2,3$). In questo ambito vanno considerati anche i momenti che devono essere ottenuti come momenti resistenti delle sezioni di base dei pilastri in corrispondenza degli sforzi normali $N_j^{(i)}$ costruendo degli adeguati domini di resistenza o comunque dai noti equilibri alla traslazione e alla rotazione per gli stati limite ultimo.

$$y_c = \frac{N_j^{(i)} + A_s f_{sd} - A' s f_{sd}}{\Psi b f'_{cd}}$$

$$y_{2,2''} = d' + \frac{\frac{f_{sd}}{E_s}}{0,01 + \frac{f_{sd}}{E_s}} \cdot (d - d')$$

$$y_{3,4} = \frac{0,0035}{\frac{f_{sd}}{E_s} + 0,0035} \cdot d$$

Se $y_{2,2''} < y_c < y_{3,4}$

$$M_{Rd} = \Psi b y_c f'_{cd} \left(\frac{h}{2} - \lambda y_c \right) + A' s f_{sd} \left(\frac{h}{2} - d' \right) + A_s f_{sd} \left(\frac{h}{2} - d' \right)$$

Se $y_c < y_{2,2''}$

y_c si ricava dalla risoluzione della seguente equazione di secondo grado

$$0,8b f'_{cd} y_c + \frac{(A' s E_s 0,01) \cdot (y_c - d')}{(d - y_c)} - A_s f_{sd} = N_j^{(i)}$$

$$M_{Rd} = 0,8b f'_{cd} y_c \left(\frac{h}{2} - \lambda y_c \right) + A' s E_s \frac{0,01(y_c - d')}{d - y_c} \left(\frac{h}{2} - d' \right) + A_s f_{sd} \left(\frac{h}{2} - d' \right)$$

Se $y_c \geq y_{3,4}$

y_c si ricava dalla risoluzione della seguente equazione di secondo grado

$$0,8b f'_{cd} y_c + A' s f_{sd} - A_s E_s \frac{0,0035 \cdot (d - y_c)}{y_c} = N_j^{(i)}$$

$$M_{Rd} = 0,8b f'_{cd} y_c \left(\frac{h}{2} - \lambda y_c \right) + A' s f_{sd} \left(\frac{h}{2} - d' \right) + A_s E_s \frac{0,0035}{y_c} (d - y_c) \left(\frac{h}{2} - d' \right)$$

A questo punto, essendo note le distanze e_j dei pilastri rispetto al baricentro della fondazione, si può valutare l'eccentricità complessiva delle azioni in fondazione per entrambe le combinazioni di carico i :

$$e^{(i)} = \frac{\sum_j M_j^{(i)} + \sum_j N_j^{(i)} \cdot e_j}{\sum_j N_j^{(i)}}$$

Sulla base del valore dell'eccentricità così ottenuto è possibile stimare la massima tensione sul terreno:

1° caso: $e_j^{(i)} \leq L/6$

$$\sigma_{\max} = \frac{\sum_j N_j^{(i)}}{B_m \cdot L_m} + 6 \frac{\sum_j M_j^{(i)} + N_j^{(i)} \cdot e_j}{B_m \cdot L_m^2} \leq \sigma_t$$

2° caso: $e_j^{(i)} > L/6$

$$\sigma_{\max} = 2 \frac{\sum_j N_j^{(i)}}{3 \cdot B_m \left(\frac{L_m}{2} - e^{(i)} \right)} \leq \sigma_t$$

In entrambi i casi bisogna verificare che tale tensione non superi il valore nominale di riferimento 0,2 MPa;

- in caso negativo, bisogna aumentare le dimensioni della base d'impronta della fondazione;
- in caso affermativo si può procedere come esposto nel seguito per il dimensionamento della fondazione, il calcolo delle armature e la verifica a flessione e taglio.

Combinazione 2 (V+O)

$$N_1^{(2)} = 156,38 \text{ kN} \quad \Rightarrow \quad y_c = 7,28 \text{ cm} \quad \Rightarrow \quad M_{Rd} = 178,78 \text{ kNm}$$

$$N_2^{(2)} = 668,03 \text{ kN} \quad \Rightarrow \quad y_c = 10,84 \text{ cm} \quad \Rightarrow \quad M_{Rd} = 397,51 \text{ kNm}$$

$$N_3^{(2)} = 366,13 \text{ kN} \quad \Rightarrow \quad y_c = 10,40 \text{ cm} \quad \Rightarrow \quad M_{Rd} = 220,46 \text{ kNm}$$

$$e^{(2)} = \frac{\sum_j M_j^{(2)} + \sum_j N_j^{(2)} \cdot e_j}{\sum_j N_j^{(2)}} = \frac{(178,78 + 397,51 + 220,46) + (-156,38 \cdot 4,75 + 668,03 \cdot 0,05 + 366,13 \cdot 4,75)}{(156,38 + 668,03 + 366,13)} = 1,534 \text{ m}$$

essendo $e^{(2)} < L/6 = 1,917 \text{ m}$

$$\sigma_{\max} = \frac{\sum_j N_j^{(2)}}{A_m} + \frac{\sum_j (M_j^{(2)} + N_j^{(2)} \cdot e_j) \cdot 6}{B_m \cdot L_m^2} = \frac{1190,54 \text{ kN}}{1,20 \cdot 11,50 \text{ m}^2} + \frac{10958,78 \text{ kNm}}{158,70 \text{ m}^3} = 155,32 \text{ kN/m}^2$$

$$\sigma_{\min} = \frac{\sum_j N_j^{(2)}}{A_m} - \frac{\sum_j (M_j^{(2)} + N_j^{(2)} \cdot e_j) \cdot 6}{B_m \cdot L_m^2} = \frac{1190,54 \text{ kN}}{1,20 \cdot 11,50 \text{ m}^2} - \frac{10958,78 \text{ kNm}}{158,70 \text{ m}^3} = 17,22 \text{ kN/m}^2$$

Verifica soddisfatta

Combinazione 3 (V-O)

$$N_1^{(3)} = 369,45 \text{ kN} \quad \Rightarrow \quad y_c = 10,50 \text{ cm} \quad \Rightarrow \quad M_{Rd} = -221,01 \text{ kNm}$$

$$N_2^{(3)} = 675,60 \text{ kN} \quad \Rightarrow \quad y_c = 10,97 \text{ cm} \quad \Rightarrow \quad M_{Rd} = -398,74 \text{ kNm}$$

$$N_3^{(3)} = 145,50 \text{ kN} \quad \Rightarrow \quad y_c = 7,17 \text{ cm} \quad \Rightarrow \quad M_{Rd} = -176,50 \text{ kNm}$$

$$e^{(2)} = \frac{\sum_j M_j^{(2)} + \sum_j N_j^{(2)} \cdot e_j}{\sum_j N_j^{(2)}} = \frac{(-221,01 - 398,74 - 176,50) + (-369,45 \cdot 4,75 + 675,60 \cdot 0,05 + 145,50 \cdot 4,75)}{(369,45 + 675,60 + 145,50)} = -1,534 \text{ m}$$

essendo $e^{(2)} < L/6 = 1,917 \text{ m}$

$$\sigma_{\max} = \frac{\sum_j N_j^{(2)}}{A_m} + \frac{\sum_j (M_j^{(2)} + N_j^{(2)} \cdot e_j) \cdot 6}{B_m \cdot L_m^2} = \frac{1190,55 \text{ kN}}{1,20 \cdot 11,50 \text{ m}^2} + \frac{10957,40 \text{ kNm}}{158,70 \text{ m}^3} = 155,32 \text{ kN/m}^2$$

$$\sigma_{\max} = \frac{\sum_j N_j^{(2)}}{A_m} - \frac{\sum_j (M_j^{(2)} + N_j^{(2)} \cdot e_j) \cdot 6}{B_m \cdot L_m^2} = \frac{1190,55 \text{ kN}}{1,20 \cdot 11,50 \text{ m}^2} - \frac{10957,40 \text{ kNm}}{158,70 \text{ m}^3} = 17,23 \text{ kN/m}^2$$

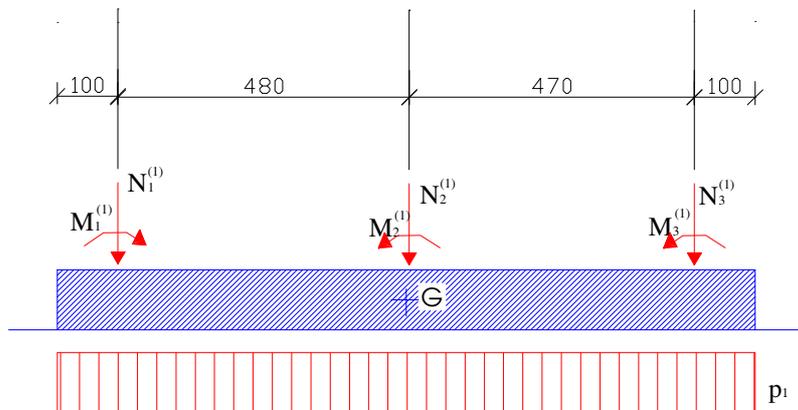
Verifica soddisfatta

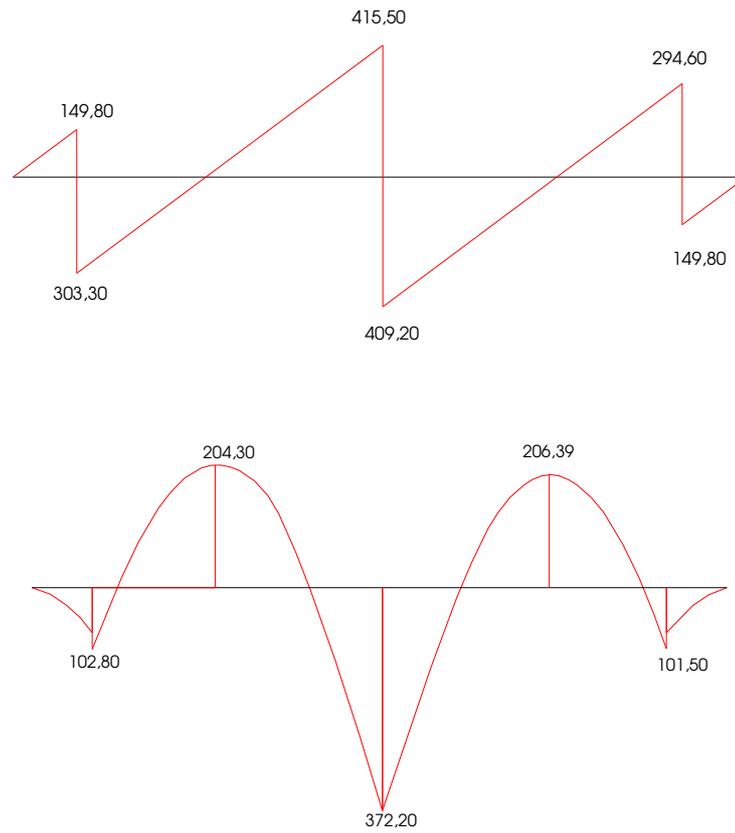
La trave avrà una sezione a T con base B = 100 cm, base dell'anima b = 60 cm.

8.2 – Analisi delle sollecitazioni

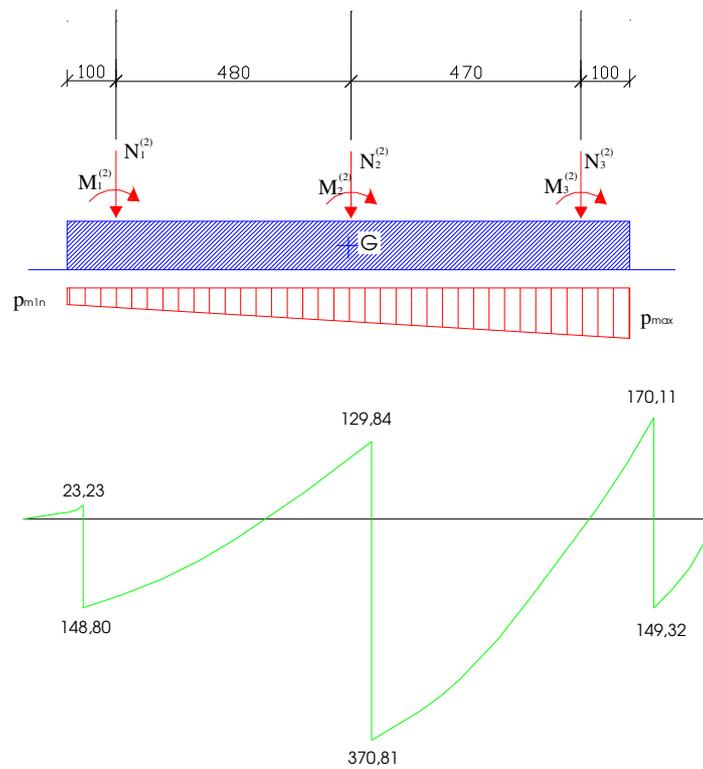
Nota a questo punto la distribuzione delle reazioni del terreno per ogni combinazione di carico, è possibile andare a determinare le caratteristiche della sollecitazione per la trave continua di fondazione e farne l'involuppo per le tre combinazioni di carico al fine di determinare le sollecitazioni di progetto.

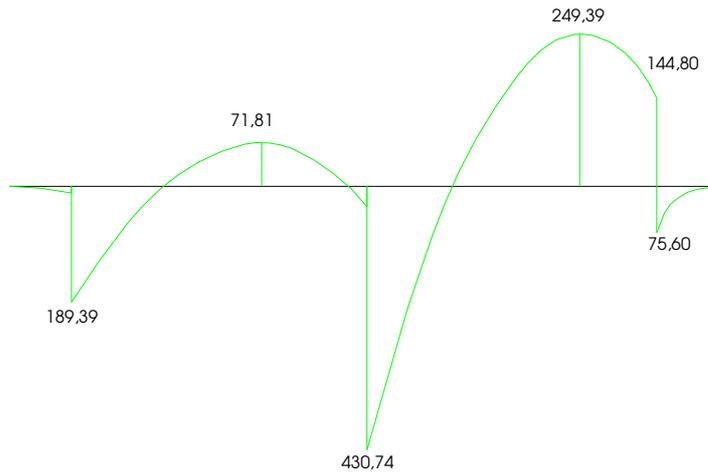
Combinazione 1 (V)



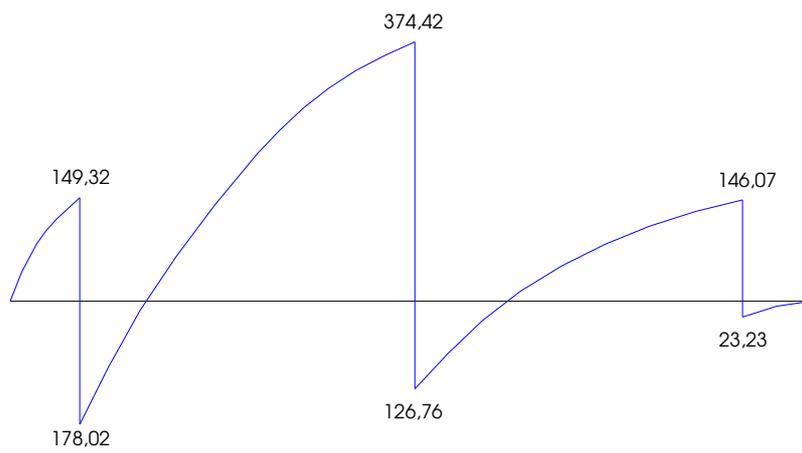
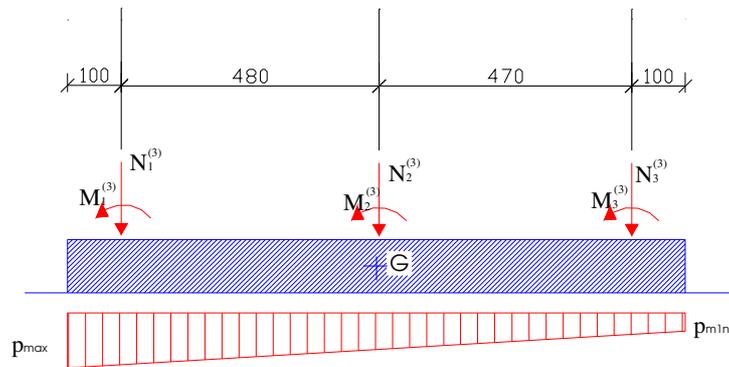


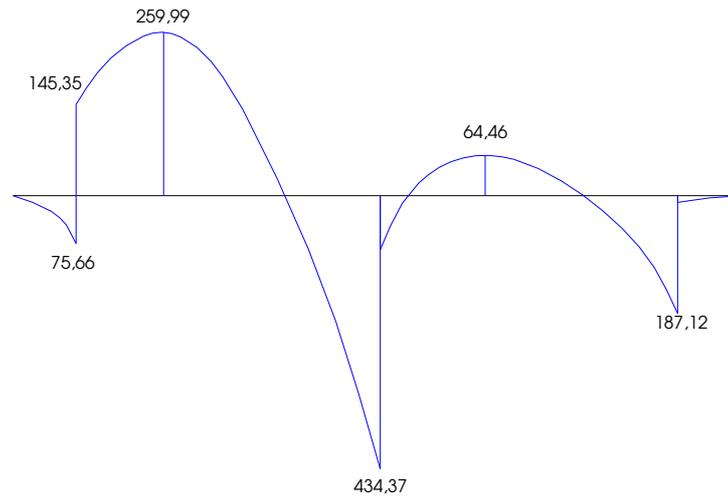
Combinazione 2 (V+O)



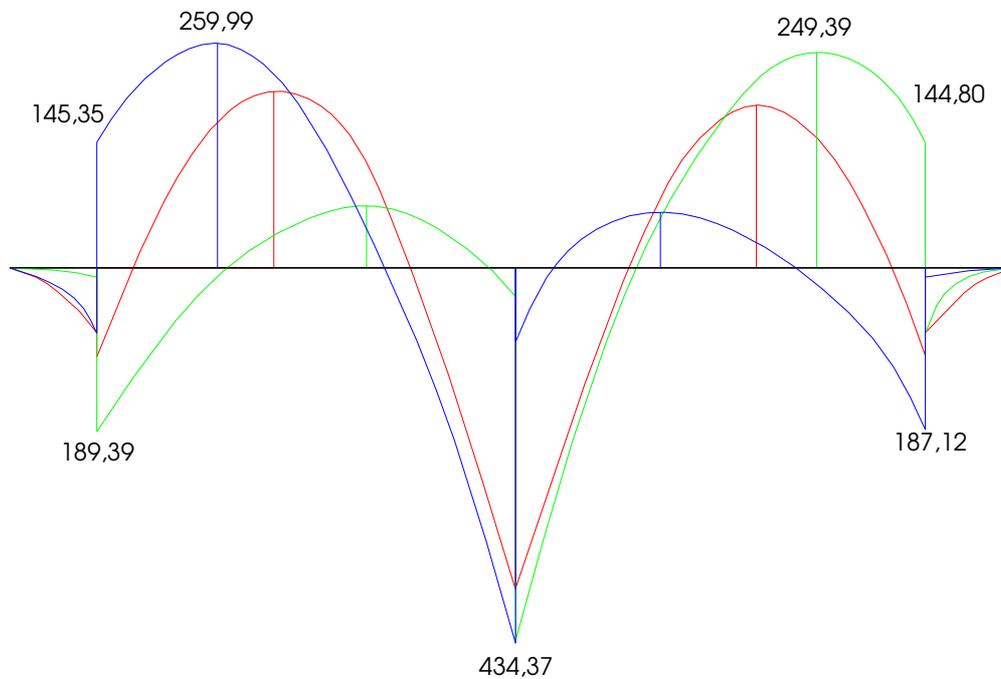


Combinazione 3 (V+O)





Andando a fare l'involuppo dei momenti risulta:



8.3 - Progetto della sezione

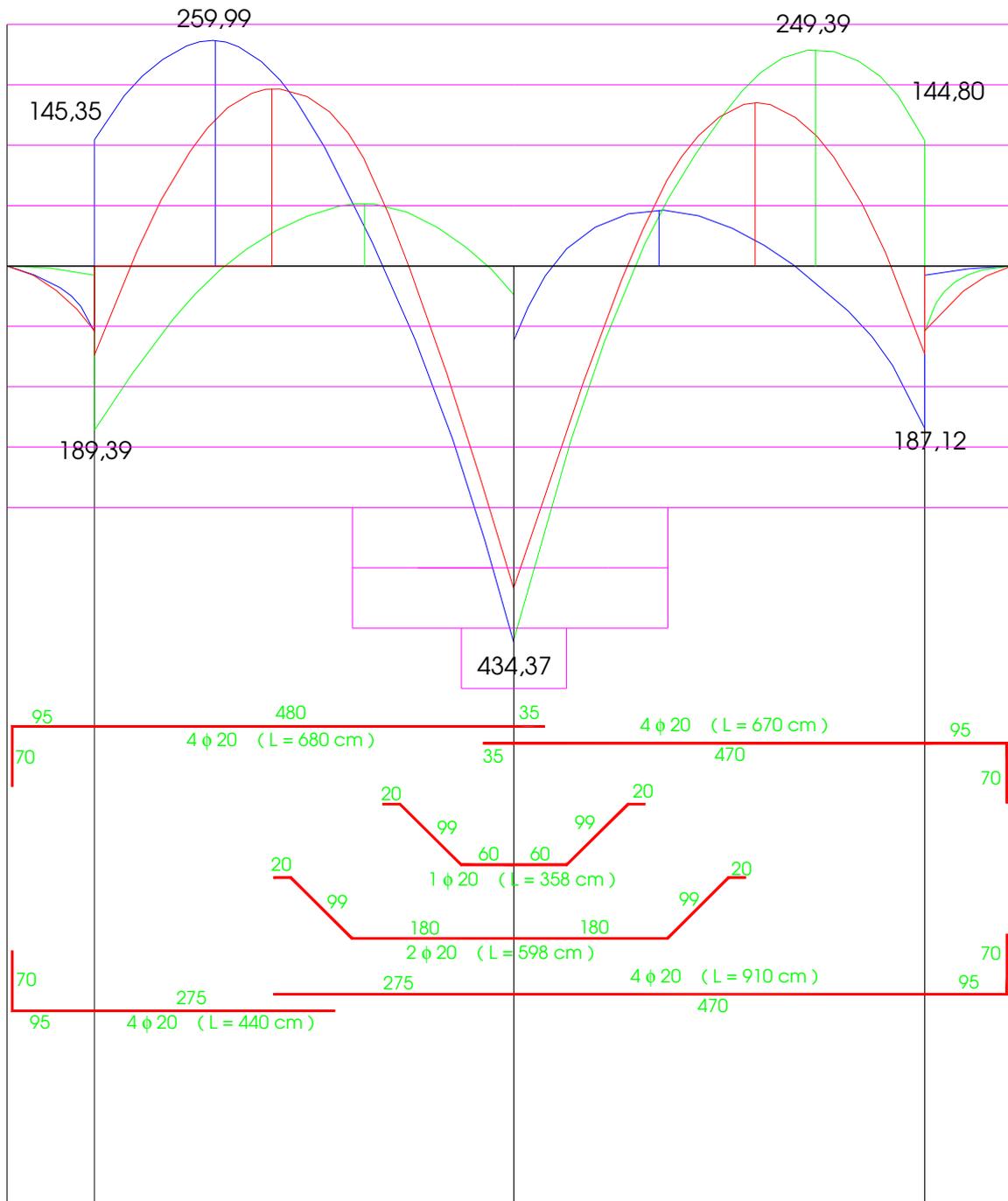
Dall' involuppo dei momenti si vede che $M_{\max} = 434,37$ kNm;

$$\text{ponendo } \begin{cases} \xi = 0,25 \\ d'/h = 0,05 \Rightarrow [r_u = 0,2302 \\ \rho = 0 \end{cases} \quad \text{da cui } H = r_u \sqrt{\frac{M}{B}} = 61,94 \text{ cm} \Rightarrow 80 \text{ cm}$$

8.4 - Progetto delle armature a flessione

Il progetto delle armature a flessione viene eseguito con gli stessi criteri adoperati per le travi di piano da cui deriva il seguente prospetto:

sez.	M_{max} (kNm)	M_{min} (kNm)	As sup. (cm ²)	As inf. (cm ²)	Ferri superiori	Ferri inferiori	As sup. (cm ²)	As inf. (cm ²)
1	189,39	-145,35	6,06	7,89	3 Φ 20	3 Φ 20	9,42	9,42
1-2	-	-259,99	11,07	-	4 Φ 20	3 Φ 20	12,56	9,42
2	434,37	-	-	18,84	3 Φ 20	7 Φ 20	9,42	21,98
2-3	-	-249,39	10,51	-	4 Φ 20	3 Φ 20	12,56	9,42
3	187,12	-144,80	6,04	7,84	3 Φ 20	3 Φ 20	9,42	9,42



Verifica - Calcolo dei momenti resistenti

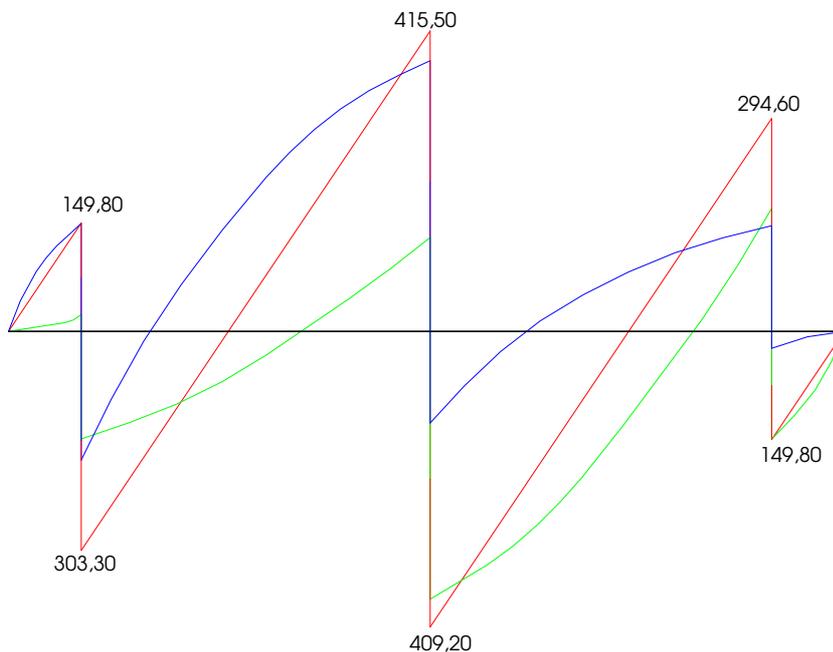
sez.	M_{max} (kNm)	M_{min} (kNm)	Ferri superiori	Ferri inferiori	As sup. (cm ²)	As inf. (cm ²)	$M_{Rd}^{(+)}$ (kNm)	$M_{Rd}^{(-)}$ (kNm)
1	189,39	-145,35	4 Φ 20	4 Φ 20	12,56	12,56	294,84	299,58
1-2	-	-259,99	4 Φ 20	4 Φ 20	12,56	12,56	294,84	299,58
2	434,37	-	4 Φ 20	7 Φ 20	12,56	21,98	507,09	299,63
2-3	-	-249,39	4 Φ 20	4 Φ 20	12,56	12,56	294,84	299,58
3	187,12	-144,80	4 Φ 20	4 Φ 20	12,56	12,56	294,84	299,58

Nella sezione di minima armatura sono presenti 4 Φ 20 quindi un $A_s = 12,56 \text{ cm}^2$

$$\frac{A_s}{A_c} = \frac{12,56}{(100 \cdot 30) + (60 \cdot 50)} = 0,21\% > \mathbf{0,2\%} \quad \underline{\underline{\text{Verifica soddisfatta}}}$$

8.5 - Progetto delle armature a taglio

Così come per la flessione, anche per le armature a taglio si applicano le stesse relazioni già viste a proposito delle travi del telaio; l'unica differenza consiste nel non trascurare il contributo dei meccanismi ausiliari (spinotto e ingranamento). Si procede quindi con l'involuppo dei diagrammi del taglio.



Negli appoggi dovrà risultare $A_s \geq \frac{V_{Sd}}{f_{sd}}$ in quanto l'armatura predisposta per flessione dovrà essere

in grado di resistere alle sollecitazioni taglianti indotte dal meccanismo di Morsch.

✓ appoggio 1 \Rightarrow $A_s = 12,56 \text{ cm}^2$
 $V_{Sd} = 303,30 \text{ kN}$ $A_s = \frac{303300 \text{ N}}{326 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}} = 9,30 \text{ cm}^2$ **verificato**

✓ appoggio 2 \Rightarrow $A_s = 12,56\text{cm}^2$ $V_{sd} = 415,50\text{kN}$ $A_s = \frac{415500\text{N}}{326\text{N/mm}^2} = 12,47\text{cm}^2$ verificato

✓ appoggio 3 \Rightarrow $A_s = 12,56\text{cm}^2$ $V_{sd} = 294,60\text{kN}$ $A_s = \frac{294600\text{N}}{326\text{N/mm}^2} = 9,04\text{cm}^2$ verificato

Viene riassunto di seguito il calcolo delle staffe nelle sezioni più significative della trave:

Sezione 1 (fino a $2h=160\text{ cm}$)

$V_{Rd1} = 129,48\text{ kN}$	$V_{Rd2} = 1750,95\text{ kN}$
$V_{cd} = 272,7\text{ kN}$	$V_{sd} = 151,65\text{ kN}$
$V_{sd} = 303,30\text{ kN}$	
$b_w = 600\text{ mm}$	
$d = 750\text{ mm}$	
$f_{cd} = 12,97\text{ N/mm}^2$	
$f'_{cd} = 11\text{ N/mm}^2$	
$f_{ctd} = 1,01\text{ N/mm}^2$	
$r = 1$	
$A_s = 12,56\text{ cm}^2$	
$\rho_l = 0,00279$	
$\delta = 1$	
$1+\cot\alpha = 1$	
$n_b = 2$	
$A_{st} = 78\text{ mm}^2$	
$f_{sd} = 326\text{ N/mm}^2$	
$p_{st} = 22,64\text{ cm}$	
$A_{st,min} = 7,125\text{ cm}^2/\text{m}$	
$p_{st,max} = 12\text{ cm}$	
passo effettivo	12,00 cm
Ast effettiva	13,00 cm ² /m

Sezione 2 (fino a $2h=160\text{ cm}$)

$V_{Rd1} = 141,37\text{ kN}$	$V_{Rd2} = 1750,95\text{ kN}$
$V_{cd} = 272,7\text{ kN}$	$V_{sd} = 207,75\text{ kN}$
$V_{sd} = 415,50\text{ kN}$	
$b_w = 600\text{ mm}$	
$d = 750\text{ mm}$	
$f_{cd} = 12,97\text{ N/mm}^2$	
$f'_{cd} = 11\text{ N/mm}^2$	
$f_{ctd} = 1,01\text{ N/mm}^2$	
$r = 1$	
$A_s = 21,98\text{ cm}^2$	
$\rho_l = 0,00488$	
$\delta = 1$	
$1+\cot\alpha = 1$	
$n_b = 2$	
$A_{st} = 78\text{ mm}^2$	
$f_{sd} = 326\text{ N/mm}^2$	
$p_{st} = 16,52\text{ cm}$	
$A_{st,min} = 7,125\text{ cm}^2/\text{m}$	
$p_{st,max} = 12\text{ cm}$	
passo effettivo	12,00 cm
Ast effettiva	13,00 cm ² /m

Sezione 3 (fino a $2h=160$ cm)

V_{sd}	294,60 kN
b_w	600 mm
d	750 mm
f_{cd}	12,97 N/mm ²
f'_{cd}	11 N/mm ²
f_{ctd}	1,01 N/mm ²
r	1
A_s	12,56 cm ²
ρ_l	0,00209
δ	1
$1+\cot\alpha$	1

$V_{Rd1}= 129,48$ kN	$V_{Rd2}= 1750,95$ kN
----------------------	-----------------------

$V_{cd}= 272,7$ kN	$V_{sd}= 147,3$ kN
--------------------	--------------------

n_b	2	
A_{st}	78	mm ²
f_{sd}	326	N/mm ²
p_{st}	23,30	cm

$A_{st,min}$	7,125	cm ² /m
$p_{st,max}$	12	cm

passo effettivo	12,00	cm
A_{st} effettiva	13,00	cm²/m

Per i tratti intermedi della trave di fondazione si considerano staffe Φ 10 con passo 20 cm in quanto dai calcoli risulta un che l'elemento restrittivo per il progetto dell'armatura a taglio è data dall'area minima di staffe prevista dalla normativa. Tale minimo normativo viene rispettato con l'inserimento della suddetta armatura.

Per quanto non riportato in relazione si rimanda alle tavole di progetto.