

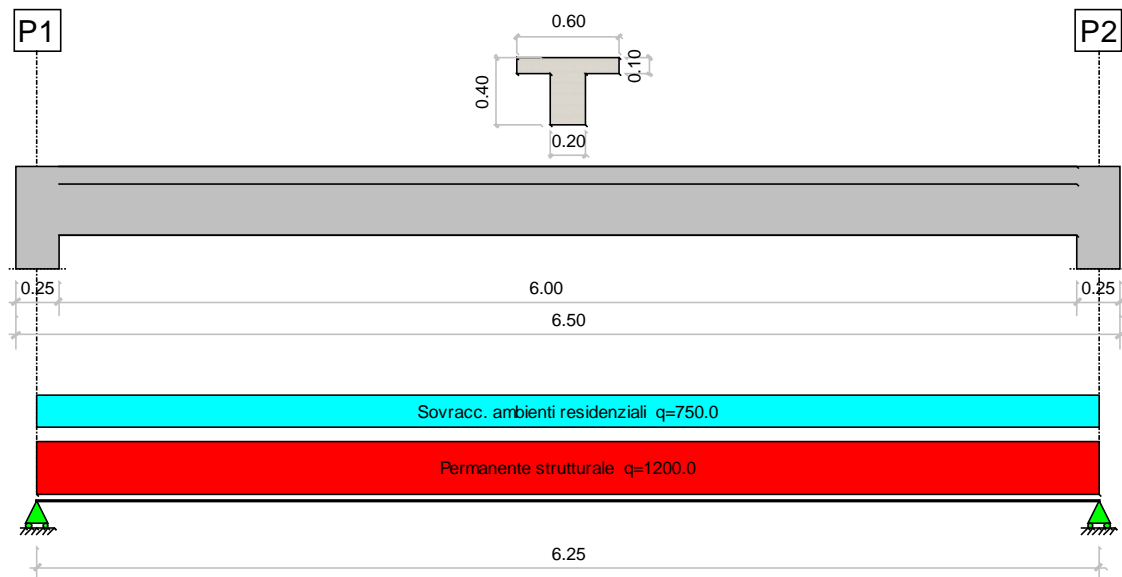
MODULO TLIM

TEST CASES

1.1 TC TLIM 1 – Trave ad una campata

1.1.1 Dati geometrici

Luce tra gli appoggi = 6.25 [m]
 Peso proprio trave = 300 [daN/m]
 Carico permanente = 1200 [daN/m]
 Carico variabile = 750 [daN/m]



Posizione armature: asse barre a 4 [cm] dai lembi, sia inferiormente che superiormente.

1.1.2 Materiali

Calcestruzzo C25/30 $\gamma=1.5$ $f_{cd}=141.1$ [daN/cm²]
 Acciaio B450C $\gamma=1.15$ $f_{yk}=3913$ [daN/cm²]

1.1.3 Dimensionamento delle armature

Si procede a determinare la quantità di armatura longitudinale inferiore e superiore e la quantità di armatura trasversale (staffe a 90°) mantenendo invariati tutti gli altri dati, cioè geometria e caratteristiche dei materiali. Le sollecitazioni allo SLU sono:

$$\begin{aligned}
 q^* &= (3+12) \cdot 1.3 + 7.5 \cdot 1.5 = 30.75 \text{ [daN/cm]} \\
 M_{l/2} &= 1/8 \cdot 6.25^2 \cdot q^* = 1501465 \text{ [daN}\cdot\text{cm]} \\
 V_{x=0} &= 6.25/2 \cdot q^* = 9609 \text{ [daN]} \\
 M_{x=270} &= 9609 \cdot 270 - 30.75 \cdot 270^2/2 = 1473700 \text{ [daN}\cdot\text{cm]} \\
 V_{x=270} &= 9609 - 30.75 \cdot 270 = 1307 \text{ [daN]}
 \end{aligned}$$

1.1.3.1 Flessione in mezzeria

Viene allestito un foglio di calcolo con la determinazione della posizione dell'asse neutro e del conseguente momento ultimo della sezione con il metodo semplificato dello stress-block.

fyk	4500
fck,cub	300
B stress block	60
d _{utile}	36.000

211.65	3913.043	fyd
	141.1	fcd

As[cm ²]	Xd	Mr1	Mr2
3.00	1.733	414470	414470
4.00	2.311	549009	549009
5.00	2.889	681740	681740
5.50	3.178	747427	747427
6.00	3.467	812662	812662
6.50	3.755	877445	877445
7.35	4.247	986538	986538
7.50	4.333	1005654	1005654
8.00	4.622	1069080	1069080
8.50	4.911	1132054	1132054
10.00	5.778	1318264	1318264
11.55	6.673	1506405	1506405

Interpolando tra le ultime 2 righe di tabella si ottiene un'area di acciaio pari a 11.51 [cm²]. L'asse neutro rimane nello spessore della piattabanda per cui questo risultato può considerarsi attendibile. Il taglio, essendo nullo, non richiede armatura longitudinale in mezzeria.

1.1.3.2 Taglio all'appoggio

Il taglio massimo sopportabile dalla sezione è quello con cotθ=1, ovvero con bielle compresse inclinate di 45°:

$$V_{Rd} = \alpha_{cw} \cdot b_w \cdot z \cdot (v_1 \cdot f_{cd}) \cdot \cot \vartheta / (1 + \cot^2 \vartheta)$$

$$V_{Rd} = 1.0 \cdot 20 \cdot (0.9 \cdot 36) \cdot 0.5 \cdot 141.1 \cdot 1/2 = 22858 \text{ [daN]} \text{ (> 9609 --> OK)}$$

$$\theta = \frac{1}{2} \arcsin(2 \cdot 9609 / (1 \cdot 0.5 \cdot 141.1 \cdot 20 \cdot 0.9 \cdot 36)) = 0.2169 \text{ [rad]} \text{ --> } 12.44^\circ$$

da cui:

$$\cot \theta = 4.53 \text{ ----> } 2.5 \text{ (4.1.16-NTC2008)}$$

e, dalla (4.1.18-NTC2008),(6.8-EN1992-1-1) si ottiene la quantità di armatura trasversale che porta alla rottura contemporanea di staffe d'acciaio e bielle compresse di calcestruzzo:

$$A_{sw}/s = 9609 / (0.9 \cdot 36 \cdot 3913 \cdot 2.5) = 0.0303 \text{ [cm}^2\text{/cm]}$$

mentre l'armatura longitudinale inferiore necessaria a taglio risulta:

$$A_{sl} = 0.5 \cdot 9609 \cdot 2.5 / 3913 = 3.070 \text{ [cm}^2\text{]}$$

Il momento flettente, essendo nullo, non richiede armatura longitudinale all'appoggio.

1.1.3.3 Sezione a 270 cm dall'appoggio [42.5 dalla mezzeria]

Utilizzando la tabella prima illustrata ed interpolando tra i valori dei momenti flettenti ultimi si trova un'armatura longitudinale inferiore pari a 11.28 [cm²].

$$\cot \theta = 2.5$$

$$A_{sw}/s = 1307/(0.9 \cdot 36 \cdot 3913 \cdot 2.5) = 0.0041 \text{ [cm}^2/\text{cm]}$$

$$A_{sl} = 0.5 \cdot 1307 \cdot 2.5 / 3913 = 0.4175 \text{ [cm}^2\text{]}$$

L'armatura longitudinale inferiore totale risulta perciò:

$$A_{sl,tot} = 11.28 + 0.42 = 11.70 \text{ [cm}^2\text{]}$$

1.1.3.4 Sezione di mezzeria agli SLE

Agli Stati Limite di Esercizio il massimo momento flettente in mezzeria vale:

$$M_{l/2,SLE} = 1/8 \cdot 625^2 \cdot (3 + 12 + 7.5) = 1098632 \text{ [daN}\cdot\text{cm]}$$

Una valutazione approssimata dell'armatura necessaria è:

$$A_{sl} = 1098632 / (0.8 \cdot 0.9 \cdot 36 \cdot 3913) = 9.63 \text{ [cm}^2\text{]}$$

1.1.3.5 Zona che non necessita di armatura a taglio

Le normative indicano un modo per quantificare il taglio ultimo $V_{Rd,c}$ di sezioni non dotate di armatura a taglio ma solo di armatura longitudinale superiore e/o inferiore.

Nell'esempio considerato si ha:

$$b_w \cdot d = 72000 \text{ [mm}^2\text{]} \quad k = 1 + \sqrt{\frac{200}{360}} = 1.745 \quad f_{ck} = 24.9 \text{ [MPa]}$$

Il rapporto ρ_l dipende dalla quantità di armatura longitudinale tesa necessaria per flessione, e varia lungo la campata variando conseguentemente il valore di $V_{Rd,c}$. Nella zona vicino alla mezzeria il taglio ultimo sarà superiore al taglio agente V_{Ed} , mentre verso gli appoggi sarà il contrario.

Per tentativi viene determinata l'ascissa x alla quale il taglio ultimo della sezione senza armatura specifica è superato dal taglio massimo agente.

Ascissa $x=162$ cm dall'appoggio:

$$V_{Ed} = 9609 - 30.75 \cdot 162 = 4628 \text{ [daN]}$$

$$M_{Ed} = 9609 \cdot 162 - 30.75 \cdot 162^2 / 2 = 1153221 \text{ [daN}\cdot\text{cm]}$$

Con il metodo dello stress-block si ottiene una quantità di armatura longitudinale inferiore pari a $8.66 \text{ [cm}^2\text{]}$, e il corrispondente $\rho_l = 0.012$.

Con questi valori si ha:

$$V_{Rd,c} = \frac{0.18}{1.5} \cdot 1.745 \cdot (100 \cdot 0.012 \cdot 24.9)^{1/3} \cdot 72000 = 46785 \text{ [N]} \rightarrow 4678 \text{ [N]} \approx V_{Ed}$$

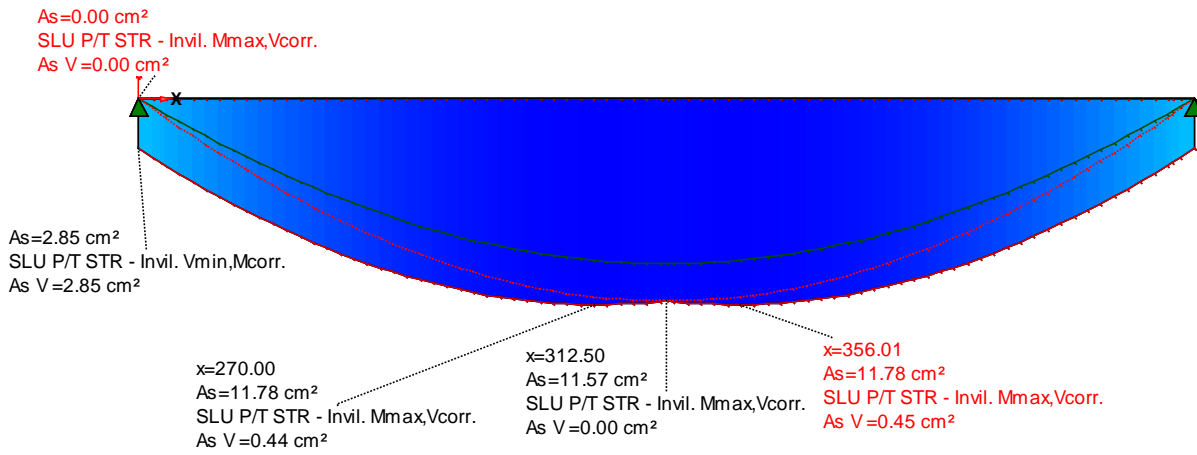
La zona che non necessita di armatura a taglio, fatto salvi i quantitativi minimi da normativa, è quella centrale di lunghezza $625 - 2 \cdot 162 = 301 \text{ [cm]}$.

1.1.4 Risultati con TLIM

I grafici seguenti riportano nelle etichette le grandezze sopra calcolate. I valori sono in buon accordo.

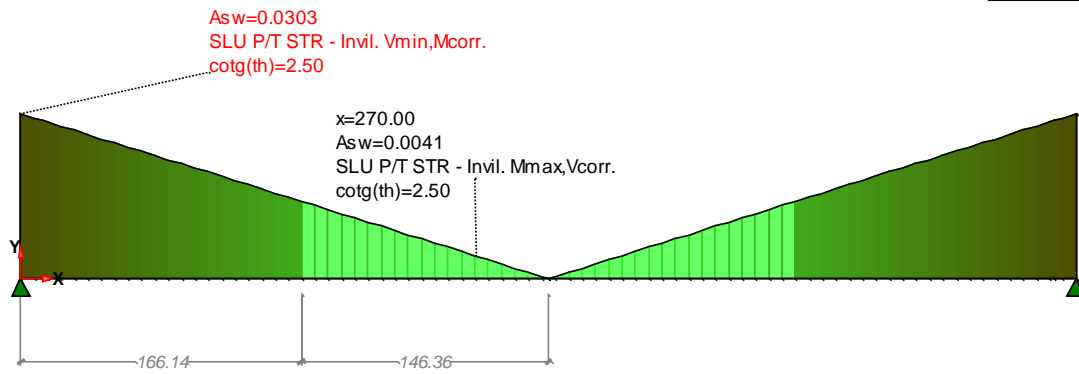
● Campata 1

Area barre longitudinali cm²



● Campata 1

Area staffe cm²/cm



1.2 TC TLIM 2 – Trave continua a 2 campate

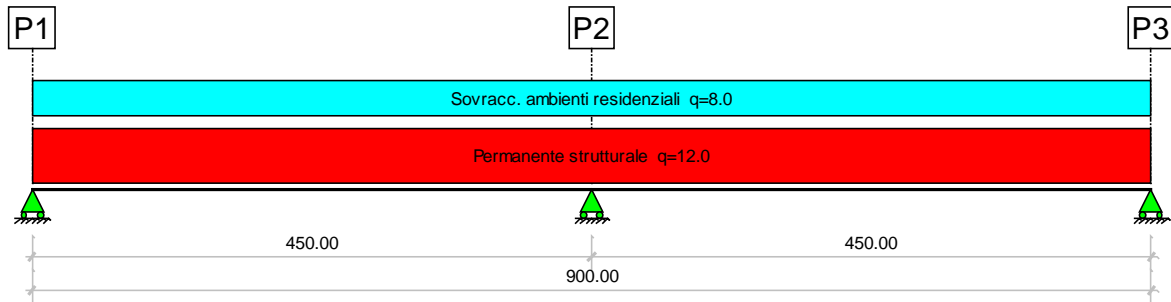
1.2.1 Dati geometrici

numero campate: 2

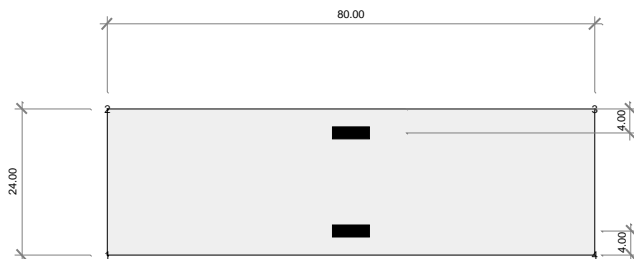
Luci campate: 450 [cm]

Carico permanente = 12 [daN/cm]

Carico variabile = 8 [daN/cm]



Sezione trasversale:



1.2.2 Materiali

Calcestruzzo C25/30 $\gamma=1.5$ $f_{cd}= 141.1$ [daN/cm²]

Acciaio B450C $\gamma=1.15$ $f_{yk}=3913$ [daN/cm²]

1.2.3 Dimensionamento delle armature

1.2.3.1 Sezione di Mmax in campata 1

Il momento flettente SLU P/T risulta $M_{Ed}=540322$ [daN-cm].

Adottando il metodo dello stress-block si ottiene il seguente rapporto armatura longitudinale-momento ultimo:

As[cm ²]	Xd	Mr1	Mr2	b _w
2.00	0.867	153809	153809	
3.00	1.300	228678	228678	
4.00	1.733	302192	302192	
4.50	1.950	338440	338440	
5.00	2.167	374348	374348	
5.50	2.383	409918	409918	
6.00	2.600	445149	445149	
6.50	2.817	480040	480040	
7.00	3.033	514592	514592	
7.38	3.198	540625	540625	
8.00	3.467	582680	582680	
9.00	3.900	649411	649411	
10.00	4.333	714785	714785	
11.00	4.767	778803	778803	
12.00	5.200	841464	841464	
12.20	5.286	853834	853834	
13.00	5.633	902769	902769	
14.00	6.066	962717	962717	
15.00	6.500	1021309	1021309	

fyk	4500
fck,cub	300
B stress block	80
d _{utile}	20.000
b _w	80.000

211.65	3913.043	f _{yd}
	141.1	f _{cd}

da cui si evince che l'armatura minima in campata per garantire la sicurezza a rottura a flessione della sezione è pari a 7.38 [cm²].

In questa stessa sezione, nella combinazione di carico che determina il momento suesposto, il valore del taglio risulta trascurabile per cui si può considerare nulla la quantità di armatura longitudinale richiesta dal taglio.

1.2.3.2 Sezione all'appoggio laterale

Il taglio massimo risulta $V_{Ed} = 6048$ [daN], con momento nullo.

Il massimo valore della resistenza a taglio si ha quando $\cot\theta = 1$, ovvero con bielle compresse inclinate di 45°:

$$V_{Rd} = \alpha_{cw} \cdot b_w \cdot z \cdot (v_1 \cdot f_{cd}) \cdot \cot\theta / (1 + \cot^2\theta)$$

$$V_{Rd} = 1.0 \cdot 80 \cdot (0.9 \cdot 20) \cdot 0.5 \cdot 141.1 \cdot 1/2 = 50796 \text{ [daN]} \quad (> 6048 \rightarrow \text{OK})$$

$$\theta = \frac{1}{2} \arcsin(2 \cdot 6048 / (1 \cdot 0.5 \cdot 141.1 \cdot 80 \cdot 0.9 \cdot 20)) = 3.42^\circ \quad \rightarrow \quad \cot\theta = 2.5$$

$$A_{sw}/s = 6048 / (0.9 \cdot 20 \cdot 3913 \cdot 2.5) = 0.03435 \text{ [cm}^2/\text{cm]}$$

mentre l'armatura longitudinale inferiore necessaria a taglio risulta:

$$A_{sl} = 0.5 \cdot 6048 \cdot 2.5 / 3913 = 1.932 \text{ [cm}^2\text{]}$$

1.2.3.3 Sezione sull'appoggio centrale

Il momento minimo vale -856575 [daN·cm].

Il taglio massimo vale 9517 [daN].

Le combinazioni elaborate dal preprocessore sono 4:

combinazione	M	V
1	-425250	4725

2	-856575	9517
3	-425250	9517
4	-856575	4725

Poichè la sezione possiede una simmetria alla flessione valgono la tabella di paragrafo 1.2.3.1 e le formule viste al paragrafo precedente con la sola differenza del valore del taglio.

Per la flessione si ricava un'area di armatura longitudinale superiore pari a 12.24 [cm²]

Per quanto riguarda il taglio si prende in considerazione il valore massimo, che è uguale immediatamente a sinistra e a destra dell'appoggio teorico. Con questa ipotesi risulta:

$$\theta = \frac{1}{2} \arcsin(2 \cdot 9517 / (1 \cdot 0.5 \cdot 141.1 \cdot 80 \cdot 0.9 \cdot 20)) = 0.09424 \text{ [rad]} \rightarrow 3.42 \text{ [}^\circ\text{]} \rightarrow \cot\theta = 2.5$$

$$A_{sw}/s = 9517 / (0.9 \cdot 20 \cdot 3913 \cdot 2.5) = 0.05405 \text{ [cm}^2\text{/cm]}$$

mentre l'armatura longitudinale inferiore necessaria a taglio risulta:

$$A_{sl} = 0.5 \cdot 9517 \cdot 2.5 / 3913 = 3.04 \text{ [cm}^2\text{]}$$

NOTA A rigore il taglio da assumere nel calcolo è rappresentato dal più piccolo valore presente nel tratto che va dall'appoggio verso il centro della campata per una lunghezza $l = z \cdot \cot\theta$, cfr EN1992-1-1-6.2.3(5); a favore di sicurezza è stato qui assunto il taglio massimo.

1.2.3.4 Sezione a x=363 dall'appoggio di sinistra

In questa ascissa nelle varie combinazioni si ha una sollecitazione flettente che va da un valore molto vicino allo zero ad un valore negativo che tende le fibre superiori della sezione mentre nelle ascisse precedenti (verso sinistra) la flessione tende le fibre inferiori. In questa ascissa, perciò, si interrompe l'armatura longitudinale inferiore richiesta dal taglio, a meno del prolungamento per $l = z \cdot \cot\theta$.

Le combinazioni danno:

combinazione	M	V
1	-11611	5261
2	-224317	4583
3	-157658	6579
4	-78270	3266

Applicando la tabella di par. 1.2.3.1 e le formule per l'area longitudinale a taglio, la massima quantità di armatura viene richiesta dalla combinazione 2:

$$A_{sl,M} = 2.94 \text{ [cm}^2\text{]}$$

$$A_{sl,V} = 1.46 \text{ [cm}^2\text{]}$$

e l'area totale è:

$$A_{sl,M+V} = 4.40 \text{ [cm}^2\text{]}$$

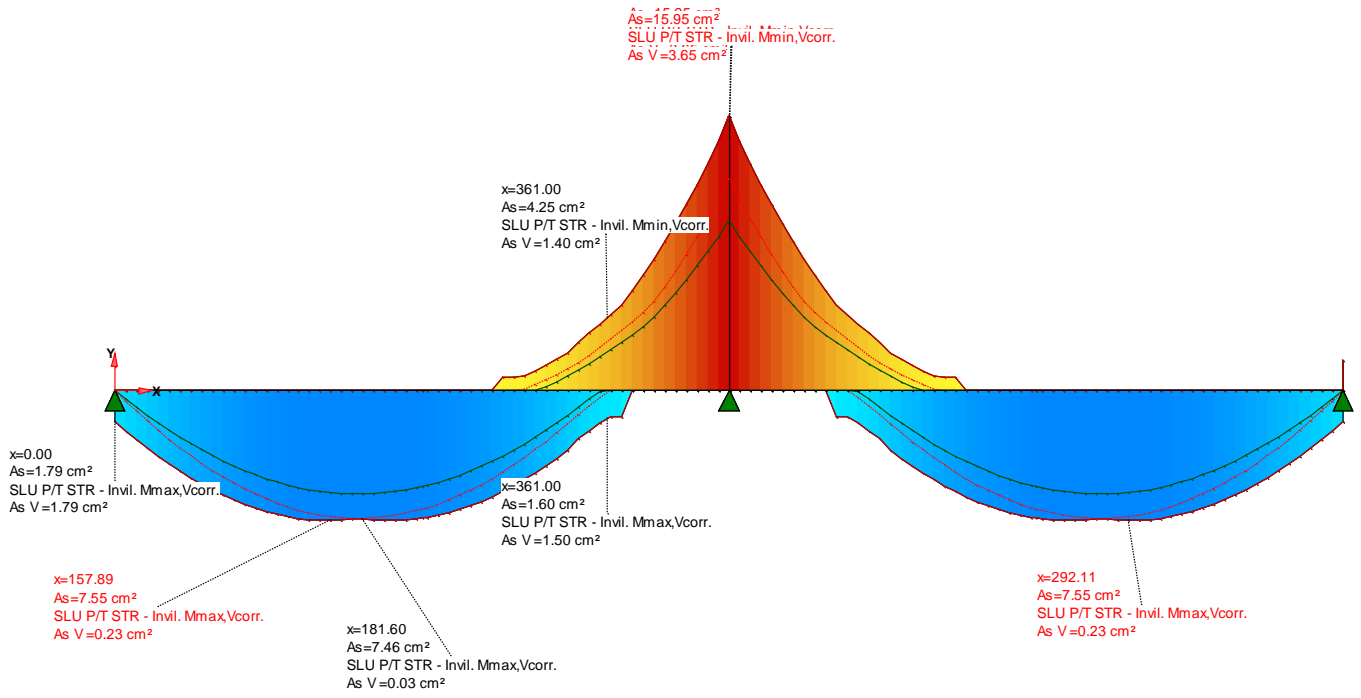
Per quanto riguarda la quantità di armatura trasversale (staffe a 90°) questa è determinata invece dal massimo scorrimento presente nella sezione:

$$A_{sw}/s = 6579 / (0.9 \cdot 20 \cdot 3913 \cdot 2.5) = 0.0374 \text{ [cm}^2\text{/cm]}$$

1.2.4 Risultati con TLIM

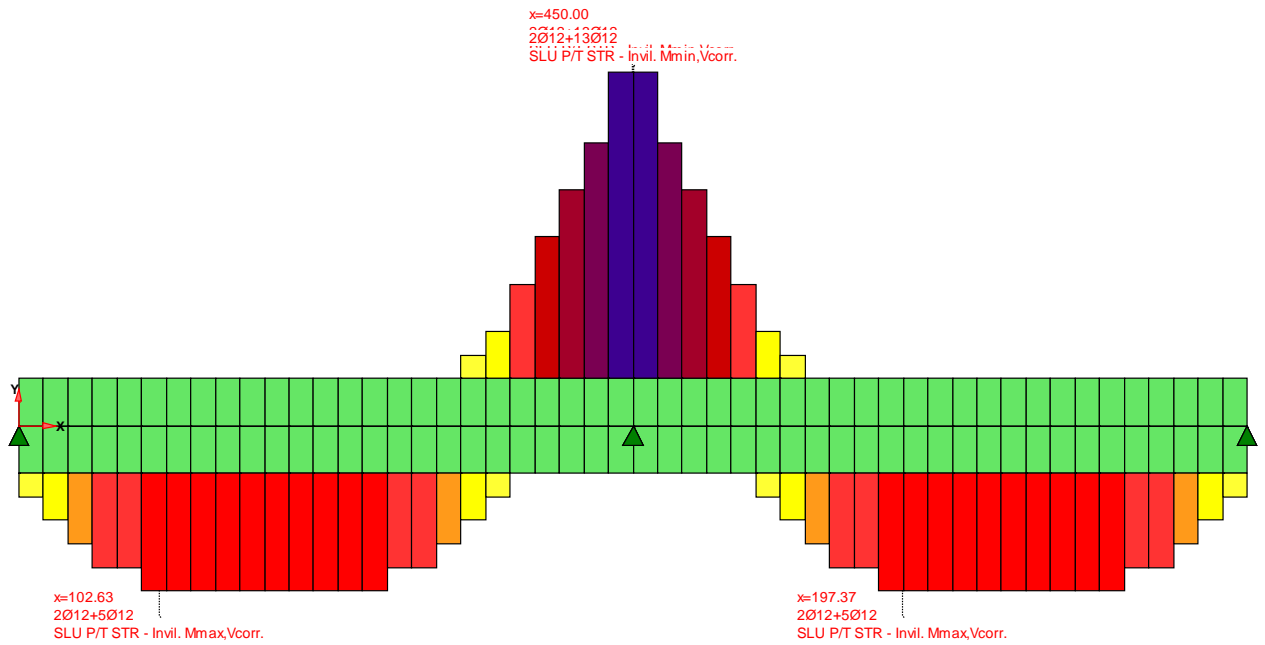
- Campata 1
- Campata 2

Area barre longitudinali cm²



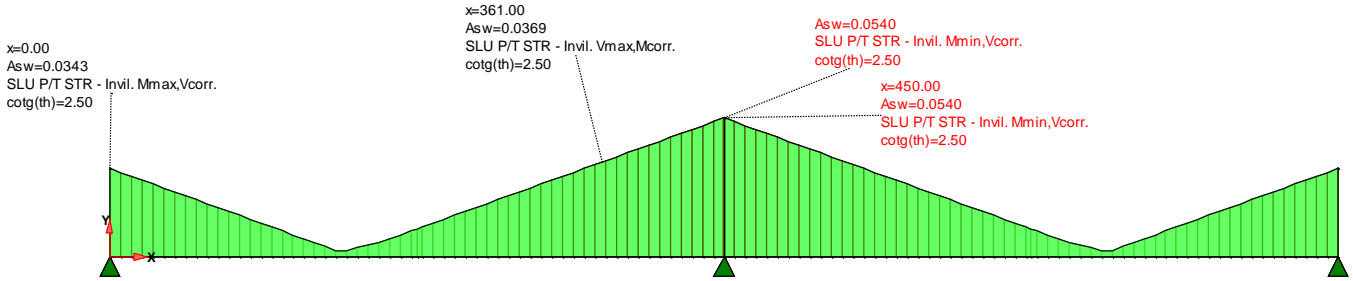
- Campata 1
- Campata 2

Numero barre longitudinali



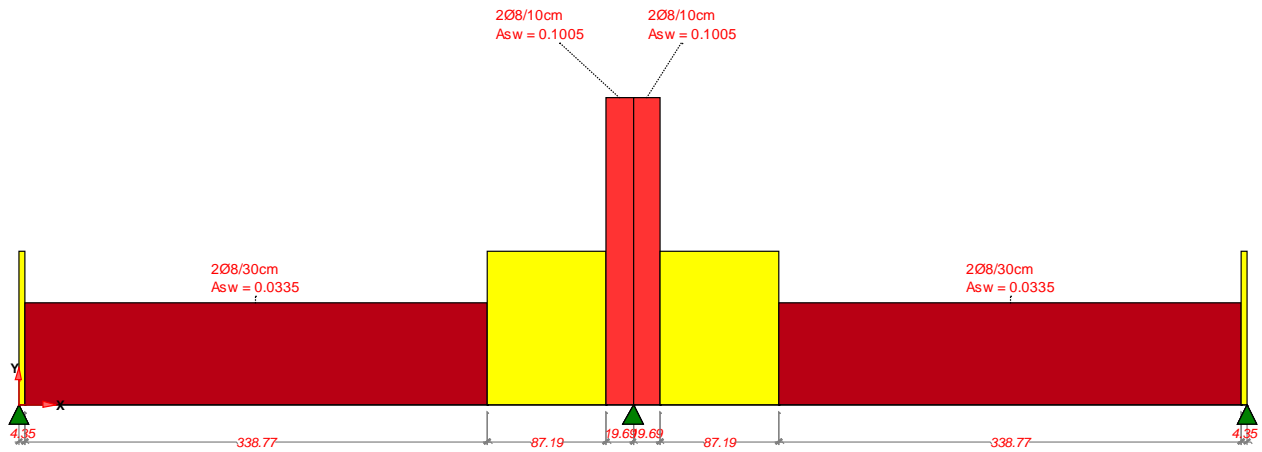
- Campata 1
- Campata 2

Area staffe cm²/cm



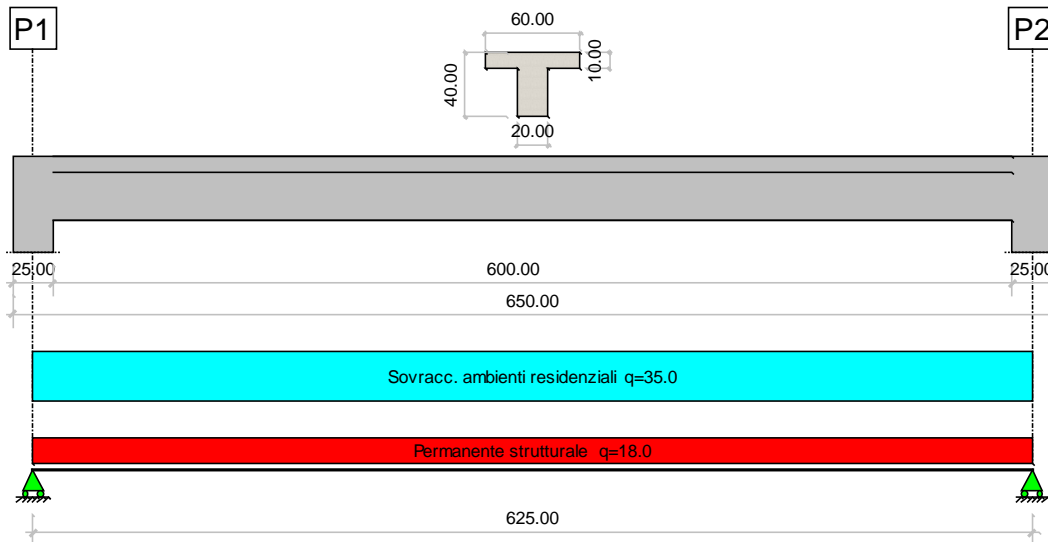
- Campata 1
- Campata 2

Staffatura



1.3 TC TLIM 3 – Trave con carico eccessivo

Questo test è identico al TC TLIM 1 ma con carichi maggiori. I carichi sono tali da portare i materiali oltre i limiti consentiti.



1.3.1 Materiali

Calcestruzzo C25/30 $\gamma=1.5$ $f_{cd}= 141.1$ [daN/cm²]
 Acciaio B450C $\gamma=1.15$ $f_{yk}=3913$ [daN/cm²]

1.3.2 Dimensionamento delle armature

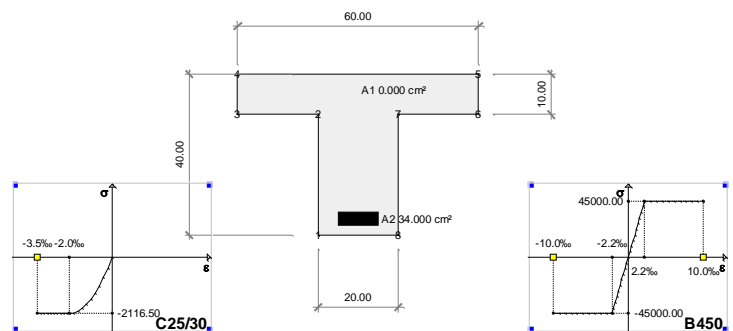
1.3.2.1 Sezione di mezzeria

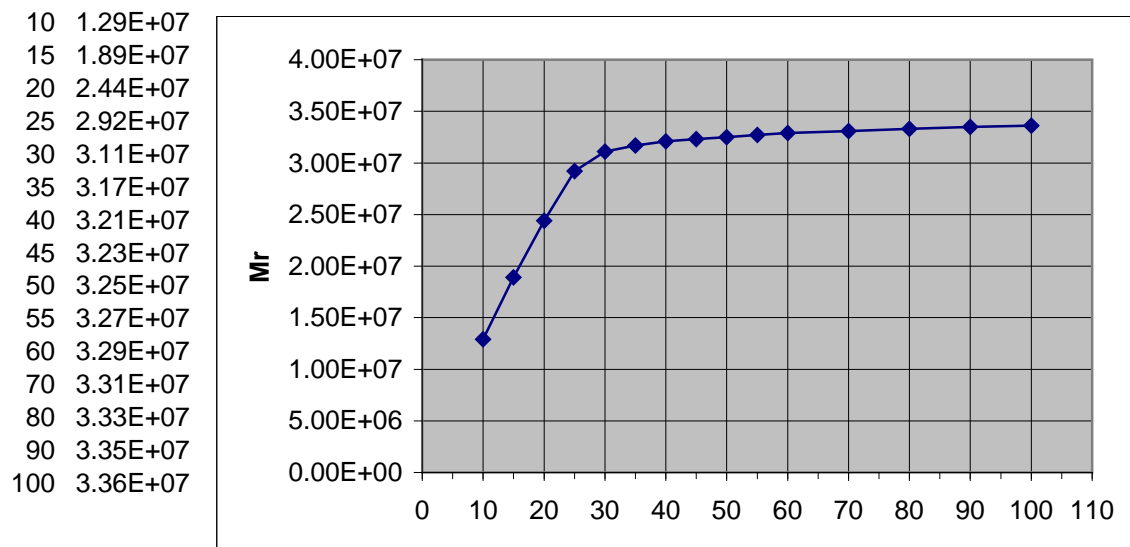
Le sollecitazioni allo SLU sono:

$$q^*=(3+18) \cdot 1.3+35 \cdot 1.5 = 79.722$$
 [daN/cm]

$$M_{l/2} = 1/8 \cdot 625^2 \cdot q^* = 3896484$$
 [daN·cm]

Il momento in mezzeria è tale che l'asse neutro scenda al di sotto dell'ala superiore, rendendo inutilizzabile il foglio di calcolo con B=costante. Inoltre anche aumentando la quantità di armatura al lembo inferiore il momento di rottura non aumenta di molto per il fatto che la resistenza della sezione è limitata dalla rottura del calcestruzzo superiore, come illustrato nel grafico seguente.





Come si vede, aumentando solo la quantità di acciaio al lembo inferiore non si ottengono grandi incrementi del momento ultimo dopo i 25 cm².

In queste condizioni è possibile aumentare ancora la resistenza solo disponendo dell'armatura in zona compressa.

Con un programma alternativo (PRELIM) si individua una soluzione con 34 cm² al lembo inferiore e 7 cm² al lembo superiore che soddisfa alla disequaglianza $M_{Rd} \geq M_{Ed}$.

1.3.2.2 Taglio all'appoggio

Il taglio di calcolo vale:

$$V_{Ed,x=0} = 625/2 \cdot q^* = 24938 \text{ [daN]}$$

Il taglio ultimo massimo esprimibile dal calcestruzzo con bielle a 45° vale:

$$V_{Rd} = 1.0 \cdot 20 \cdot (0.9 \cdot 36) \cdot 0.5 \cdot 141.1 \cdot 1/2 = 22858 \text{ [daN]}$$

che risulta minore di V_{Ed} : la sezione non è in grado di sopportare il taglio di calcolo indipendentemente dalla quantità di staffe inserite.

La sezione è perciò inadeguata, e sarà necessario rimediare o adottando un calcestruzzo di classe superiore o una sezione di maggiori dimensioni.

Si procede a determinare la posizione della prima sezione verificata, adottando un'opportuna quantità di armatura.

$$V_{Ed,x} - V_{Rd} = x \cdot q^*$$

da cui:

$$x = 26 \text{ [cm]} \text{ dall'appoggio}$$

in cui, ovviamente:

$$\theta = \frac{1}{2} \arcsin(2 \cdot 22858 / (1 \cdot 0.5 \cdot 141.1 \cdot 20 \cdot 0.9 \cdot 36)) = 45 \text{ [°]} \rightarrow \cot\theta = 1$$

e

$$A_{sw}/s = 22858 / (0.9 \cdot 36 \cdot 3913 \cdot 1.0) = 0.1803 \text{ [cm}^2/\text{cm]}$$

1.3.2.3 Sezione x=70 dall'appoggio

$$V_{Ed} = 24937 - 79.722 \cdot 70 = 19357 \text{ [daN]}$$

$$M_{Ed} = 24937 \cdot 70 - 79.722 \cdot 70^2 / 2 = 1550306 \text{ [daN}\cdot\text{cm]}$$

$$A_{sl,M} = 11.9 \text{ [cm}^2\text{]} \text{ (stress-block)}$$

$$\theta = \frac{1}{2} \arcsin(2 \cdot 19357 / (1 \cdot 0.5 \cdot 141.1 \cdot 20 \cdot 0.9 \cdot 36)) = 28.93 \text{ [°]} \rightarrow \cot\theta = 1.81$$

$$A_{sw}/s = 19357 / (0.9 \cdot 36 \cdot 3913 \cdot 1.81) = 0.0844 \text{ [cm}^2/\text{cm]}$$

e $A_{sl,V} = 0.5 \cdot 19357 \cdot 1.81 \cdot 3913 = 4.477 \text{ [cm}^2\text{]}$

$A_{sl,M+V} = 16.38 \text{ [cm}^2\text{]}$

1.3.2.4 Sezione a x=120 dall'appoggio

$V_{Ed} = 24937 - 79.722 \cdot 120 = 15371 \text{ [daN]}$

$M_{Ed} = 24937 \cdot 120 - 79.722 \cdot 120^2 / 2 = 2418502 \text{ [daN}\cdot\text{cm]}$

$A_{sl,M} = 19.75 \text{ [cm}^2\text{]} \text{ (PRELIM)}$

$\theta = \frac{1}{2} \arcsin(2 \cdot 15371 / (1 \cdot 0.5 \cdot 141.1 \cdot 20 \cdot 0.9 \cdot 36)) = 21.12 \text{ [}^\circ\text{]} \rightarrow \cot\theta = 2.588 \rightarrow 2.5$

$A_{sw}/s = 15371 / (0.9 \cdot 36 \cdot 3913 \cdot 2.5) = 0.0485 \text{ [cm}^2\text{/cm]}$

$A_{sl,V} = 0.5 \cdot 15371 \cdot 2.5 \cdot 3913 = 4.91 \text{ [cm}^2\text{]}$

e

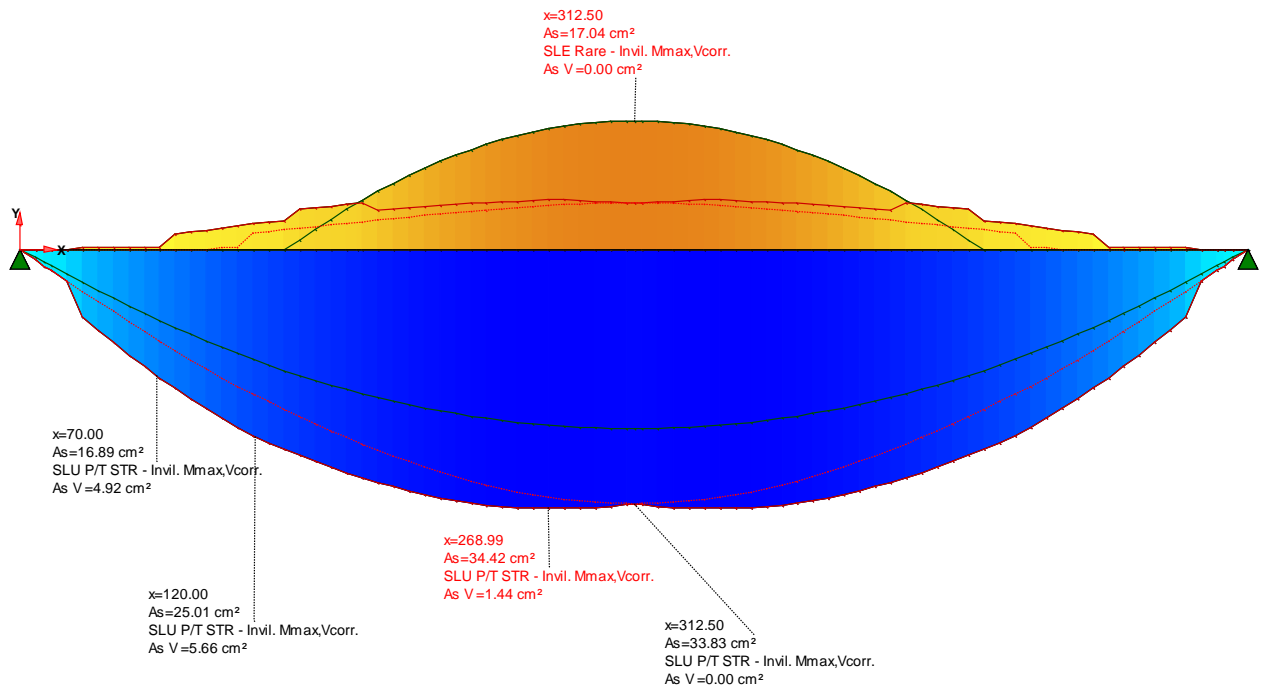
$A_{sl,M+V} = 24.66 \text{ [cm}^2\text{]}$

1.3.3 Calcolo con TLIM

Le etichette nei grafici consentono di confrontare i risultati numerici ottenuti nei paragrafi precedenti.

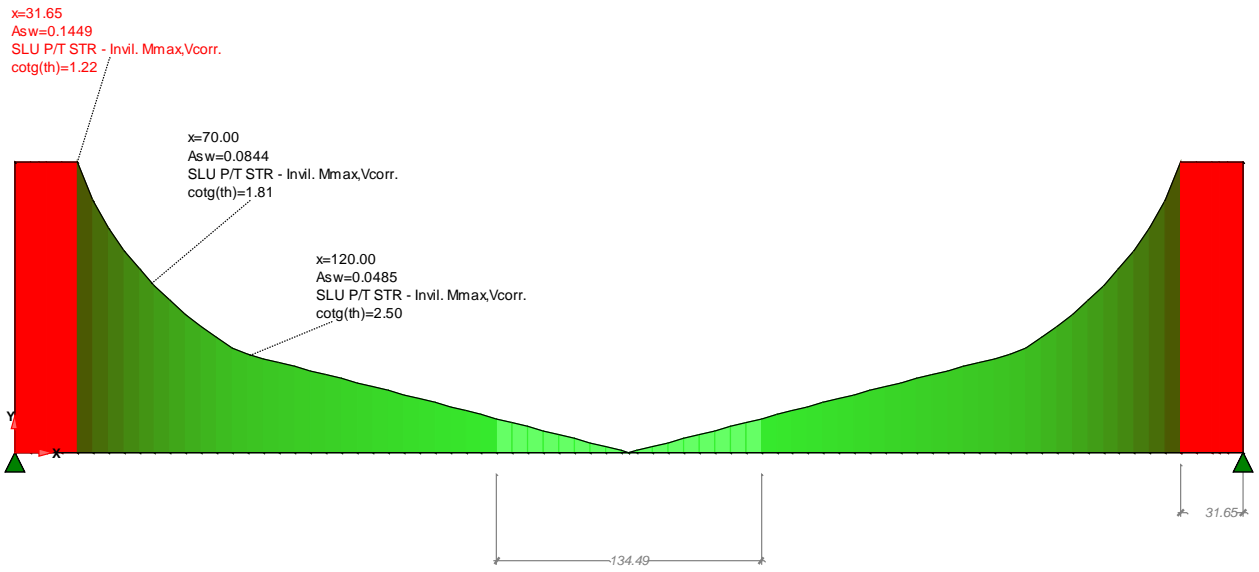
• Campata 1

Area barre longitudinali cm²



• Campala 1

Area staffe cm²/cm

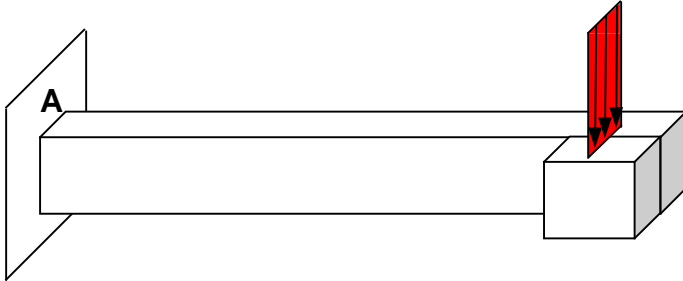


1.4 TC TLIM 4

< non inserito >

1.5 TC TLIM 5 – mensola con carico eccentrico

1.5.1 Dati geometrici e carichi



Lunghezza sbalzo = 480 [cm]
 Eccentricità risultante carico = 62.5 [cm]
 Carico permanente = 7.0 [daN/cm]
 Carico variabile = 4.0 [daN/cm]
 Sezione: B=35 H=50 [cm] peso proprio = 4.375 [daN/cm]
 Distanza asse barre- lembi sezione = 4 [cm]

1.5.2 Materiali

Calcestruzzo C28/35 $\gamma=1.5$ $f_{cd}= 164.6$ [daN/cm²]
 Acciaio B450C $\gamma=1.15$ $f_{yk}=3913$ [daN/cm²]

1.5.3 Determinazione armature

Vengono determinate le armature minime alla sezione A all'incastro.

Sollecitazioni SLU:

$$\begin{aligned}
 M_A &= -[(4.375+7) \cdot 1.3+4 \cdot 1.5] \cdot 125 \cdot 480-4.375 \cdot 480^2/2 \cdot 1.3 = -1902450 \text{ [daN}\cdot\text{cm]} \\
 V_A &= [4.375 \cdot (480+125)+7 \cdot 125] \cdot 1.3+4 \cdot 125 \cdot 1.5 = 5328 \text{ [daN]} \\
 T_A &= [(4.375+7) \cdot 125^2/2 \cdot 1.3+4 \cdot 125^2/2 \cdot 1.5] = 162402 \text{ [daN}\cdot\text{cm]}
 \end{aligned}$$

1.5.3.1 Flessione

Adottando lo stress-block si ottiene un'area superiore pari a 11.55 [cm²]

				fyk	4500		
				fck,cub	350	246.925	3913.043 fyd
				B stress block	35		164.6167 fcd
				d _{utile}	46.000		
As[cm ²]	Xd	Mr1	Mr2	b _w	35.000		
5.00	4.245	866780	866780				
5.50	4.669	949804	949804				
6.00	5.094	1032163	1032163				
6.50	5.518	1113858	1113858				
7.00	5.943	1194889	1194889				
7.50	6.367	1275255	1275255				
8.00	6.792	1354957	1354957				
9.00	7.641	1512368	1512368				
10.00	8.490	1667121	1667121				
11.00	9.338	1819216	1819216				
11.50	9.763	1894267	1894267				
12.00	10.187	1968654	1968654				
13.00	11.036	2115434	2115434				
14.00	11.885	2259556	2259556				
15.00	12.734	2401021	2401021				

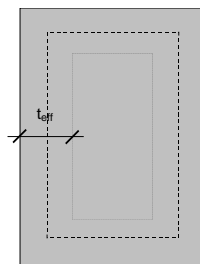
1.5.3.2 Taglio + torsione

Idealizzazione sezione cava a torsione:

$$t_{eff} = A/u = 10.3 \text{ [cm]}$$

$$A_k = 24.7 \cdot 39.7 = 981 \text{ [cm}^2\text{]}$$

$$u_k = 128.8 \text{ [cm]}$$



Per determinare l'inclinazione delle bielle compresse si calcola il taglio massimo presente nelle "anime" dato dalla somma dell'effetto del taglio e dell'effetto del momento torcente:

$$V_{Ed,anima} = 5328.4 \cdot 10.3 / 35 + 162402 \cdot 0.9 \cdot 46 / (2 \cdot 981) = 4996 \text{ [daN]}$$

Il taglio ultimo massimo esprimibile dal calcestruzzo con bielle a 45° vale:

$$V_{Rd,anima} = 1.0 \cdot 10.3 \cdot (0.9 \cdot 46) \cdot 0.5 \cdot 164.6 \cdot 1 / 2 = 17549 \text{ [daN]} > V_{Ed,anima}$$

$$\theta = \frac{1}{2} \arcsin(2 \cdot 4996 / (1 \cdot 0.5 \cdot 164.6 \cdot 10.3 \cdot 0.9 \cdot 46)) = 8.27 \text{ [}^\circ\text{]} \rightarrow \cot\theta = 2.5$$

quantità di armatura trasversale richiesta dal taglio:

$$A_{sw/s}^V = 4996 / (0.9 \cdot 46 \cdot 3913 \cdot 2.5) = 0.01233 \text{ [cm}^2\text{/cm]}$$

quantità di armatura trasversale richiesta dalla torsione:

$$A_{sw/s}^T = 162402 / (2 \cdot 981 \cdot 3913 \cdot 2.5) = 0.00847 \text{ [cm}^2\text{/cm]}$$

quantità di armatura trasversale totale:

$$A_{sw/s} = 0.0208 \text{ [cm}^2\text{/cm]}$$

Per determinare la quantità di armatura longitudinale necessaria a sviluppare i meccanismi di resistenza a taglio e torsione ci si avvale delle

$$A_{sl,V} = 0.5 \frac{V_{Ed} \cot \vartheta}{f_{yd}} = 0.5 \cdot 5328 \cdot 2.5 / 3913 = 1.702 \text{ [cm}^2\text{]}$$

$$A_{sl,T} = \frac{u_k}{2 \cdot A_k} \cdot \frac{T_{Ed} \cot \vartheta}{f_{yd}} = 128.8 / (2 \cdot 981) \cdot 162402 \cdot 2.5 / 3913 = 6.814 \text{ [cm}^2\text{]}$$

Mentre $A_{sl,V}$ va posta in zona tesa, quindi superiormente, $A_{sl,T}$ va disposta diffusamente lungo il perimetro della sezione, rispettando il copriferro. Volendo comunque attribuire solamente le armature al lembo superiore ed al lembo inferiore, si può pensare di dividere $A_{sl,T}$ equamente tra sopra e sotto. Con queste considerazioni l'armatura longitudinale totale risulta:

$$A_{sl,V+T,sup} = 1.702 + 6.814 / 2 = 5.109 \text{ [cm}^2\text{]}$$

$$A_{sl,V+T,inf} = 6.814 / 2 = 3.407 \text{ [cm}^2\text{]}$$

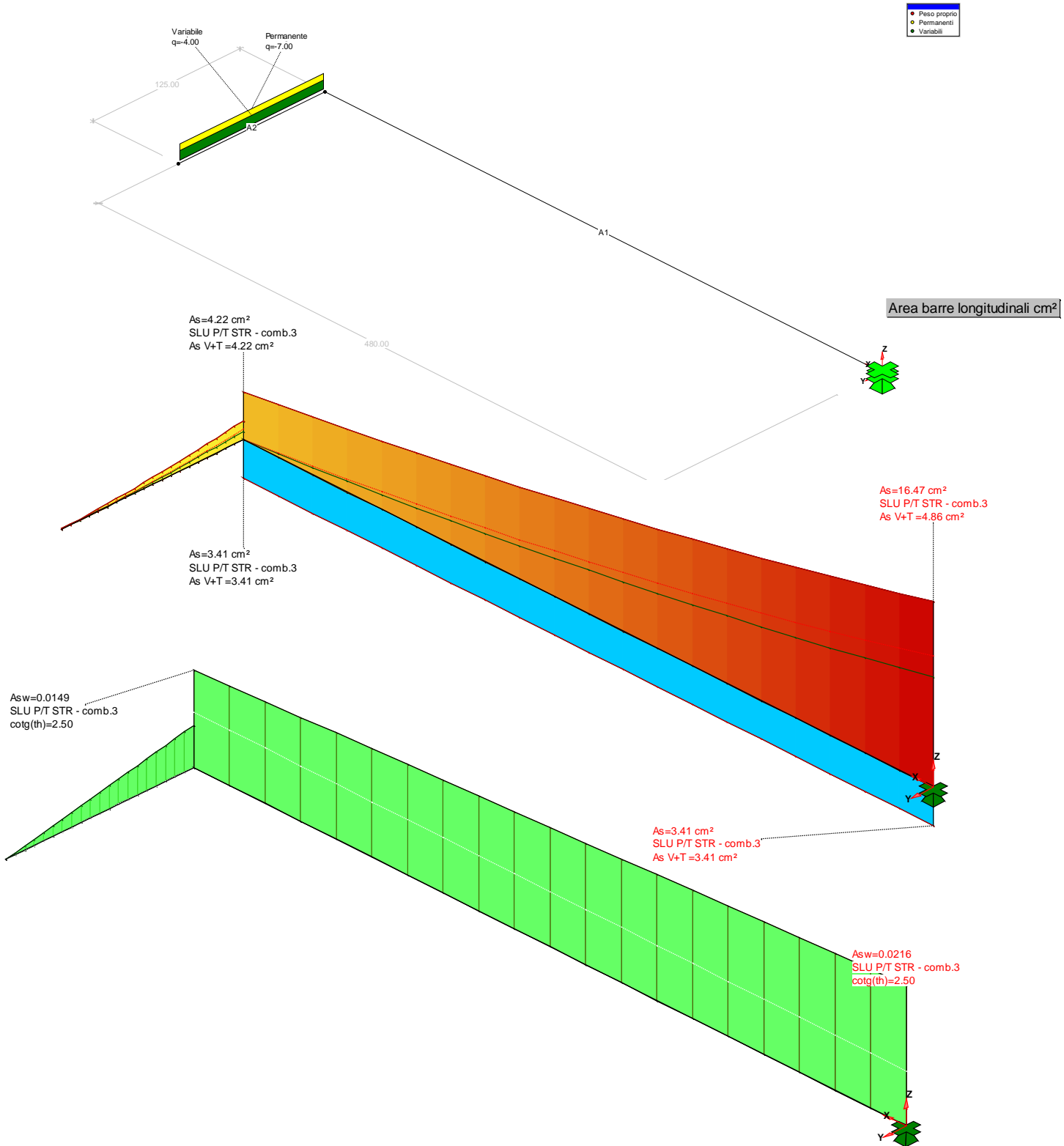
e infine

$$A_{sl,tot,sup} = 16.66 \text{ [cm}^2\text{]}$$

$$A_{sl,tot,inf} = 3.41 \text{ [cm}^2\text{]}$$

1.5.4 Calcolo con TLIM

Il calcolo viene eseguito servendosi del preprocessore GRAT.



1.6 TC TLIM 6 – Riferimento bibliografico 1

Viene riprodotto il caso riportato in *Cosenza, Manfredi, Pecce: "Strutture in cemento armato- basi della progettazione" – Hoepli 2007* negli esempi 6.4 e 6.5.

1.6.1 Dati del problema

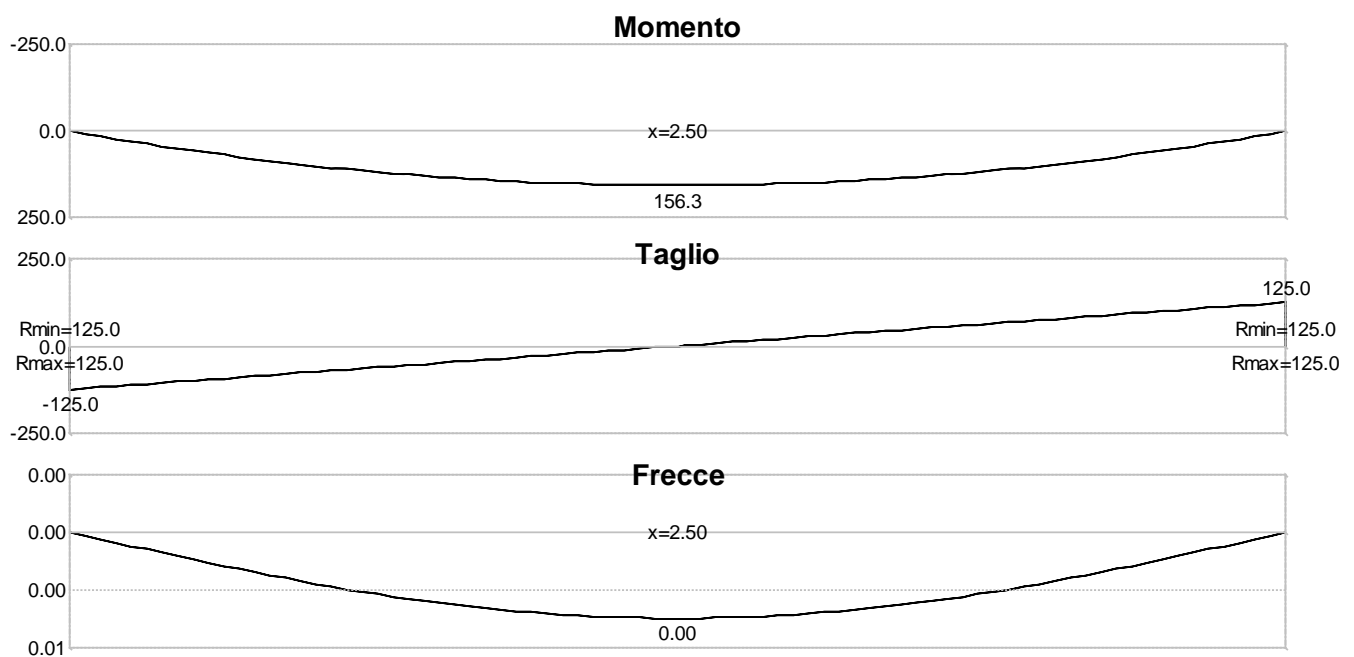
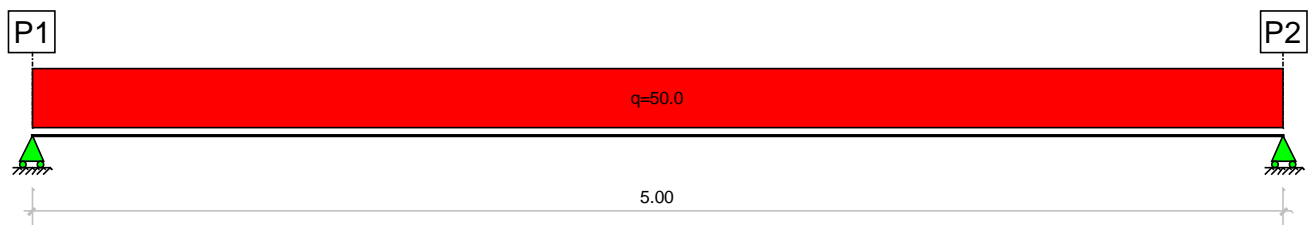
Luce di calcolo = 5.00 [m]

Carico di progetto = 50 [KN/m]

Sezione: base B= 300 [mm], altezza H= 500 [mm]

Copriferro c= 40 [mm]

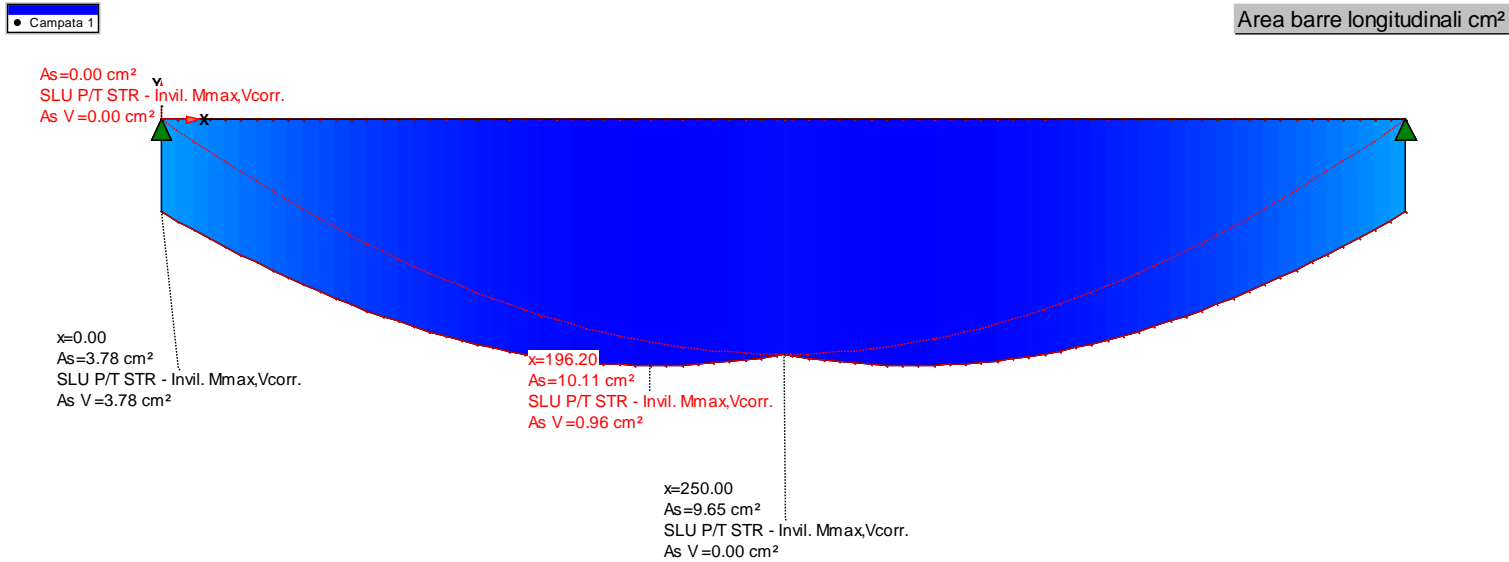
Materiali: calcestruzzo C25/30
acciaio B450C



1.6.2 Sezione di mezzeria

Nel testo viene calcolata l'armatura necessaria per flessione in mezzeria con l'espressione:

$$A_s = \frac{0.80 \cdot \xi \cdot d \cdot b \cdot f_{cd}}{f_{yd}} = 0.80 \cdot 0.25 \cdot 460 \cdot 300 \cdot 14.17 / 391.3 = 981.84 \text{ [mm}^2\text{]}$$



1.6.3 Sezione all'appoggio

Nel testo di confronto viene verificato che l'inclinazione delle bielle compresse di calcestruzzo è tale che $\cot\theta=2.5$ e $A_{sw}/s=0.3086 \text{ [mm}^2\text{/mm]}$, staffe $\varnothing 8$ a 2 bracci passo 324 [mm]. Viene inoltre determinata la quantità di armatura longitudinale inferiore all'appoggio richiesta dalla presenza del taglio servendosi della traslazione del diagramma del momento flettente. Tale traslazione vale

$$\Delta x = 0.9 \cdot 460 / 2 \cdot 2.5 = 517.40 \text{ [mm]}$$

In corrispondenza dell'appoggio si considera quindi un momento flettente pari a

$$M^* = 12500 \cdot 51.74 - 50 \cdot 51.74^2 / 2 = 579824 \text{ [daN-cm]}$$

Con questo valore della sollecitazione di flessione si ottiene l'armatura $A_s=3.33 \text{ [cm}^2\text{]}$

				fyk	4500		
				fck,cub	300	211.65	3913.043 fyd
				B stress block	30		141.1 fcd
				d _{utile}	46.000		
As[cm ²]	Xd	Mr1	Mr2	b _w	30.000		
2.00	2.311	352765	352765				
3.00	3.467	523722	523722				
3.33	3.848	579344	579344				
4.00	4.622	691062	691062				
5.00	5.778	854784	854784				

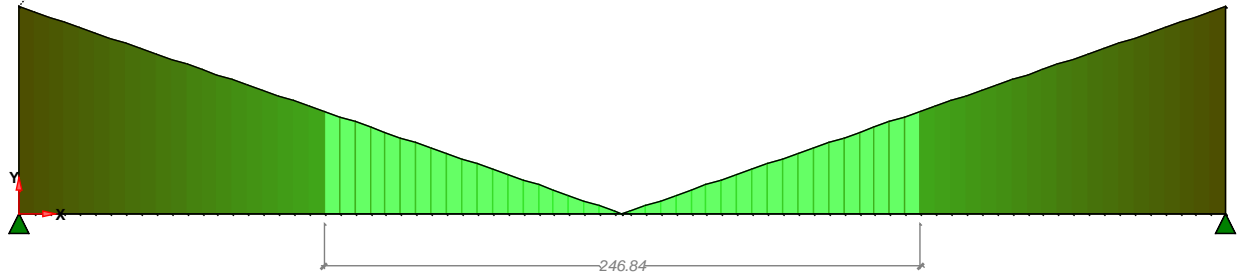
Applicando invece la (6.18) di EN1992-1-1-6.2.3(7), si ottiene:

$$A_s = \frac{V}{2} \cdot \frac{\cot \vartheta}{f_{yd}} = 125000/2 \cdot 2.5/391.3 = 399.31 \text{ [mm}^2\text{]}$$

• Campata 1

Area staffe cm²/cm

Asw=0.0309
 SLU P/T STR - Invl. Mmax,Vcorr.
 cotg(th)=2.50



1.7 TC TLIM 7 – Riferimento bibliografico 2 – trave con torsione

Viene riprodotto il caso riportato in *Cosenza, Manfredi, Pecce: “Strutture in cemento armato- basi della progettazione” – Hoepli 2007* nell'esempio 7.4, nel quale si procede anche al progetto dell'altezza della sezione, quantità che qui viene invece assunta come dato.

Si tratta di una piastra a sbalzo collegata ad una trave tra due pilastri. La trave ha una luce teorica di 5 m, lo sbalzo dall'asse trave misura 1.65 m.

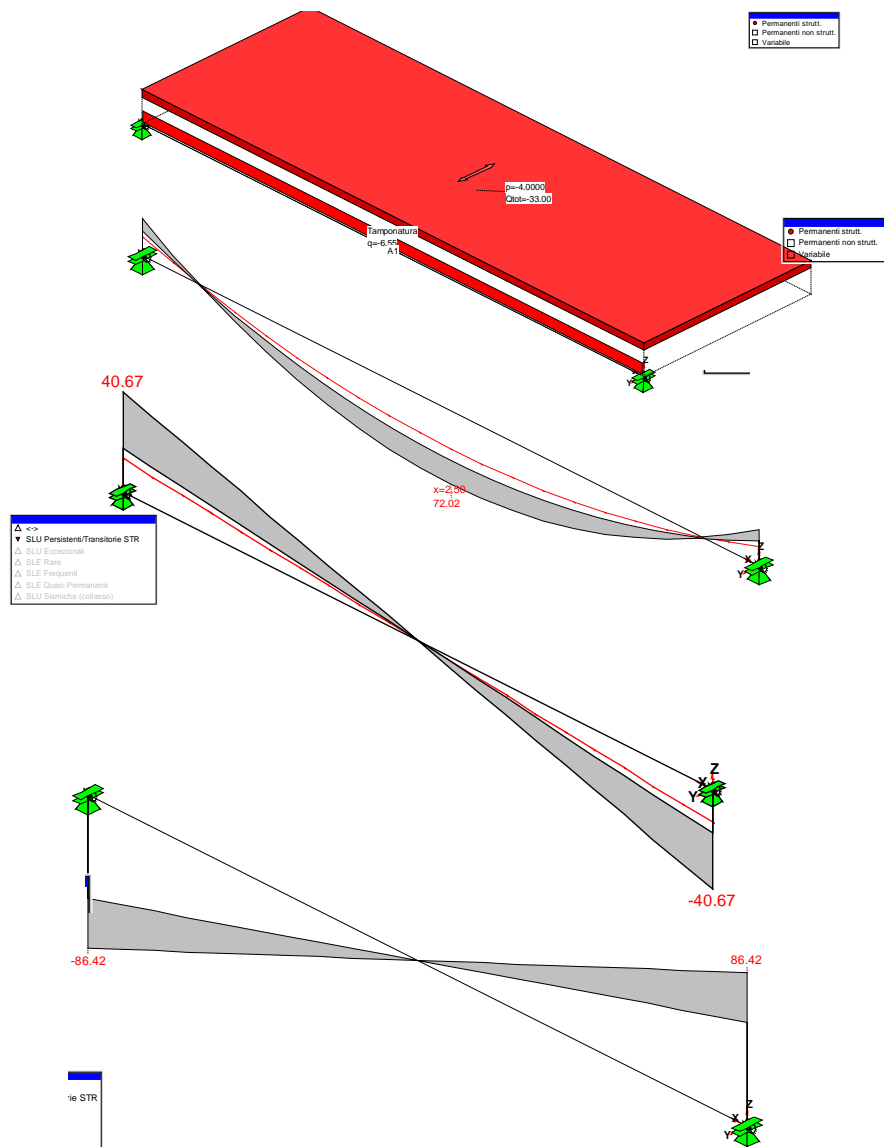
La trave ha una sezione B=30 H=65 [cm].

1.7.1 Dati materiali

Calcestruzzo C25/30 $\gamma=1.5$ $f_{cd}= 141.1$ [daN/cm²]
 Acciaio B450C $\gamma=1.15$ $f_{yk}=3913$ [daN/cm²]

1.7.2 Calcolo delle sollecitazioni

Il problema viene affrontato con il modulo GRAT, offrendo un opportuno grado di incastro agli appoggi allo scopo di ottenere le stesse sollecitazioni dell'esempio riportato nel testo. Le sollecitazioni nei grafici seguenti sono in [KN],[m].



1.7.3 Determinazione quantità principali di armatura

Calcolo passo armature trasversali

Viene assunta una staffatura composta con staffe a 2 bracci $\varnothing 8$ mm. I passi conseguenti sono:

$$S_V = A_{sw} \cdot f_{yd} \cdot \frac{z}{V_{sd}} \cdot \cot \vartheta = 2 \cdot 50 \cdot 391.3 \cdot (0.9 \cdot 610) / (86.42 \cdot 10^3) \cdot 2.5 = 621 \text{ [mm]}$$

$$S_T = f_{yd} \cdot A_k \cdot \frac{2 \cdot A_{sw}}{T_{sd}} \cdot \cot \vartheta = 391.3 \cdot 108033 \cdot 2 \cdot (2 \cdot 50) / (40.67 \cdot 10^6) \cdot 2.5 = 520 \text{ [mm]}$$

e il passo delle staffe necessario ad entrambe le sollecitazioni risulta

$$S_{V+T} = \frac{1}{\frac{1}{S_V} + \frac{1}{S_T}} = 283 \text{ [mm]}$$

che corrisponde ad una armatura trasversale pari a

$$A_{sw}/s = 2 \cdot 0.5 / 28.3 = 0.0353 \text{ [cm}^2/\text{cm]}$$

Calcolo armature longitudinali a torsione

$$A_{sl,T} = \frac{u_k}{2 \cdot A_k} \cdot \frac{T_{Ed} \cot \vartheta}{f_{yd}} = 1489 / (2 \cdot 108033) \cdot 40.67 \cdot 10^6 \cdot 2.5 / 391.3 = 1791 \text{ [mm}^2\text{]}$$

Pensando di valutare tale armatura longitudinale come superiore ed inferiore si ottiene 895 [mm²] per ogni posizione. Nella disposizione reale tali quantità andranno ripartite sul contorno della sezione in rapporto alle lunghezze di ogni singolo lato.

Calcolo armature longitudinali a flessione

Nel testo di confronto si procede al calcolo della quantità di acciaio longitudinale richiesta dalla flessione alla sezione di incastro nei pilastri con la seguente espressione, previa determinazione della posizione ξ dell'asse neutro:

$$A_s = \frac{0.80 \cdot \xi \cdot d \cdot b \cdot f_{cd}}{f_{yd}} = 0.80 \cdot 0.0288 \cdot 610 \cdot 300 \cdot 14.17 / 391.3 = 153 \text{ [mm}^2\text{]}$$

Calcolo armature longitudinali a taglio

Nel testo di confronto non è calcolata la quantità di armatura longitudinale richiesta dal taglio. Viene qui valutata con l'espressione utilizzata dagli stessi autori all'esempio 6.5 (cfr. TC TLIM 6):

$$A_s = \frac{V}{2} \cdot \frac{\cot \vartheta}{f_{yd}} = 86.42 \cdot 10^3 / 2 \cdot 2.5 / 391.3 = 276 \text{ [mm}^2\text{]}$$

In definitiva nella sezione all'incastro, pensando di concentrare numericamente le armature nelle due posizioni superiore ed inferiore, si ottiene:

$$A_{s,sup} = A_{s,sup,M} + A_{s,sup,V} + A_{s,sup,T} = 153 + 276 + 895 = 1324 \text{ [mm}^2\text{]}$$

$$A_{s,inf} = A_{s,inf,M} + A_{s,inf,V} + A_{s,inf,T} = 0 + 0 + 895 = 895 \text{ [mm}^2\text{]}$$

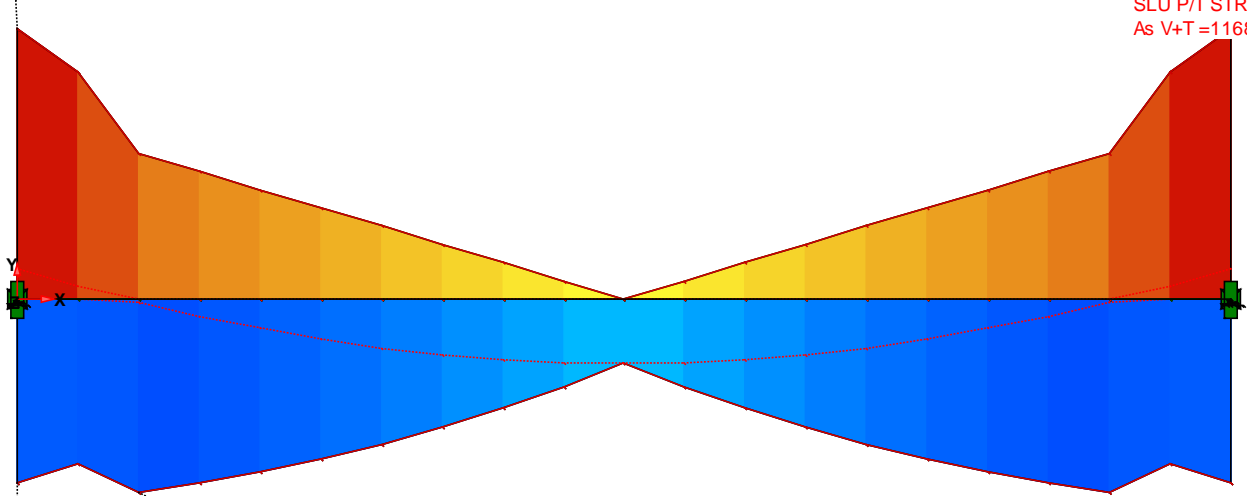
In questa valutazione non è tenuto conto della compressione al lembo inferiore data dalla flessione, che consentirebbe di ridurre l'armatura calcolata.

1.7.4 Calcolo con TLIM

Area barre longitudinali mm²

As=1322.83 mm²
 SLU P/T STR - comb.1
 As V+T=1168.22 mm²

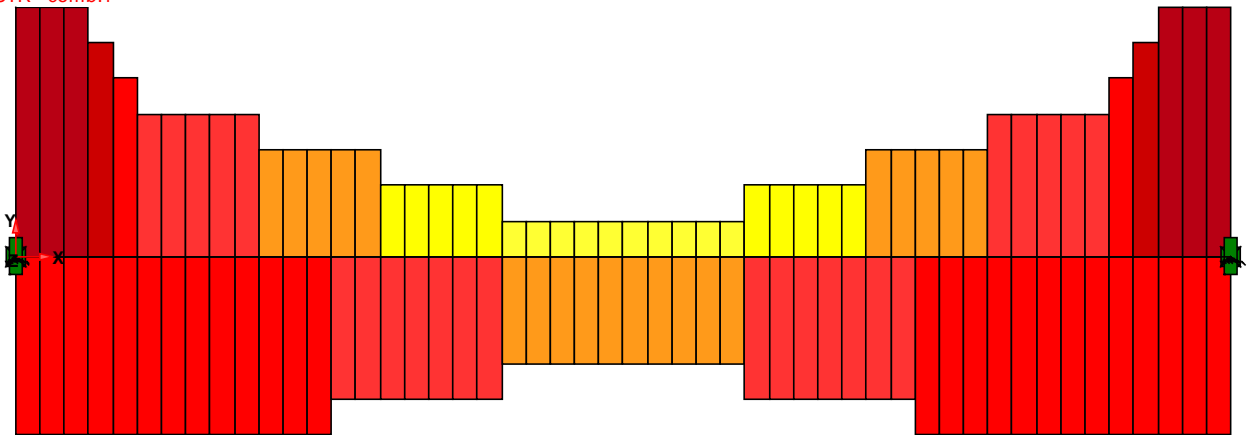
As=1322.83 mm²
 SLU P/T STR - comb.1
 As V+T=1168.22 mm²



As=895.64 mm²
 SLU P/T STR - comb.1
 As V+T=895.54 mm²

x=500.00
 As=942.08 mm²
 SLU P/T STR - comb.1
 As V+T=929.92 mm²

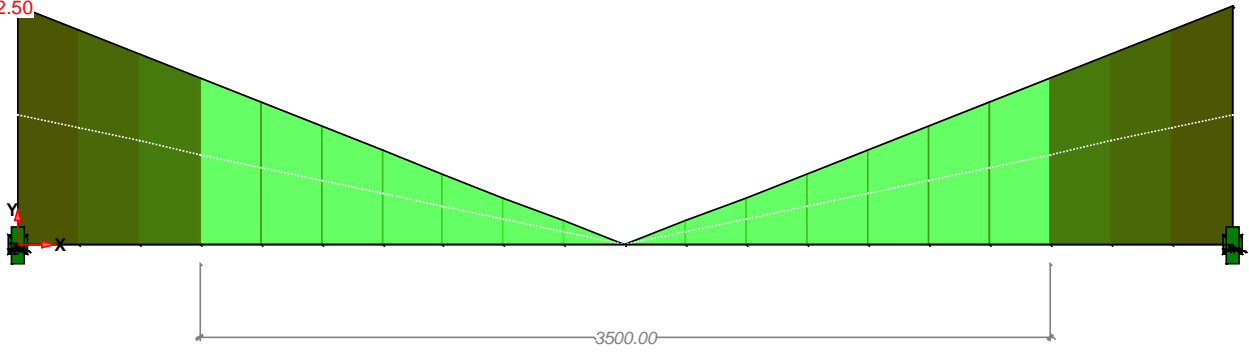
7Ø16
 SLU P/T STR - comb.1



5Ø16
 SLU P/T STR - comb.1

Area staffe mm²/mm

Asw=0.3533
SLU P/T STR - comb.1
cotg(th)=2.50



Staffatura

2Ø8/280mm
Asw = 0.3590

