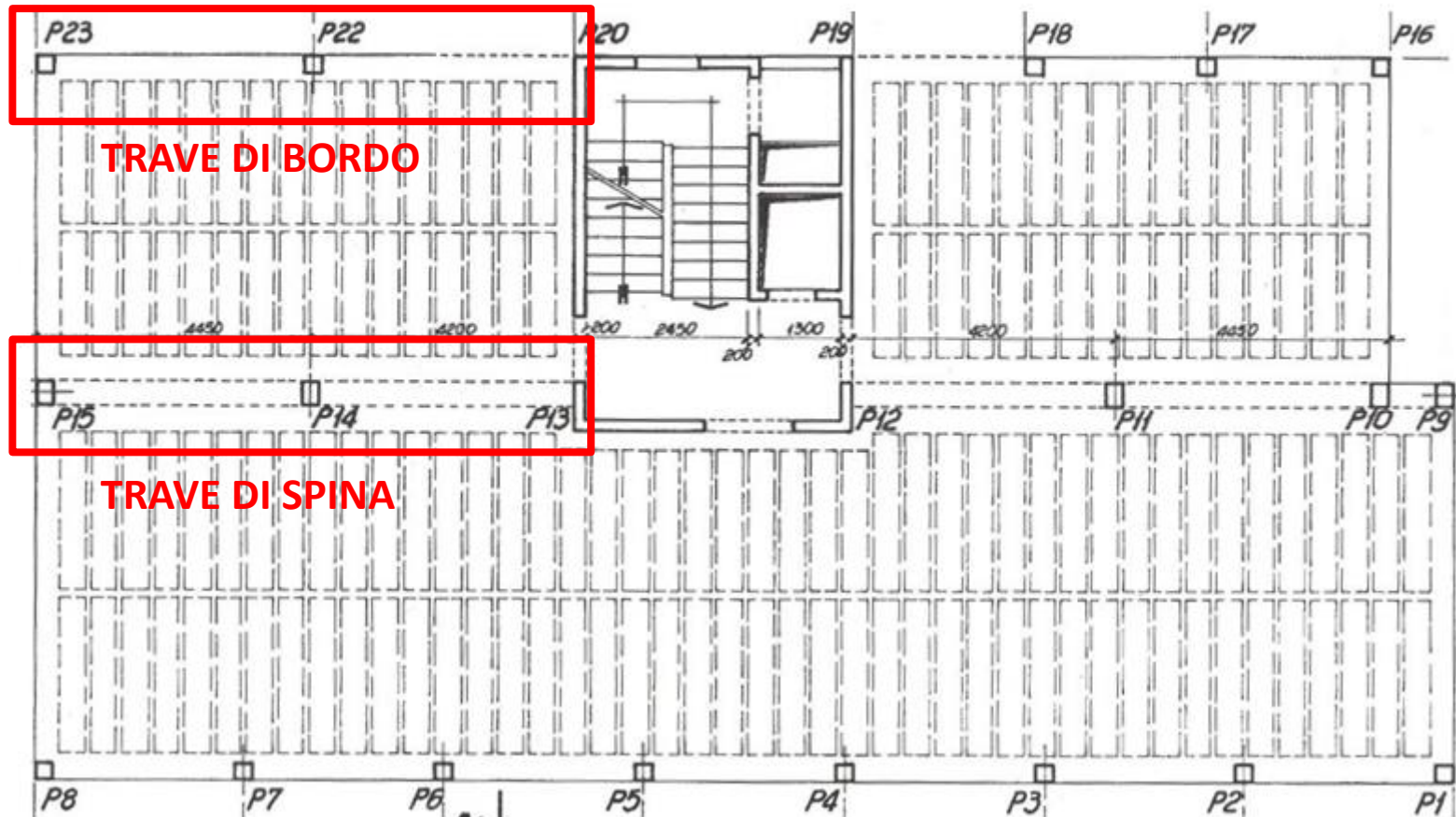


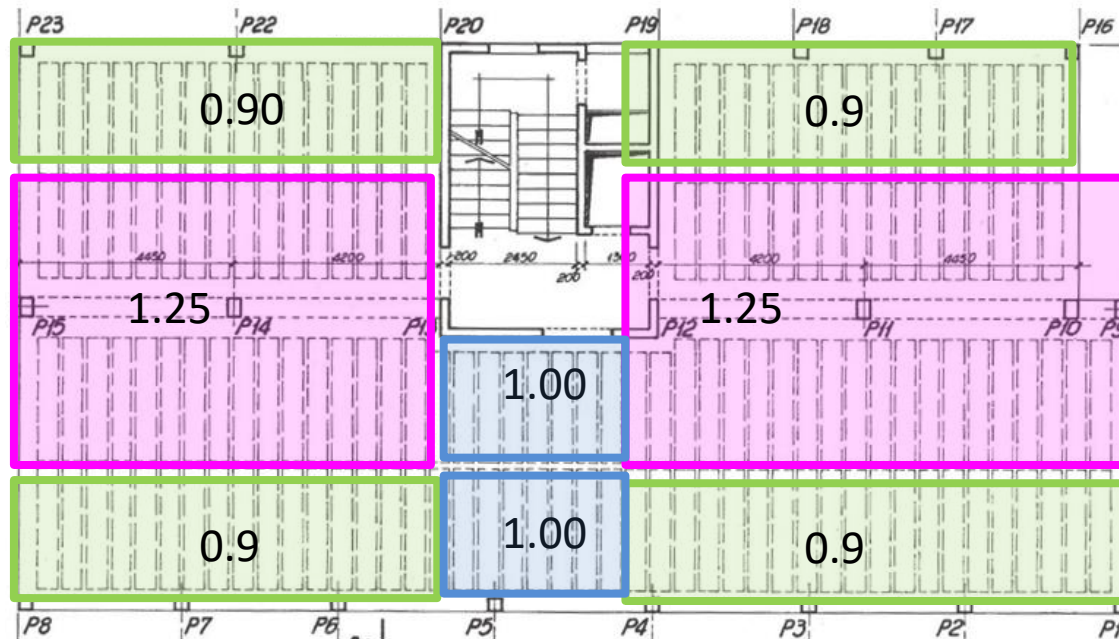
CALCOLO DELLE TRAVI

tav. 1 PIANTA PIANO TIPO



CALCOLO DI UNA TRAVE

Analogamente a quanto fatto per i pilastri, anche per il pre-dimensionamento delle travi si può eseguire un procedimento approssimato che si basa sulla scomposizione della pianta d'impalcato in aree di influenza.



ANALISI DELLE SOLLECITAZIONI

Ci si riferisce alla trave di spina TR_15-13 e alla trave di riva TR_23-20, entrambe costituite da due campate di luci pari a 4,45 m e 4,2 m.

Riassumendo, dall'analisi dei carichi sui solai di interpiano:

-	Permanenti strutturali (solaio in laterocemento 24+5)	G_1	3,30	kN/m^2
-	Permanenti non strutturali (massetto 0,56 +pavimento 0,40 +intonaco 0,30 +tramezzi ripartiti 1,60 kN/m^2)	G_2	2,86	kN/m^2
-	Accidentali (carico di affollamento)	Q_k	2,00	kN/m^2

ANALISI DELLE SOLLECITAZIONI

I carichi per metro lineare di trave sono, pertanto:

TRAVE DI SPINA

- $g_{k1} \quad 3,30 \text{ kN/m}^2 * (5,20/2 + 6,00/2) \text{ m} * 1,25 = 23,10 \text{ kN/m}$

- $g_{k2} \quad 2,86 \text{ kN/m}^2 * (5,20/2 + 6,00/2) \text{ m} * 1,25 = 20,03 \text{ kN/m}$

- $q_{1k} \quad 2,00 \text{ kN/m}^2 * (5,20/2 + 6,00/2) \text{ m} * 1,25 = 14,00 \text{ kN/m}$

TRAVE DI BORDO

- $g_{k1} \quad 3,30 \text{ kN/m}^2 * (5,20/2) \text{ m} * 0,90 = 7,73 \text{ kN/m}$

- $g_{k2} \quad 2,86 \text{ kN/m}^2 * (5,20/2) \text{ m} * 0,90 = 6,70 \text{ kN/m}$

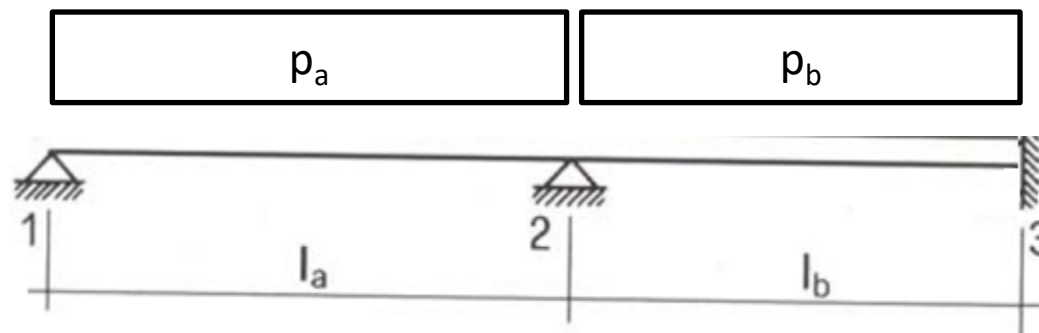
- $q_{1k} \quad 2,00 \text{ kN/m}^2 * (5,20/2) \text{ m} * 0,90 = 4,68 \text{ kN/m}$

ANALISI DELLE SOLLECITAZIONI

Una trave può essere schematizzata tramite un'asta vincolata in corrispondenza dei pilastri o delle pareti di controvento.

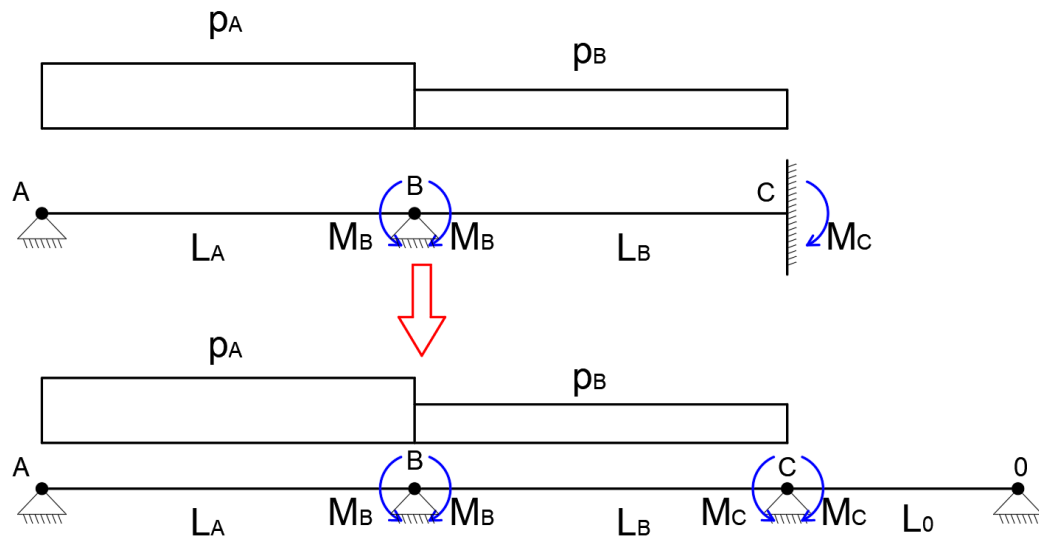
La scelta del tipo di vincolo dipende dalla rigidità torsionale di queste due tipologie di elementi strutturali verticali: in genere, per semplicità, si adotta un vincolo di appoggio in corrispondenza delle travi e un vincolo di incastro per i setti.

Per la trave in esame: si è ipotizzato il seguente schema statico (trave a due campate semplicemente appoggiata in corrispondenza dei pilastri e incastrata in corrispondenza del setto di controvento).



ANALISI DELLE SOLLECITAZIONI

Nell'equazione dei 3 momenti, se la trave è incastrata a una o entrambe le estremità, per la risoluzione si può trasformare l'incastro in un doppio appoggio fittizio. La nuova campata deve avere luce nulla ed essere scarica:



$$\left\{ \begin{array}{l} \cancel{M_A} L_A + 2 M_B (L_B + L_A) + M_C L_B = -\frac{1}{4} (p_B L_B^3 + p_A L_A^3) \\ M_B L_B + 2 M_C (L_B + \cancel{L_0}) + \cancel{M_0} L_B = -\frac{1}{4} (p_B L_B^3 + \cancel{p_0 L_0^3}) \end{array} \right. \quad P_0=0; L_0=0; M_0=0$$

ANALISI DELLE SOLLECITAZIONI

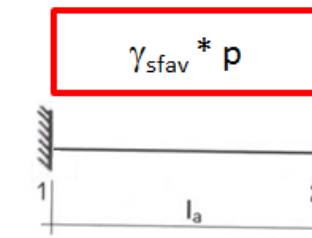
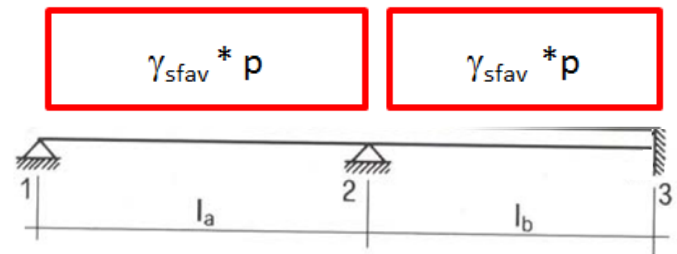
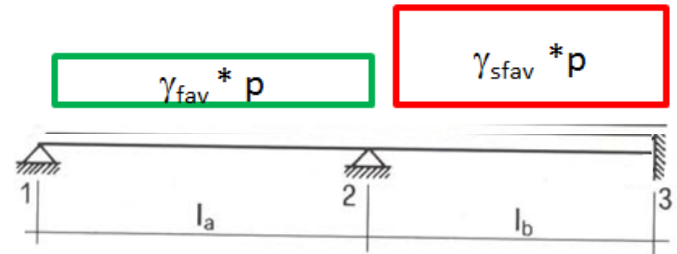
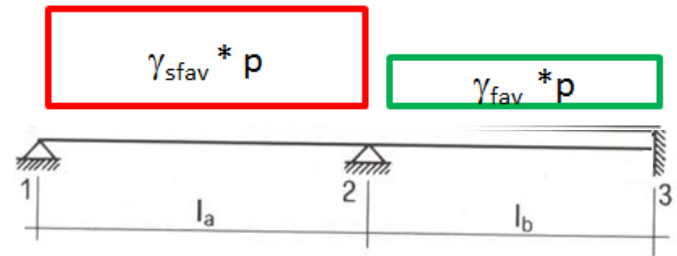
Nelle travi, come nei solai, per trovare **le massime sollecitazioni a momento e a taglio**, è pertanto necessario considerare diverse **combinazioni di carico**, per tenere in conto che l'entità dei carichi può risultare variata da una campata all'altra rispetto al valore calcolato.

Questa variabilità dei carichi rispetto al valore calcolato viene tenuta in conto attraverso dei coefficienti amplificativi (γ_{sfav}) e riduttivi (γ_{fav}) (sono gli stessi visti per i solai).

ANALISI DELLE SOLLECITAZIONI

Combinazioni di carico:

- COMBINAZIONE 1
(per massimizzare il momento in campata a)
- COMBINAZIONE 2
(per massimizzare il momento in campata b)
- COMBINAZIONE 3
(per massimizzare il momento all'appoggio 2)
- COMBINAZIONE 4
(solo per l'estremità appoggiata, per massimizzare il momento all'appoggio 1)



(prendo il 60% del momento d'incastro di estremità)

ANALISI DELLE SOLLECITAZIONI – SLU

Per la trave di spina si ha pertanto che:

$$\begin{aligned}\gamma_{sfav} * \mathbf{p} &= \gamma_{sfav,G1} * \mathbf{g}_1 + \gamma_{sfav,G2} * \mathbf{g}_2 + \gamma_{sfav,Qk} * \mathbf{q}_k \\ &= 1,30 * 23,10 \text{ kN/m} + 1,50 * 20,03 \text{ kN/m} + 1,50 * 14,00 \text{ kN/m} \\ &= 30,03 \text{ kN/m} + 30,05 \text{ kN/m} + 21,00 \text{ kN/m} \\ &= \mathbf{81,08 \text{ kN/m}}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\gamma_{fav} * \mathbf{p} &= \gamma_{fav,G1} * \mathbf{g}_1 + \gamma_{fav,G2} * \mathbf{g}_2 + \gamma_{fav,Qk} * \mathbf{q}_k \\ &= 1,00 * 23,10 \text{ kN/m} + 0,00 * 20,03 \text{ kN/m} + 0,00 * 14,00 \text{ kN/m} \\ &= 23,10 \text{ kN/m} + 0,00 \text{ kN/m} + 0,00 \text{ kN/m} \\ &= \mathbf{23,10 \text{ kN/m}}\end{aligned}$$

ANALISI DELLE SOLLECITAZIONI - SLU

Per la trave di bordo si ha pertanto che:

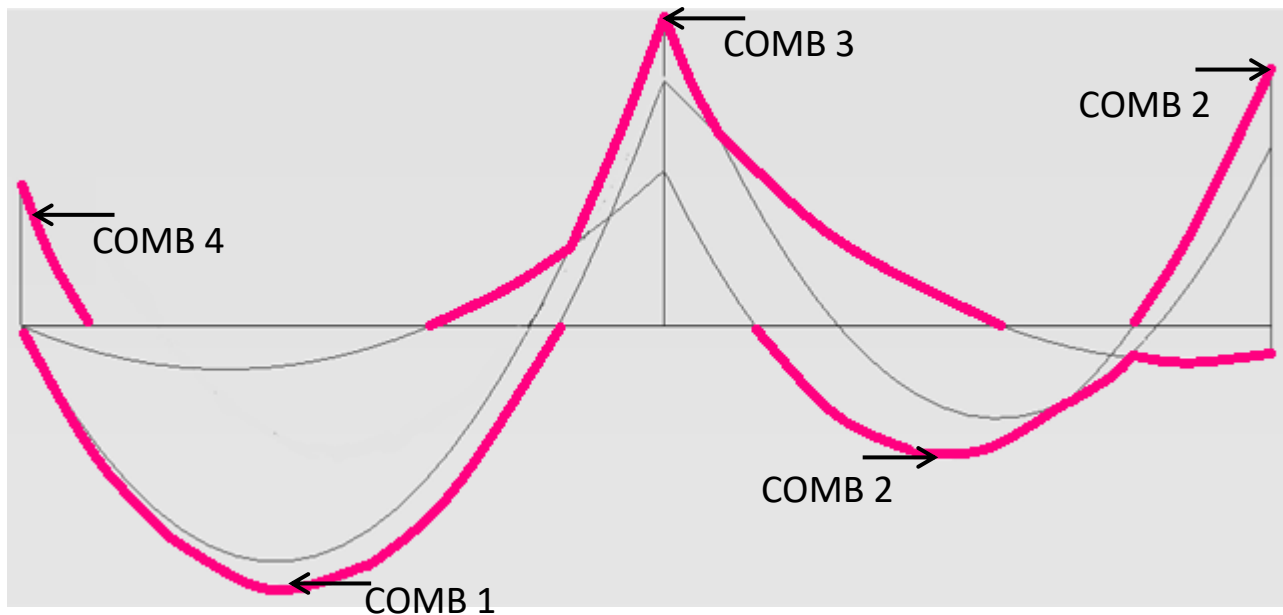
$$\begin{aligned}\gamma_{sfav} * p &= \gamma_{sfav,G1} * g_1 + \gamma_{sfav,G2} * g_2 + \gamma_{sfav,Qk} * q_k \\ &= 1,30 * 7,73 \text{ kN/m} + 1,50 * 6,70 \text{ kN/m} + 1,50 * 4,68 \text{ kN/m} \\ &= 10,05 \text{ kN/m} + 10,04 \text{ kN/m} + 7,02 \text{ kN/m} \\ &= \mathbf{27,12 \text{ kN/m}}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\gamma_{fav} * p &= \gamma_{fav,G1} * g_1 + \gamma_{fav,G2} * g_2 + \gamma_{fav,Qk} * q_k \\ &= 1,00 * 7,73 \text{ kN/m} + 0,00 * 6,70 \text{ kN/m} + 0,00 * 4,68 \text{ kN/m} \\ &= 7,73 \text{ kN/m} + 0,00 \text{ kN/m} + 0,00 \text{ kN/m} \\ &= \mathbf{7,73 \text{ kN/m}}\end{aligned}$$

ANALISI DELLE SOLLECITAZIONI - SLU

MOMENTI - Trave di spina TR_15-13

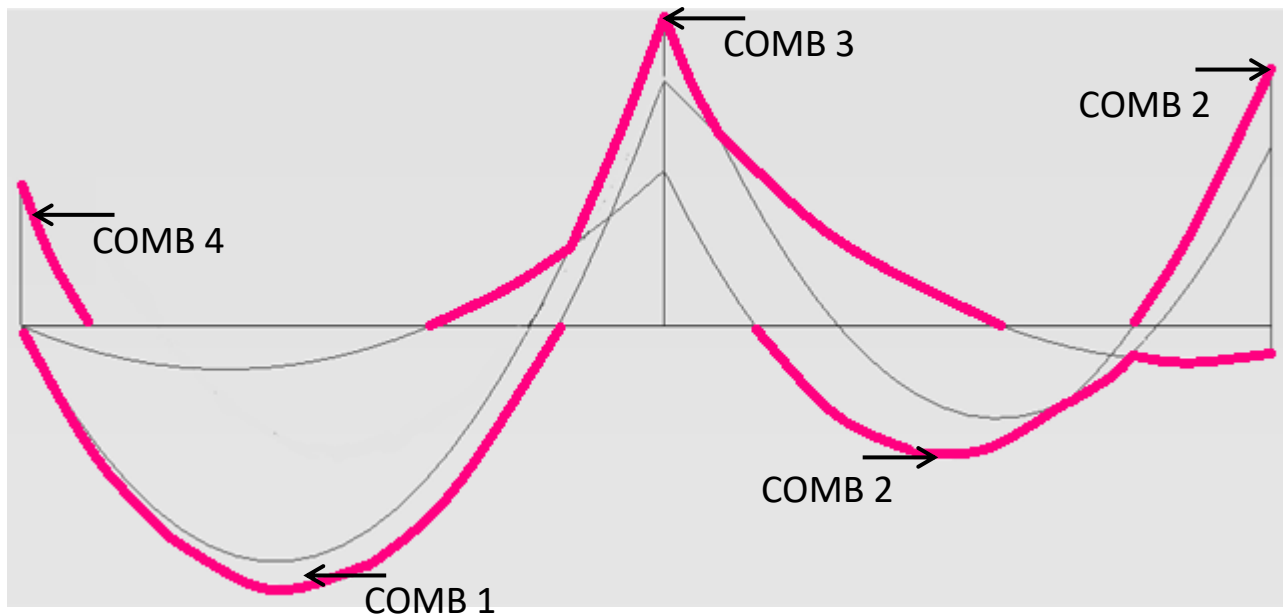
	$M_{\max,1}^-$	$M_{\max,a}^+$	$M_{\max,2}^-$	$M_{\max,b}^+$	$M_{\max,3}^-$
COMB 1	0	140,4	-131,4	18,6	14,6
COMB 2	0	23,2	-82,9	69,7	-137,3
COMB 3	0	125,7	-166,7	49,4	-95,5
COMB 4	-80,28	/	/	/	/



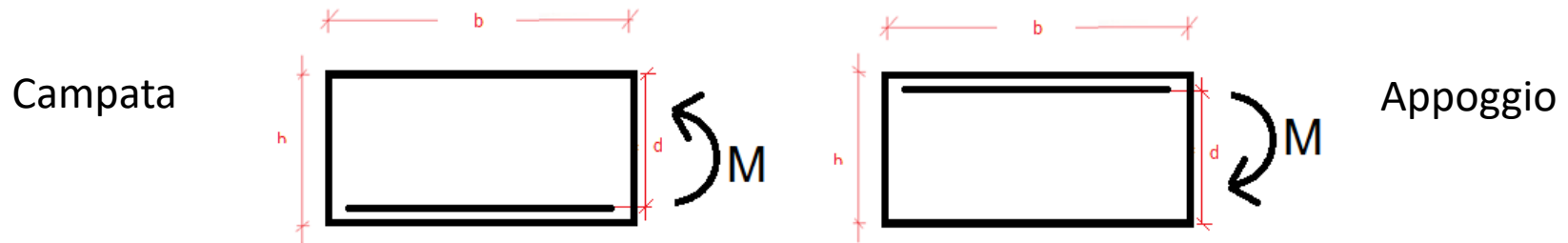
ANALISI DELLE SOLLECITAZIONI - SLU

MOMENTI - Trave di bordo TR_23-20

	$M^-_{max,1}$	$M^+_{max,a}$	$M^-_{max,2}$	$M^+_{max,b}$	$M^-_{max,3}$
COMB 1	0	47,3	-43,9	6,2	4,9
COMB 2	0	7,7	-27,7	23,3	-45,9
COMB 3	0	42,0	-55,8	16,6	-32,0
COMB 4	-26,8	/	/	/	/



DIMENSIONAMENTO



Note le sollecitazioni, è necessario stabilire le dimensioni della sezione delle travi e dimensionare l'armatura tesa A_s , attraverso le equazioni

PER LE TRAVI DI SPINA, se in spessore di solaio, le incognite sono A_s e la larghezza della sezione b (l'altezza è fissata pari allo spessore del solaio strutturale).

La larghezza delle travi in spessore di solaio per campate fino a 5-6 m varia, mediamente, da 700 a 1000 mm

Per l'esempio in esame, ipotizzo $b = 750$ mm

PER LE TRAVI DI BORDO, le incognite sono A_s e l'altezza della sezione d (la larghezza è fissata pari a quella dei pilastri perimetrali).

Per l'esempio in esame, ipotizzo $d = 300$ mm

DIMENSIONAMENTO

Trave di spina TR_15-13

$$\text{Campata A} \quad A_{s,min} = \frac{140400000 \text{ N}\cdot\text{mm}}{0,9 \cdot 243 \text{ mm} \cdot 391 \text{ MPa}} = 1641,88 \text{ mm}^2$$

$$\text{Campata B} \quad A_{s,min} = \frac{69700000 \text{ N}\cdot\text{mm}}{0,9 \cdot 243 \text{ mm} \cdot 391 \text{ MPa}} = 815,09 \text{ mm}^2$$

$$\text{Appoggio 2} \quad A_{s,min} = \frac{166700000 \text{ N}\cdot\text{mm}}{0,9 \cdot 243 \text{ mm} \cdot 391 \text{ MPa}} = 1949,44 \text{ mm}^2$$

$$\text{Appoggio 1} \quad A_{s,min} = \frac{80270000 \text{ N}\cdot\text{mm}}{0,9 \cdot 243 \text{ mm} \cdot 391 \text{ MPa}} = 938,82 \text{ mm}^2$$

$$\text{Appoggio 3} \quad A_{s,min} = \frac{137300000 \text{ N}\cdot\text{mm}}{0,9 \cdot 243 \text{ mm} \cdot 391 \text{ MPa}} = 1605,63 \text{ mm}^2$$

OSS. d sarà pari all'altezza del solaio strutturale (240+50 mm) diminuita del copriferro netto (30 mm) , del diametro delle staffe (8mm) del raggio delle armature (9 mm)

DIMENSIONAMENTO

Trave di bordo TR_23-20

$$\text{Campata A} \quad A_{s,min} = \frac{47300000 \text{ N}\cdot\text{mm}}{0,9 \cdot 253 \text{ mm} \cdot 391 \text{ MPa}} = 531,28 \text{ mm}^2$$

$$\text{Campata B} \quad A_{s,min} = \frac{23300000 \text{ N}\cdot\text{mm}}{0,9 \cdot 253 \text{ mm} \cdot 391 \text{ MPa}} = 261,71 \text{ mm}^2$$

$$\text{Appoggio 2} \quad A_{s,min} = \frac{55800000 \text{ N}\cdot\text{mm}}{0,9 \cdot 253 \text{ mm} \cdot 391 \text{ MPa}} = 626,75 \text{ mm}^2$$

$$\text{Appoggio 1} \quad A_{s,min} = \frac{26800000 \text{ N}\cdot\text{mm}}{0,9 \cdot 253 \text{ mm} \cdot 391 \text{ MPa}} = 301,02 \text{ mm}^2$$

$$\text{Appoggio 3} \quad A_{s,min} = \frac{45900000 \text{ N}\cdot\text{mm}}{0,9 \cdot 253 \text{ mm} \cdot 391 \text{ MPa}} = 515,55 \text{ mm}^2$$

OSS. d sarà pari all'altezza della trave (ipotizzo 300mm) diminuita del copriferro netto (30 mm), del diametro delle staffe (8mm) del raggio delle armature (9 mm)

DIMENSIONAMENTO DELLE ARMATURE

Trave di spina TR_15-13

Campata A con **8 ϕ 18** si ha $A_S^* = 8 \cdot \left(\frac{\pi \cdot 18^2}{4}\right) = 2034,72 > 1641,88 \text{ mm}^2$

Campata B con **5 ϕ 18** si ha $A_S^* = 5 \cdot \left(\frac{\pi \cdot 18^2}{4}\right) = 1271,70 \text{ mm}^2 > 815,09 \text{ mm}^2$

Appoggio 2 con **10 ϕ 18** si ha $A_S^* = 10 \cdot \left(\frac{\pi \cdot 18^2}{4}\right) = 2543,40 \text{ mm}^2 > 1949,44 \text{ mm}^2$

Appoggio 1 con **5 ϕ 18** si ha $A_S^* = 5 \cdot \left(\frac{\pi \cdot 18^2}{4}\right) = 1271,70 \text{ mm}^2 > 938,82 \text{ mm}^2$

Appoggio 3 con **9 ϕ 18** si ha $A_S^* = 9 \cdot \left(\frac{\pi \cdot 18^2}{4}\right) = 2289,06 \text{ mm}^2 > 1605,63 \text{ mm}^2$

DIMENSIONAMENTO DELLE ARMATURE

Trave di bordo TR_23-20

Campata A con **3 ϕ 18** si ha $A_s^* = 3 \cdot \left(\frac{\pi \cdot 18^2}{4}\right) = 763,41 \text{ mm}^2 > 531,28 \text{ mm}^2$

Campata B con **2 ϕ 18** si ha $A_s^* = 2 \cdot \left(\frac{\pi \cdot 18^2}{4}\right) = 508,94 \text{ mm}^2 > 261,71 \text{ mm}^2$

Appoggio 2 con **3 ϕ 18** si ha $A_s^* = 3 \cdot \left(\frac{\pi \cdot 18^2}{4}\right) = 763,41 \text{ mm}^2 > 626,75 \text{ mm}^2$

Appoggio 1 con **2 ϕ 18** si ha $A_s^* = 2 \cdot \left(\frac{\pi \cdot 18^2}{4}\right) = 508,94 \text{ mm}^2 > 301,02 \text{ mm}^2$

Appoggio 3 con **3 ϕ 18** si ha $A_s^* = 3 \cdot \left(\frac{\pi \cdot 18^2}{4}\right) = 763,41 \text{ mm}^2 > 515,55 \text{ mm}^2$

VERIFICHE DI RESISTENZA SLU - FLESSIONE

Bisogna verificare che i momenti resistenti M_{Rd} relativi alle armature scelte siano superiori ai momenti sollecitanti M_{Sd} :

$$M_{Rd} = A_s^* \cdot 0,9 \cdot d \cdot f_{yd} > M_{Sd}$$

Trave di spina TR_15-13

Campata A $M_{Rd} = 2034,72 \text{ mm}^2 \cdot 0,9 \cdot 243 \text{ mm} \cdot 391 \text{ MPa} = 173992366 \text{ N} \cdot \text{mm}$
 $= 173,99 \text{ kN} \cdot \text{m} > 140,40 \text{ kN} \cdot \text{m} \quad \checkmark \text{ VERIFICATO}$

Campata B $M_{Rd} = 1071,70 \text{ mm}^2 \cdot 0,9 \cdot 243 \text{ mm} \cdot 391 \text{ MPa} = 108745229 \text{ N} \cdot \text{mm}$
 $= 108,75 \text{ kN} \cdot \text{m} > 69,70 \text{ kN} \cdot \text{m} \quad \checkmark \text{ VERIFICATO}$

Appoggio 2 $M_{Rd} = 2543,40 \text{ mm}^2 \cdot 0,9 \cdot 243 \text{ mm} \cdot 391 \text{ MPa} = 217490458 \text{ N} \cdot \text{mm}$
 $= 217,49 \text{ kN} \cdot \text{m} > 188,70 \text{ kN} \cdot \text{m} \quad \checkmark \text{ VERIFICATO}$

Appoggio 1 $M_{Rd} = 1271,70 \text{ mm}^2 \cdot 0,9 \cdot 243 \text{ mm} \cdot 391 \text{ MPa} = 108745229 \text{ N} \cdot \text{mm}$
 $= 108,75 \text{ kN} \cdot \text{m} > 80,27 \text{ kN} \cdot \text{m} \quad \checkmark \text{ VERIFICATO}$

Appoggio 3 $M_{Rd} = 2289,06 \text{ mm}^2 \cdot 0,9 \cdot 243 \text{ mm} \cdot 391 \text{ MPa} = 195741412 \text{ N} \cdot \text{mm}$
 $= 195,74 \text{ kN} \cdot \text{m} > 137,30 \text{ kN} \cdot \text{m} \quad \checkmark \text{ VERIFICATO}$

VERIFICHE DI RESISTENZA SLU - FLESSIONE

Bisogna verificare che i momenti resistenti M_{Rd} relativi alle armature scelte siano superiori ai momenti sollecitanti M_{Sd} :

$$M_{Rd} = A_s^* \cdot 0,9 \cdot d \cdot f_{yd} > M_{Sd}$$

Trave di bordo TR_23-20

Campata A $M_{Rd} = 763,41 \text{ mm}^2 \cdot 0,9 \cdot 253 \text{ mm} \cdot 391 \text{ MPa} = 67932205 \text{ N} \cdot \text{mm}$
 $67,93 \text{ kN} \cdot \text{m} > 47,30 \text{ kN} \cdot \text{m} \quad \checkmark \text{ VERIFICATO}$

Campata B $M_{Rd} = 508,94 \text{ mm}^2 \cdot 0,9 \cdot 253 \text{ mm} \cdot 391 \text{ MPa} = 45288137 \text{ N} \cdot \text{mm}$
 $= 45,29 \text{ kN} \cdot \text{m} > 23,30 \text{ kN} \cdot \text{m} \quad \checkmark \text{ VERIFICATO}$

Appoggio 2 $M_{Rd} = 763,41 \text{ mm}^2 \cdot 0,9 \cdot 253 \text{ mm} \cdot 391 \text{ MPa} = 67932205 \text{ N} \cdot \text{mm}$
 $= 67,93 \text{ kN} \cdot \text{m} > 55,80 \text{ kN} \cdot \text{m} \quad \checkmark \text{ VERIFICATO}$

Appoggio 1 $M_{Rd} = 508,94 \text{ mm}^2 \cdot 0,9 \cdot 253 \text{ mm} \cdot 391 \text{ MPa} = 45288137 \text{ N} \cdot \text{mm}$
 $= 45,29 \text{ kN} \cdot \text{m} > 26,80 \text{ kN} \cdot \text{m} \quad \checkmark \text{ VERIFICATO}$

Appoggio 3 $M_{Rd} = 763,41 \text{ mm}^2 \cdot 0,9 \cdot 253 \text{ mm} \cdot 391 \text{ MPa} = 67932205 \text{ N} \cdot \text{mm}$
 $= 67,93 \text{ kN} \cdot \text{m} > 45,90 \text{ kN} \cdot \text{m} \quad \checkmark \text{ VERIFICATO}$

VERIFICHE DI RESISTENZA SLU - FLESSIONE

Bisogna inoltre verificare che il collasso avvenga con l'armatura tesa snervata (collasso duttile). La verifica può essere effettuata verificando che

$$\omega_s = \frac{f_{yd} \cdot A_s^*}{f_{cd} \cdot b \cdot d} < \bar{\omega}_s = 0,52$$

Trave di spina TR_15-13

Campata A $\omega_s = \frac{391 \text{ MPa} \cdot 2034,72 \text{ mm}^2}{14,17 \text{ MPa} \cdot 750 \text{ mm} \cdot 243 \text{ mm}} = 0,31 < \bar{\omega}_s = 0,52$ ✓ VERIFICATO

Campata B $\omega_s = \frac{391 \text{ MPa} \cdot 1271,70 \text{ mm}^2}{14,17 \text{ MPa} \cdot 750 \text{ mm} \cdot 243 \text{ mm}} = 0,19 < \bar{\omega}_s = 0,52$ ✓ VERIFICATO

Appoggio 2 $\omega_s = \frac{391 \text{ MPa} \cdot 2543,40 \text{ mm}^2}{14,17 \text{ MPa} \cdot 750 \text{ mm} \cdot 243 \text{ mm}} = 0,39 < \bar{\omega}_s = 0,52$ ✓ VERIFICATO

Appoggio 1 $\omega_s = \frac{391 \text{ MPa} \cdot 1271,70 \text{ mm}^2}{14,17 \text{ MPa} \cdot 750 \text{ mm} \cdot 243 \text{ mm}} = 0,19 < \bar{\omega}_s = 0,52$ ✓ VERIFICATO

Appoggio 3 $\omega_s = \frac{391 \text{ MPa} \cdot 12289,06 \text{ mm}^2}{14,17 \text{ MPa} \cdot 750 \text{ mm} \cdot 243 \text{ mm}} = 0,35 < \bar{\omega}_s = 0,52$ ✓ VERIFICATO

VERIFICHE DI RESISTENZA SLU - FLESSIONE

Bisogna inoltre verificare che il collasso avvenga con l'armatura tesa snervata (collasso duttile). La verifica può essere effettuata verificando che

$$\omega_s = \frac{f_{yd} \cdot A_s^*}{f_{cd} \cdot b \cdot d} < \bar{\omega}_s = 0,52$$

Trave di bordo TR_23-20

Campata A $\omega_s = \frac{391 \text{ MPa} \cdot 763,02 \text{ mm}^2}{14,17 \text{ MPa} \cdot 300 \text{ mm} \cdot 253 \text{ mm}} = 0,28 < \bar{\omega}_s = 0,52$ ✓ VERIFICATO

Campata B $\omega_s = \frac{391 \text{ MPa} \cdot 508,68 \text{ mm}^2}{14,17 \text{ MPa} \cdot 300 \text{ mm} \cdot 253 \text{ mm}} = 0,19 < \bar{\omega}_s = 0,52$ ✓ VERIFICATO

Appoggio 2 $\omega_s = \frac{391 \text{ MPa} \cdot 763,02 \text{ mm}^2}{14,17 \text{ MPa} \cdot 300 \text{ mm} \cdot 253 \text{ mm}} = 0,28 < \bar{\omega}_s = 0,52$ ✓ VERIFICATO

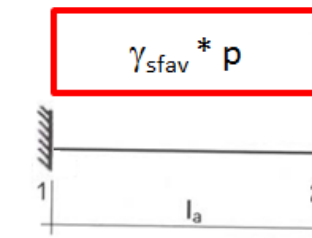
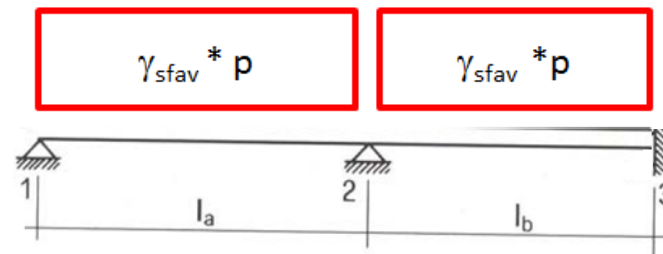
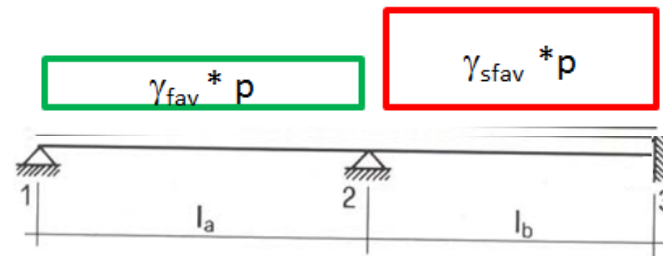
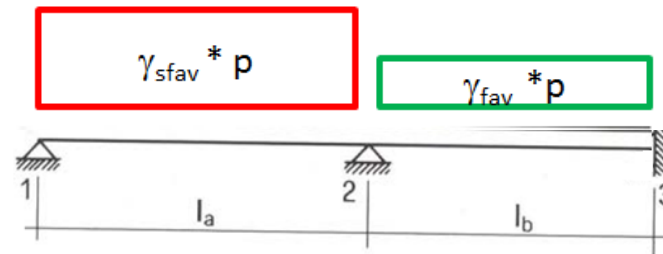
Appoggio 1 $\omega_s = \frac{391 \text{ MPa} \cdot 508,68 \text{ mm}^2}{14,17 \text{ MPa} \cdot 300 \text{ mm} \cdot 253 \text{ mm}} = 0,19 < \bar{\omega}_s = 0,52$ ✓ VERIFICATO

Appoggio 3 $\omega_s = \frac{391 \text{ MPa} \cdot 763,02 \text{ mm}^2}{14,17 \text{ MPa} \cdot 300 \text{ mm} \cdot 253 \text{ mm}} = 0,28 < \bar{\omega}_s = 0,52$ ✓ VERIFICATO

ANALISI DELLE SOLLECITAZIONI - SLE

Combinazioni di carico:

- COMBINAZIONE 1
(per massimizzare il momento in campata a)
- COMBINAZIONE 2
(per massimizzare il momento in campata b)
- COMBINAZIONE 3
(per massimizzare il momento all'appoggio 2)
- COMBINAZIONE 4
(solo per estremità appoggiata, per massimizzare il momento all'appoggio 1)



(prendo il 60% del momento d'incastro di estremità)

ANALISI DELLE SOLLECITAZIONI - SLE

Per la trave di spina si ha pertanto che:

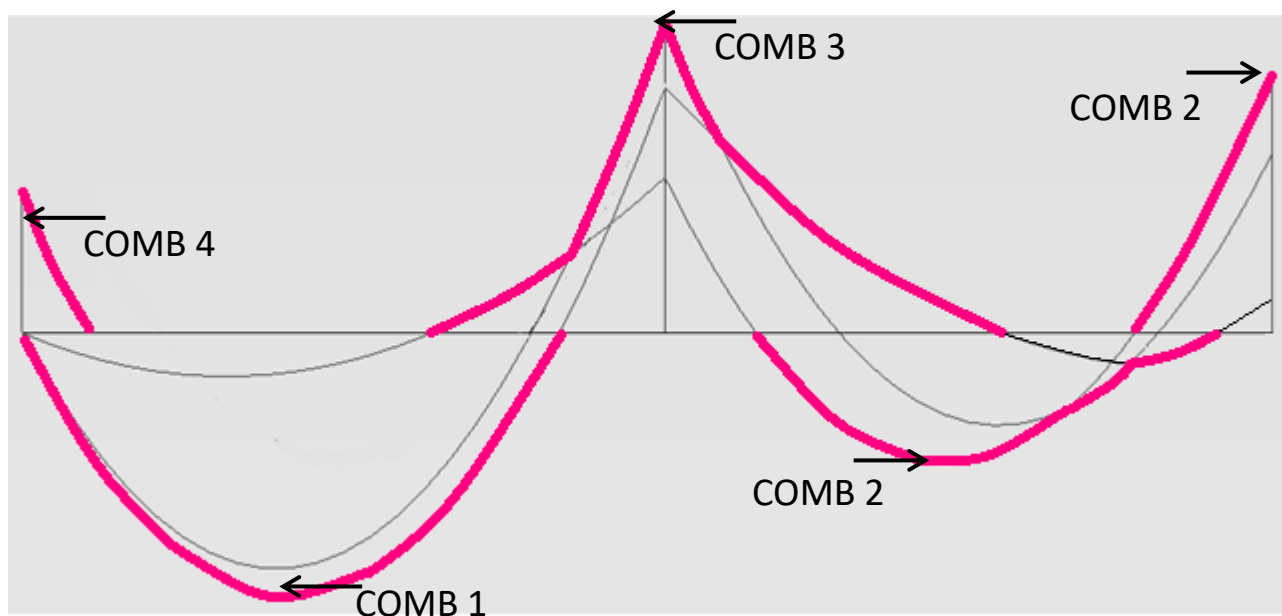
$$\begin{aligned}\gamma_{sfav} * p &= \gamma_{sfav,G1} * g_1 + \gamma_{sfav,G2} * g_2 + \gamma_{sfav,Qk} * q_k \\ &= 1,00 * 23,10 \text{ kN/m} + 1,00 * 20,03 \text{ kN/m} + 1,00 * 14,00 \text{ kN/m} \\ &= 23,10 \text{ kN/m} + 20,03 \text{ kN/m} + 14,00 \text{ kN/m} \\ &= \mathbf{57,13 \text{ kN/m}}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\gamma_{fav} * p &= \gamma_{fav,G1} * g_1 + \gamma_{fav,G2} * g_2 + \gamma_{fav,Qk} * q_k \\ &= 1,00 * 23,10 \text{ kN/m} + 0,00 * 20,03 \text{ kN/m} + 0,00 * 14,00 \text{ kN/m} \\ &= \mathbf{23,10 \text{ kN/m}}\end{aligned}$$

ANALISI DELLE SOLLECITAZIONI - SLE

MOMENTI - Trave di spina TR_15-13

	$M^-_{max,1}$	$M^+_{max,a}$	$M^-_{max,2}$	$M^+_{max,b}$	$M^-_{max,3}$
COMB 1	0	96,98	-96,88	12,11	-2,50
COMB 2	0	28,14	-68,28	45,97	-91,71
COMB 3	0	88,69	-117,7	34,91	-67,05
COMB 4	-56,60	/	/	/	/



ANALISI DELLE SOLLECITAZIONI - SLE

Per la trave di bordo si ha pertanto che:

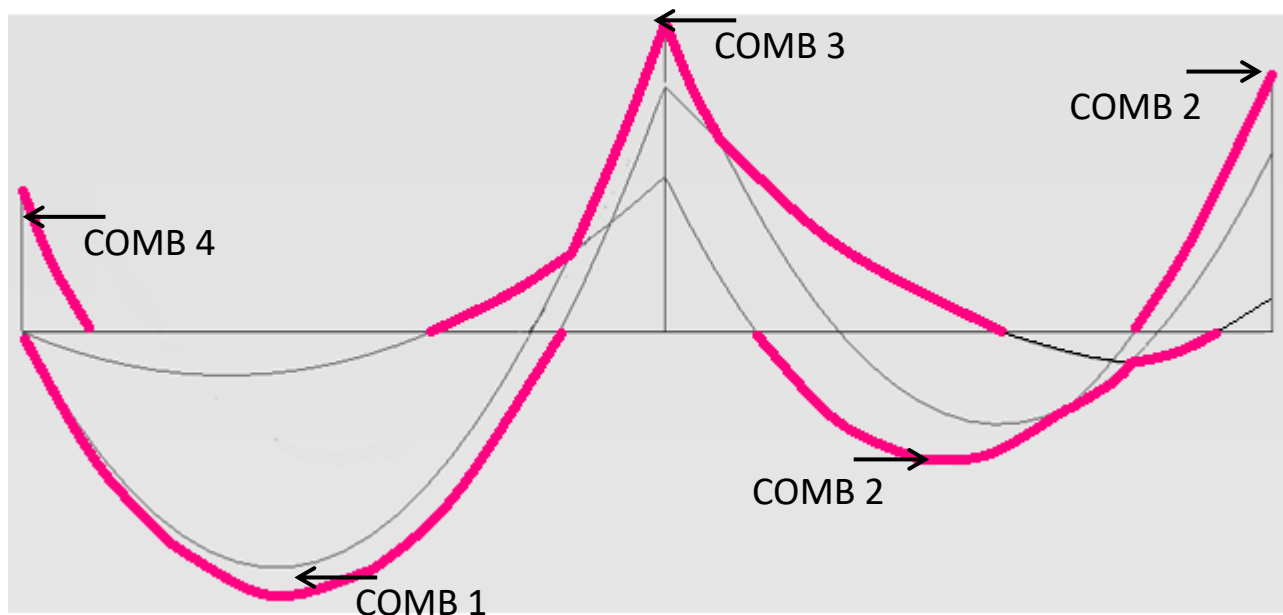
$$\begin{aligned}\gamma_{sfav} * p &= \gamma_{sfav,G1} * g_1 + \gamma_{sfav,G2} * g_2 + \gamma_{sfav,Qk} * q_k \\ &= 1,00 * 7,73 \text{ kN/m} + 1,00 * 6,70 \text{ kN/m} + 1,00 * 4,68 \text{ kN/m} \\ &= 7,73 \text{ kN/m} + 6,70 \text{ kN/m} + 4,68 \text{ kN/m} \\ &= \mathbf{19,11 \text{ kN/m}}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\gamma_{fav} * p &= \gamma_{fav,G1} * g_1 + \gamma_{fav,G2} * g_2 + \gamma_{fav,Qk} * q_k \\ &= 1,00 * 7,73 \text{ kN/m} + 0,00 * 6,70 \text{ kN/m} + 0,00 * 4,68 \text{ kN/m} \\ &= 7,73 \text{ kN/m} + 0,00 \text{ kN/m} + 0,00 \text{ kN/m} \\ &= \mathbf{7,73 \text{ kN/m}}\end{aligned}$$

ANALISI DELLE SOLLECITAZIONI - SLE

MOMENTI - Trave di bordo TR_23-20

	$M_{\max,1}^-$	$M_{\max,a}^+$	$M_{\max,2}^-$	$M_{\max,b}^+$	$M_{\max,3}^-$
COMB 1	0	32,45	-32,41	4,05	-0,85
COMB 2	0	9,42	-22,85	15,36	-30,71
COMB 3	0	29,67	-39,34	11,65	-22,47
COMB 4	-18,92	/	/	/	/



VERIFICHE SLE - TENSIONI

VERIFICA DELLE TENSIONI MASSIME:

- di compressione, nel cls compresso

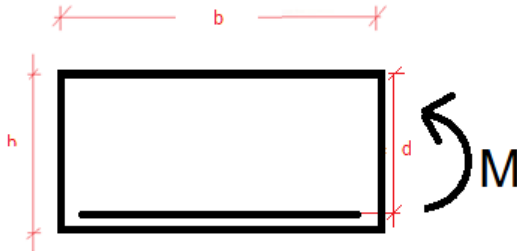
- di trazione, nell'armatura tesa

$$\sigma_c = \frac{2M}{bxz} < 0,60 f_{ck} = 15 \text{ MPa}$$

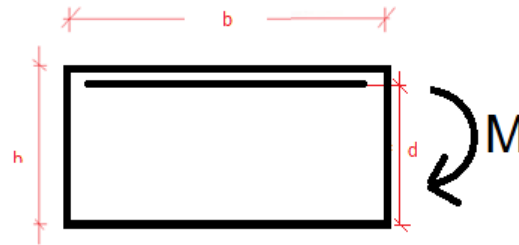
$$\sigma_s = \frac{M}{A_s z} < 0,80 f_{yk} = 360 \text{ MPa}$$

Con $z = d - \frac{x}{3}$ e con $x = \frac{\alpha_e A_s}{b} \left\{ -1 + \sqrt{1 + \frac{2bd}{\alpha_e A_s}} \right\}$ ($\alpha_e = 15$)

Campata



Appoggio



VERIFICHE SLE - TENSIONI

Trave di spina TR_15-13

	M [kN·m]	A _s [mm]	b [mm]	x [mm]	z [mm]	σ _c [MPa]	< 15 MPa?	σ _s [MPa]	< 360 MPa?
CAMPATA A	96,98	2034,72	750	105,71	207,76	11.78	✓	229.41	✓
CAMPATA B	45,97	1271,70	750	88,62	213,46	6.48	✓	169.35	✓
APPOGGIO 2	117,7	2543,40	750	114,39	204,87	13.39	✓	225.88	✓
APPOGGIO 1	56,6	1271,70	750	86,62	213,46	8.16	✓	208.50	✓
APPOGGIO 3	91,7	2289,06	750	110,25	206,25	10.75	✓	194.23	✓

VERIFICHE SLE - TENSIONI

Trave di bordo TR_23-20

	M [kN·m]	A _s [mm]	b [mm]	x [mm]	z [mm]	σ _c [MPa]	< 15 206,10 MPa?	σ _s [MPa]	< 360 MPa?
CAMPATA A	32,5	763,02	300	105,93	217,69	9.40	✓	195.66	✓
CAMPATA B	15,4	508,68	300	90,83	222,72	5.08	✓	135.93	✓
APPOGGIO 2	39,3	763,02	300	105,93	217,69	11.36	✓	236.60	✓
APPOGGIO 1	18,9	508,68	300	90,83	222,72	6.23	✓	166.82	✓
APPOGGIO 3	30,7	763,02	300	105,93	217,69	8.88	✓	184.83	✓

VERIFICHE SLE - FESSURAZIONE

(VERIFICA INDIRETTA)

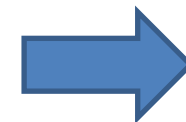
La verifica a fessurazione può essere eseguita indirettamente controllando che il diametro delle armature tese e la loro spaziatura non superino determinati limiti.

Tali limiti dipendono dallo stato tensionale delle armature in condizione di esercizio e dall'apertura massima delle fessure consentita (w).

L'apertura massima delle fessure dipende dalle condizioni ambientali cui è esposta la struttura e dalla tipologia di armatura.

Per l'edificio in esempio:

- Condizioni ambientali ordinarie (XC1-XC2-XC3);
- Armature poco sensibili (acciaio ordinario).



$w_2 = 0,3 \text{ mm}$

VERIFICHE SLE - FESSURAZIONE

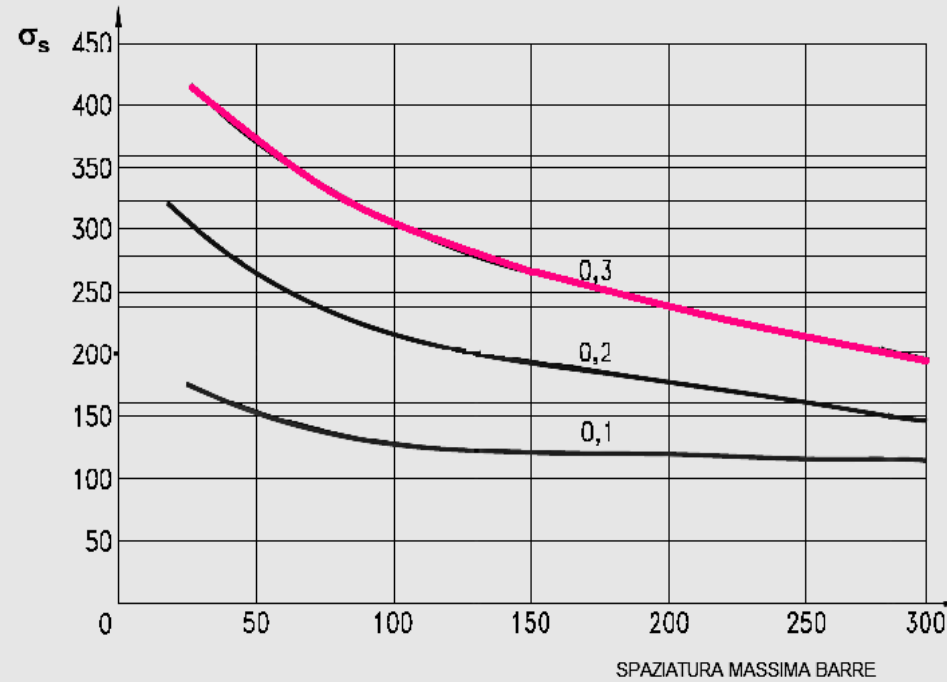
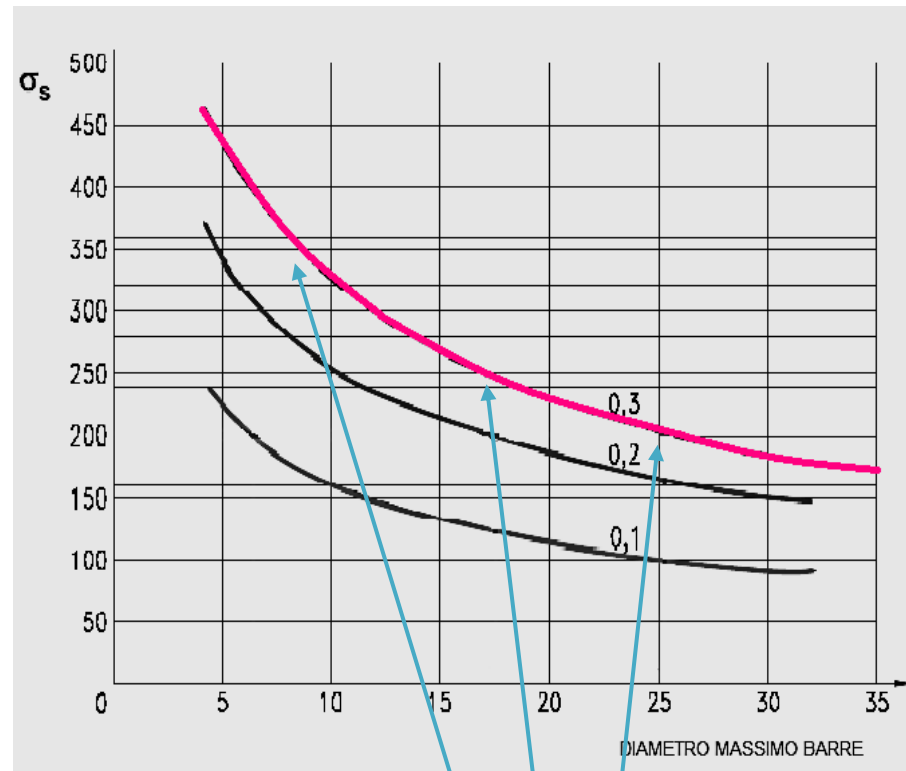


Tabelle CIRCOLARE 21 gennaio 2019

Tabella C4.1.II Diametri massimi delle barre per il controllo di fessurazione

Tensione nell'acciaio σ_s [MPa]	Diametro massimo ϕ delle barre (mm)		
	$w_3 = 0,4$ mm	$w_2 = 0,3$ mm	$w_1 = 0,2$ mm
160	40	32	25
200	32	25	16
240	20	16	12
280	16	12	8
320	12	10	6
360	10	8	-

Tabella C4.1.III -Spaziatura massima delle barre per il controllo di fessurazione

Tensione nell'acciaio σ_s [MPa]	Spaziatura massima s delle barre (mm)		
	$w_3 = 0,4$ mm	$w_2 = 0,3$ mm	$w_1 = 0,2$ mm
160	300	300	200
200	300	250	150
240	250	200	100
280	200	150	50
320	150	100	-
360	100	50	-

VERIFICHE SLE - FESSURAZIONE

Trave di spina TR_15-13

	Armatura tesa	σ_s [MPa]	ϕ [mm]	ϕ_{max} [mm]	$\phi \leq \phi_{max}$?	i [mm]	i_{max} [mm]	$\phi \leq \phi_{max}$?
CAMPATA A	8 ϕ 18	229.41	18	26	✓	94	240	✓
CAMPATA B	5 ϕ 18	169.35	18	35	✓	164	300	✓
APPOGGIO 2	10 ϕ 18	225.88	18	25	✓	73	340	✓
APPOGGIO 1	5 ϕ 18	208.50	18	24	✓	164	260	✓
APPOGGIO 3	9 ϕ 18	194.23	18	32	✓	82	290	✓

VERIFICHE SLE - FESSURAZIONE

Trave di bordo TR_23-20

	Armatura tesa	σ_s [MPa]	ϕ [mm]	ϕ_{max} [mm]	$\phi \leq \phi_{max}$?	i [mm]	i_{max} [mm]	$\phi \leq \phi_{max}$?
CAMPATA A	3 ϕ 18	195.66	18	32	✓	103	290	✓
CAMPATA B	2 ϕ 18	135.93	18	40	✓	206	350	✓
APPOGGIO 2	3 ϕ 18	236.60	18	26	✓	103	240	✓
APPOGGIO 1	2 ϕ 18	166.82	18	38	✓	206	330	✓
APPOGGIO 3	3 ϕ 18	184.83	18	32	✓	103	290	✓

VERIFICHE SLE - DEFORMAZIONE

(VERIFICA INDIRETTA)

Per luci fino a 10m la verifica di deformazione può essere eseguita indirettamente controllando che il rapporto tra luce altezza (l/h) non superi un determinato limite.

$$\frac{l}{h} \leq K \left[11 + \frac{0.0015 f_{ck}}{\rho + \rho'} \right] \cdot \left[\frac{500 A_{s,eff}}{f_{yk} A_{s,calc}} \right]^1$$

Il secondo termine tra parentesi quadre può essere assunto unitario.

Sistema strutturale	K	Calcestruzzo molto sollecitato $\rho=1,5\%$	Calcestruzzo poco sollecitato $\rho=0,5\%$
Travi semplicemente appoggiate, piastre incernierate mono o bidirezionali	1,0	14	20
Campate terminali di travi continue o piastre continue monodirezionali o bidirezionali continue sul lato maggiore	1,3	18	26
Campate intermedie di travi continue o piastre continue mono o bidirezionali	1,5	20	30
Piastre non nervate sostenute da pilastri (snellezza relativa alla luce maggiore)	1,2	17	24

VERIFICHE SLE – DEFORMAZIONE

Trave di spina TR_15-13

	A_s [mm ²]	$\rho_s = \frac{A_s}{(bd)}$ [%]	$(l/h)_{max}$	l [mm]	h [mm]	(l/h)	$(l/h) \leq (l/h)_{max}$?
CAMPATA A	2034,72	1,12	18	4450	290	15,3	✓
CAMPATA B	1271,70	0,70	18	4200	290	14,5	✓

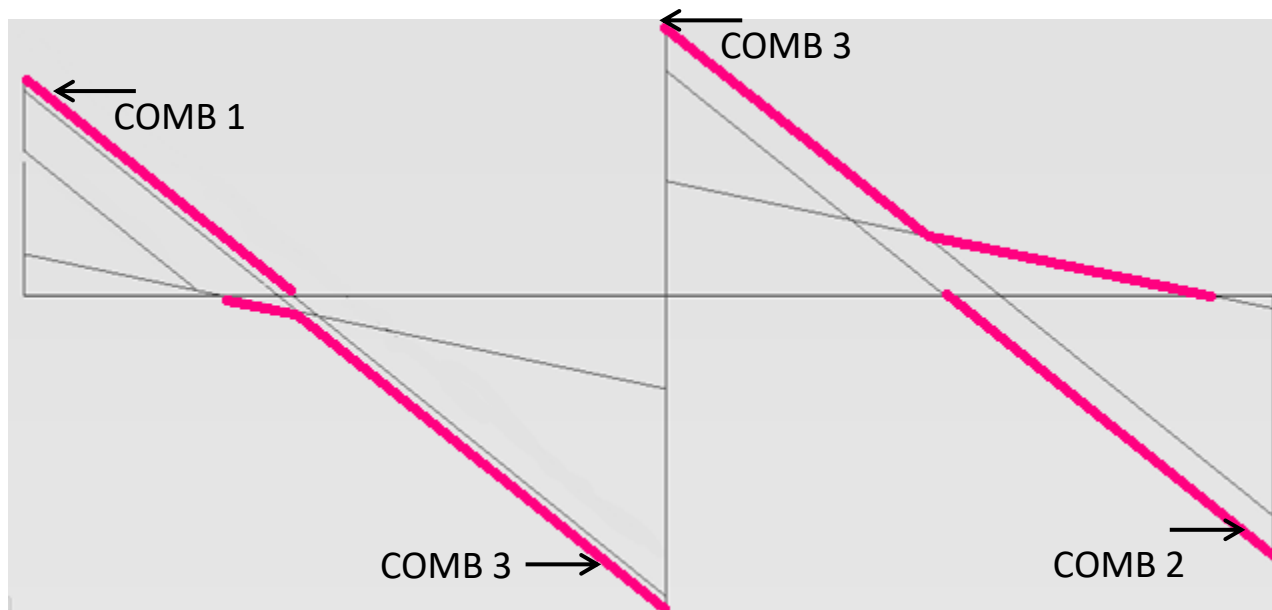
Trave di bordo TR_23-20

	A_s [mm ²]	$\rho_s = \frac{A_s}{(bd)}$ [%]	$(l/h)_{max}$	l [mm]	h [mm]	(l/h)	$(l/h) \leq (l/h)_{max}$?
CAMPATA A	763,02	1,01	18	4450	250	17,8	✓
CAMPATA B	508,68	0,67	18	4200	250	16,8	✓

ANALISI DELLE SOLLECITAZIONI - SLU

TAGLIO - Trave di spina TR_15-13

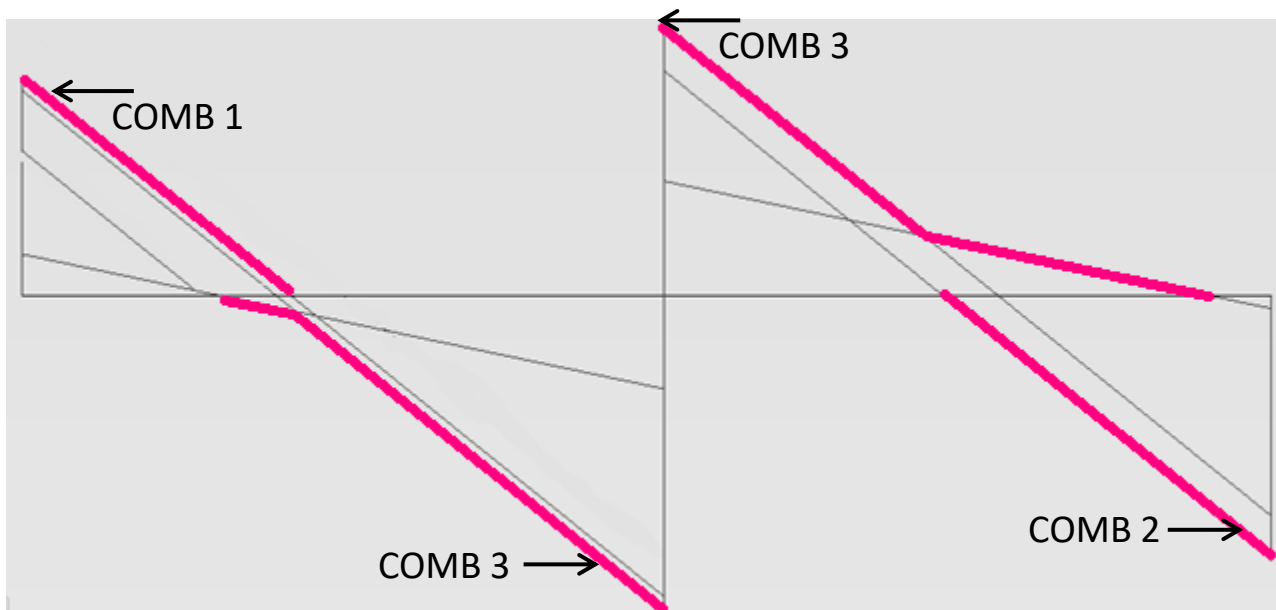
	V_1	$V_{2(a)}$	$V_{2(b)}$	V_3
COMB 1	151,2	-209,1	79,7	-9,0
COMB 2	29,0	-64,9	156,3	-184,2
COMB 3	142,9	-217,9	187,2	-153,3
COMB 4	108,2	/	/	/



ANALISI DELLE SOLLECITAZIONI - SLU

TAGLIO - Trave di bordo TR_23-20

	V_1	$V_{2(a)}$	$V_{2(b)}$	V_3
COMB 1	50,5	-70,2	27,9	-4,6
COMB 2	11,0	-23,4	52,6	-61,3
COMB 3	47,8	-72,9	62,6	-51,3
COMB 4	36,2	/	/	/



VERIFICA SLU A TAGLIO

Resistenza a “taglio-trazione” staffe

$$V_{Rsd} = \frac{A_{sw}}{s} z f_{yd} \sin \alpha (ctg \alpha + ctg \vartheta)$$

Resistenza a “taglio-compressione” cls

$$V_{Rcd} = b z f_{c2} \sin^2 \vartheta (ctg \alpha + ctg \vartheta)$$

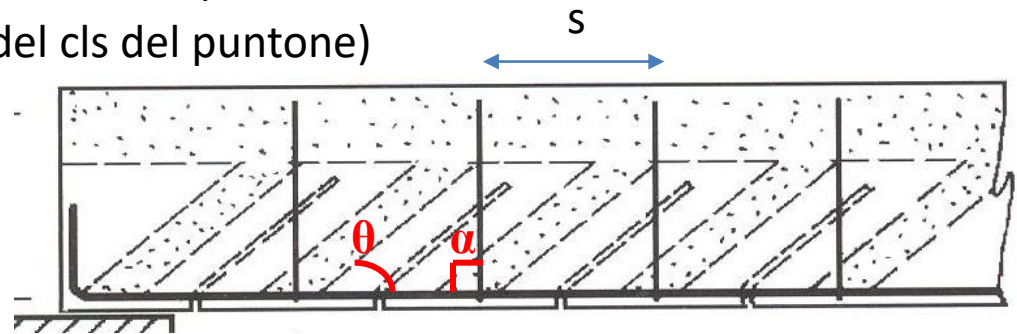
α è l'inclinazione delle armature trasversali a taglio

ϑ è l'inclinazione dei puntoni di calcestruzzo compressi

$f_{c2} \sim 0.5 f_{cd}$ (resistenza a compressione del cls del puntone)

Ipotizzando staffe disposte
perpendicolarmente rispetto all'asse
dalla trave ($\alpha = 90^\circ$),

ricordando che $\sin^2 \vartheta = \frac{1}{1 + ctg^2 \vartheta}$



$$\Rightarrow V_{Rsd} = \frac{A_{sw}}{s} z f_{yd} ctg \vartheta$$

$$\Rightarrow V_{Rcd} = b z 0.5 f_{cd} \frac{ctg \vartheta}{1 + ctg^2 \vartheta}$$

Il taglio resistente sarà pari al minore tra V_{Rsd} e V_{Rcd} .

VERIFICA SLU A TAGLIO

Quanto vale θ ?

Nella teoria del traliccio isostatico di Morsh, $\theta = 45^\circ$ (quindi $\text{ctg}\theta = 1$). Questo modello, però, conduce ad eccessivi dimensionamenti dell'armatura trasversale. Il modello va quindi perfezionato aggiungendo il contributo della resistenza a trazione del calcestruzzo (cfr. resistenza a taglio di elementi privi di specifica armatura, come i solai). Nella teoria del traliccio con puntone a inclinazione variabile tale contributo viene preso in considerazione diminuendo l'inclinazione θ (cioè aumentando il valore di $\text{ctg}\theta$).

La normativa vigente, tuttavia impedisce di utilizzare valori di θ inferiori a 22.8° (cioè valori di $\text{ctg}\theta$ superiori a 2,5).

Pertanto

$$1 \leq \text{ctg}\vartheta \leq 2,5 \quad \text{cioè} \quad 21,8^\circ \leq \vartheta \leq 45^\circ$$

VERIFICA SLU A TAGLIO

Un criterio che si può adottare per determinare il valore di θ con cui calcolare i tagli resistenti, è quello di uguagliare le due equazioni di V_{Rsd} e V_{Rcd} : si ottiene in questo modo l'inclinazione θ_{eq} delle bielle di calcestruzzo cui corrisponde il cedimento simultaneo delle bielle di calcestruzzo e delle staffe.

$$ctg \theta_{eq} = \sqrt{\frac{s \cdot b \cdot 0.5 f_{cd}}{A_{sw} \cdot f_{yd}}}$$

Questo criterio permette di massimizzare il taglio resistente della trave.

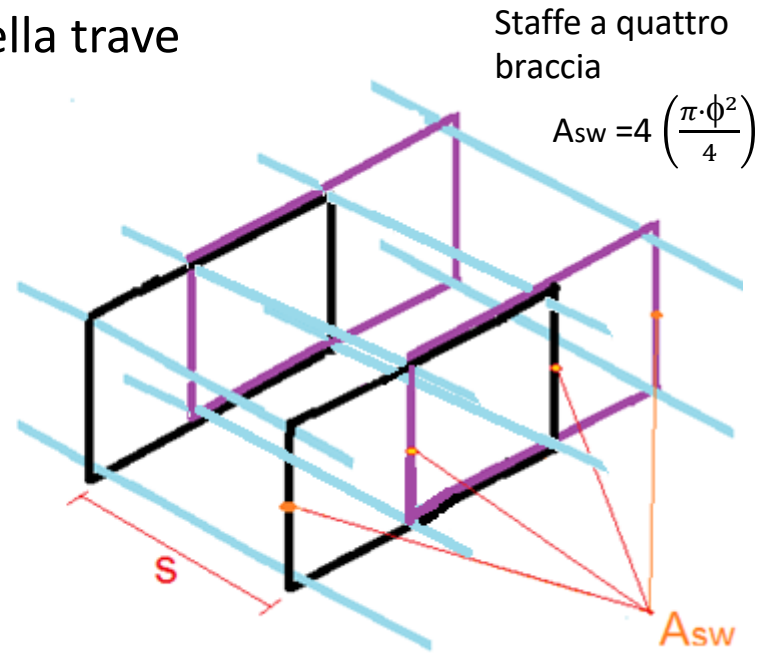
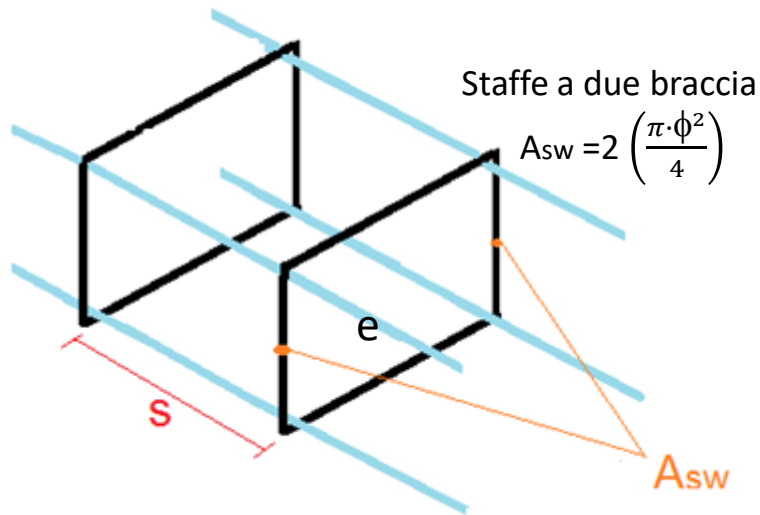
N.B. Se trovo $ctg \theta_{eq} > 2,5$, allora prenderò $ctg \theta = 2,5$

Se trovo $1 < ctg \theta_{eq} < 2,5$, allora prenderò $ctg \theta = ctg \theta_{eq}$

Se trovo $ctg \theta_{eq} < 1$, allora prenderò $ctg \theta = 1$

VERIFICA SLU A TAGLIO

N.B. A_{sw} è l'area dell'armatura trasversale di staffe
 s è il passo delle staffe, b è la larghezza della trave



LIMITAZIONI NORMATIVE: (cap 4.1.6 NTC2018)

- 1) $s < 500\text{mm}$ (cioè almeno tre staffe al metro)
- 2) $s < 0.8 d$ (d altezza utile della sezione)
- 3) $A_{sw}/s > 1,5 b \text{ mm}^2/\text{m}$ (b larghezza della sezione)

Oss. Solitamente, il passo delle staffe viene arrotondato per difetto ai 5 cm

VERIFICHE SLU - TAGLIO

Trave di spina TR_15-13 – ipotizzo staffe a 4 braccia $\phi 8$ ($A_{sw} = 201,06\text{mm}^2$)

Predimensiono l'armatura trasversale minima sulla base delle limitazioni normative: il passo s deve essere minore di 500mm (1) e di $0,8 \cdot 243 = 194,4\text{mm}$ (2), quindi scelgo $s = 150\text{mm}$. Verifico che $A_{sw}/s = 201,06\text{mm}^2/0,15\text{m} = 1340,4\text{mm}^2/\text{m} > 1,5 \cdot 750 = 1125\text{mm}^2/\text{m}$ (3).

Se con questi parametri la verifica a taglio non risulta verificata in uno o più punti della trave, in quella zona rifarò la verifica riducendo il passo di 5cm

	Staffe	A_{sw} [mm ²]	s [mm]	$ctg \varrho_{eq}$	$ctg \varrho$	V_{Rsd} [kN]	V_{Rcd} [kN]	$V_{Rd} =$ $\min(V_{Rsd}; V_{Rcd})$ [kN]	V_{Sd} [kN]	$V_{Rd} \geq V_{Sd}$?
APPOGGIO 1	$\phi 8$ a 4 braccia	201,06	150	3.02 > 2.5	2.5	286,55	400,73	286,55	151,2	✓
APPOGGIO 2a	$\phi 8$ a 4 braccia	201,06	150	3.02 > 2.5	2.5	286,55	400,73	286,55	217,9	✓
APPOGGIO 2b	$\phi 8$ a 4 braccia	201,06	150	3.02 > 2.5	2.5	286,55	400,73	286,55	187,2	✓
APPOGGIO 3	$\phi 8$ a 4 braccia	201,06	150	3.02 > 2.5	2.5	286,55	400,73	286,55	184,02	✓

VERIFICHE SLU - TAGLIO

Trave di bordo TR_23-20 – ipotizzo staffe a 2 braccia $\phi 8$ ($A_{sw} = 100,53\text{mm}^2$)

Predimensiono l'armatura trasversale minima sulla base delle limitazioni normative: il passo s deve essere minore di 500mm (1) e di $0,8 \cdot 253 = 202,4\text{mm}$ (2), quindi scelgo $s = 200\text{mm}$. Verifico che $A_{sw}/s = 100,53\text{mm}^2/0,20\text{m} = 502,65\text{mm}^2/\text{m} > 1,5 \cdot 300 = 450\text{mm}^2/\text{m}$ (3).

Se con questi parametri la verifica a taglio non risulta verificata in uno o più punti della trave, in quella zona rifarò la verifica riducendo il passo di 5cm

	Staffe	A_{sw} [mm ²]	s [mm]	$ctg \vartheta_{eq}$	$ctg \vartheta$	V_{Rsd} [kN]	V_{Rcd} [kN]	$V_{Rd} =$ $\min(V_{Rsd}; V_{Rcd})$ [kN]	V_{Sd} [kN]	$V_{Rd} \geq V_{Sd}$?
APPOGGIO 1	$\phi 8$ a 2 braccia	100,53	200	3.13 > 2.5	2.5	111,88	166,89	111,88	50,5	✓
APPOGGIO 2a	$\phi 8$ a 2 braccia	100,53	200	3.13 > 2.5	2.5	111,88	166,89	111,88	72,9	✓
APPOGGIO 2b	$\phi 8$ a 2 braccia	100,53	200	3.13 > 2.5	2.5	111,88	166,89	111,88	62,6	✓
APPOGGIO 3	$\phi 8$ a 2 braccia	100,53	200	3.13 > 2.5	2.5	111,88	166,89	111,88	61,3	✓

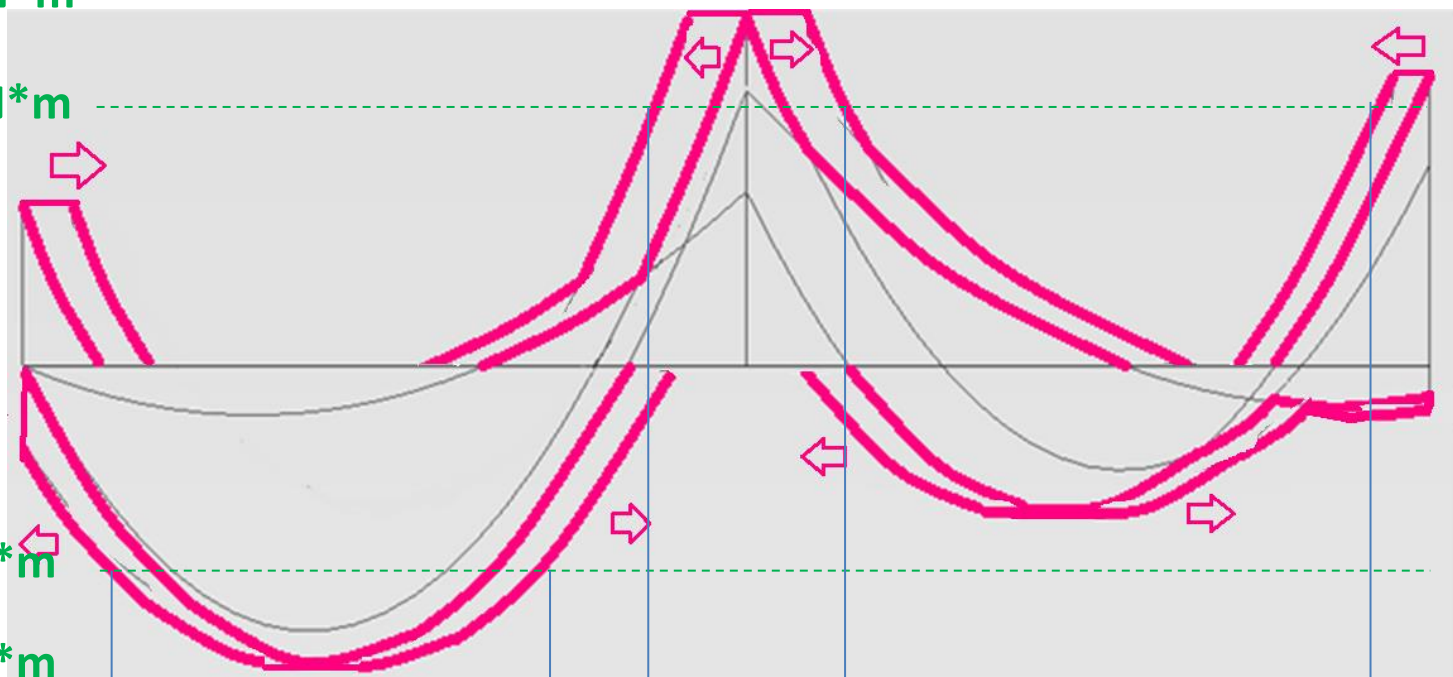
POSIZIONAMENTO DELLE ARMATURE - Trave di bordo TR_23-20

$$M_{Rd(3\phi 18)} = -67,93 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

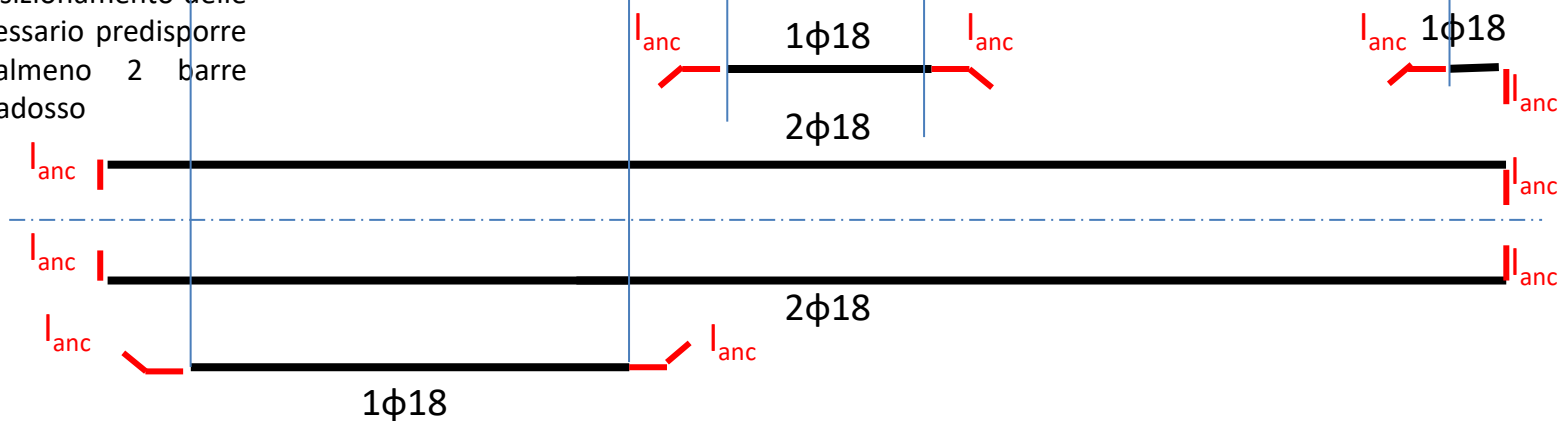
$$M_{Rd(2\phi 18)} = -45,29 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$M_{Rd(2\phi 18)} = 45,29 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$M_{Rd(3\phi 18)} = 67,93 \text{ kN} \cdot \text{m}$$



N.B. Per consentire il posizionamento delle staffe a 2 braccia è necessario predisporre IN OGNI SEZIONE almeno 2 barre all'estradosso e 2 all'intradosso



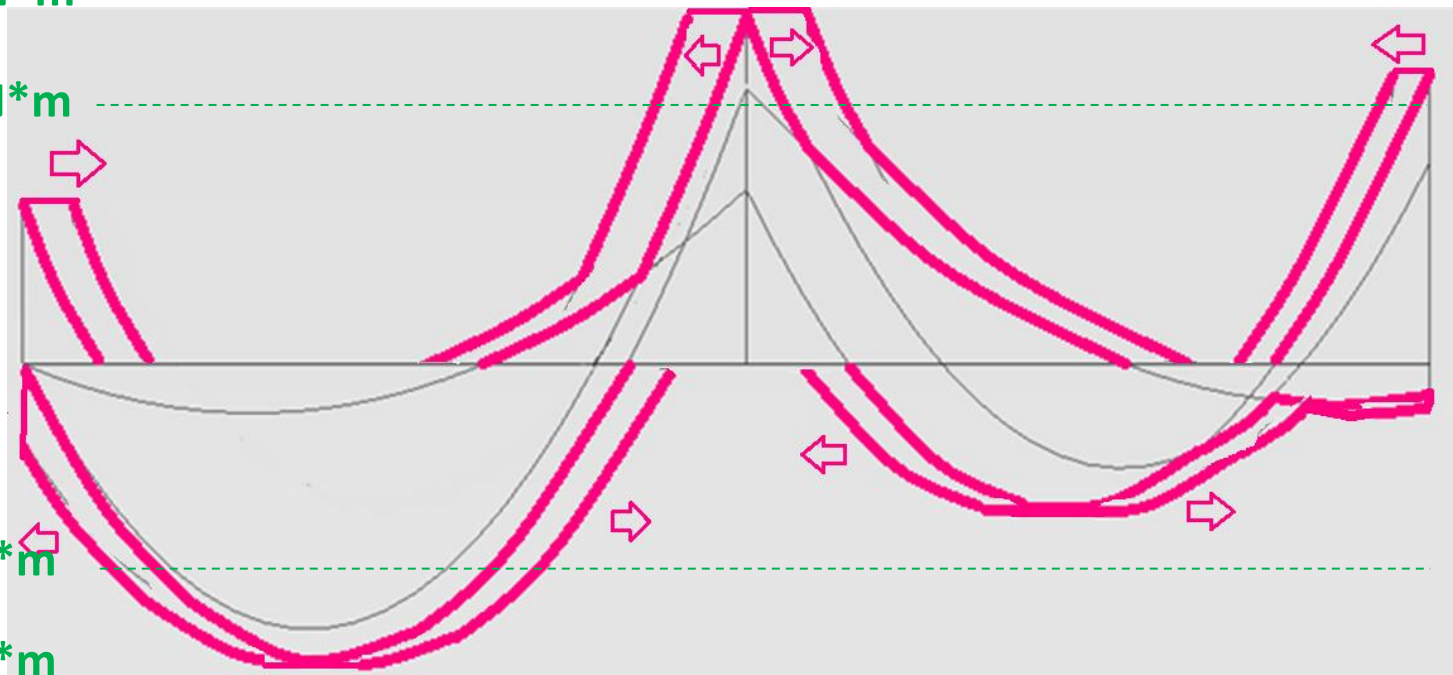
POSIZIONAMENTO DELLE ARMATURE - Trave di bordo TR_23-20

$$M_{Rd(3\phi 18)} = -67,93 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

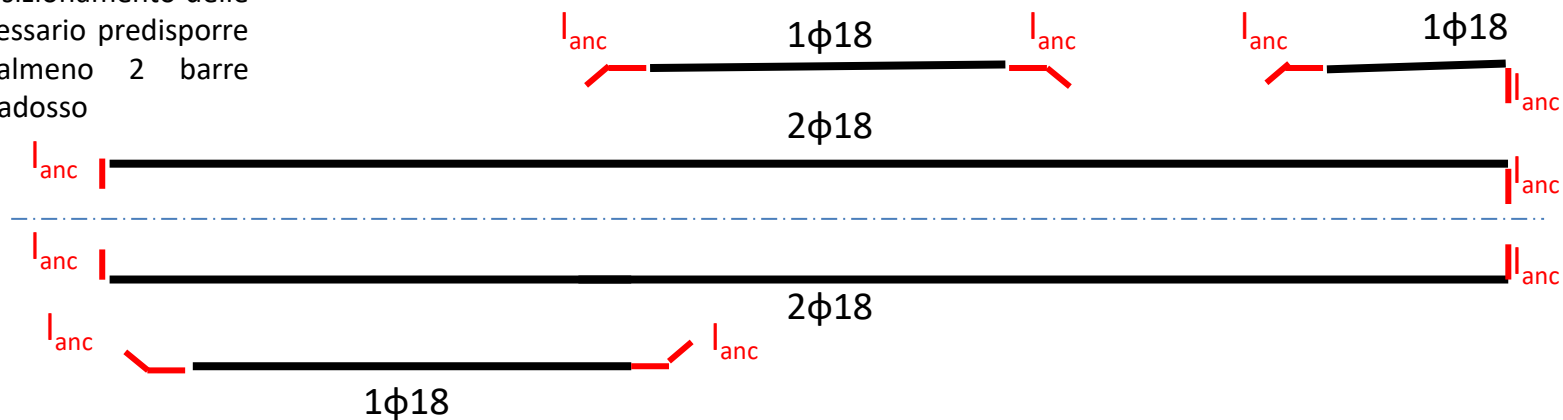
$$M_{Rd(2\phi 18)} = -45,29 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$M_{Rd(2\phi 18)} = 45,29 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$M_{Rd(3\phi 18)} = 67,93 \text{ kN} \cdot \text{m}$$



N.B. Per consentire il posizionamento delle staffe a 2 braccia è necessario predisporre IN OGNI SEZIONE almeno 2 barre all'estradosso e 2 all'intradosso



POSIZIONAMENTO DELLE ARMATURE - Trave di spina TR_15-13

$$M_{Rd(10\phi 18)} = -217,49 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$$M_{Rd(9\phi 18)} = -195,74 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

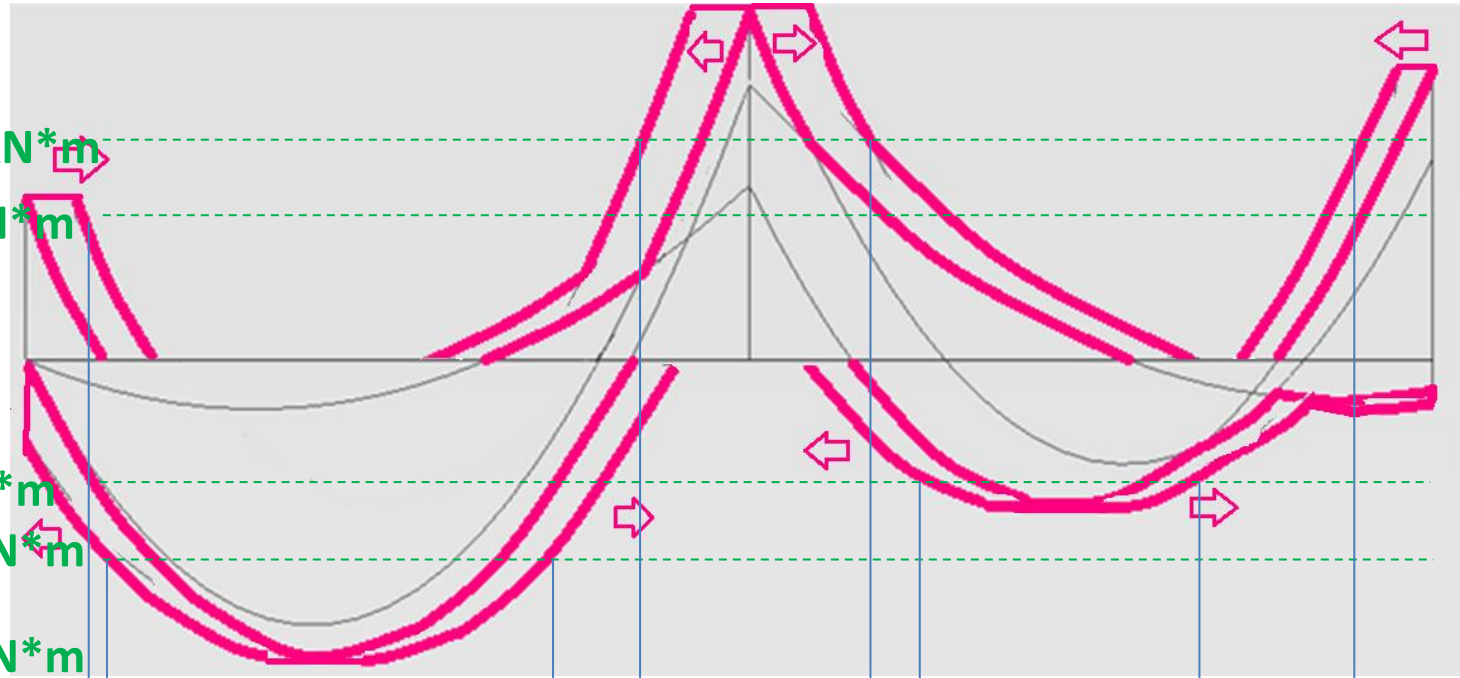
$$M_{Rd(5\phi 18)} = -108,75 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$$M_{Rd(4\phi 18)} = -87,00 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

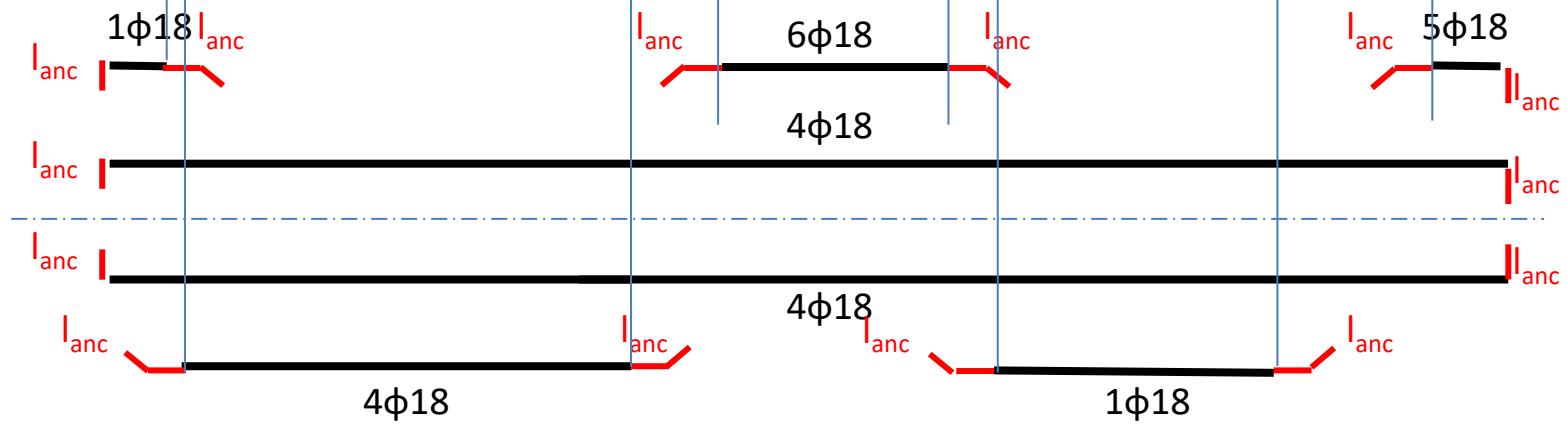
$$M_{Rd(4\phi 18)} = 87,00 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$$M_{Rd(5\phi 18)} = 108,75 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$$M_{Rd(8\phi 18)} = 173,99 \text{ kN}\cdot\text{m}$$



N.B. Per consentire il posizionamento delle staffe a 4 braccia è necessario predisporre IN OGNI SEZIONE almeno 4 barre all'estradosso e 4 all'intradosso



POSIZIONAMENTO DELLE ARMATURE - Trave di spina TR_15-13

$$M_{Rd(10\phi 18)} = -217,49 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$M_{Rd(9\phi 18)} = -195,74 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

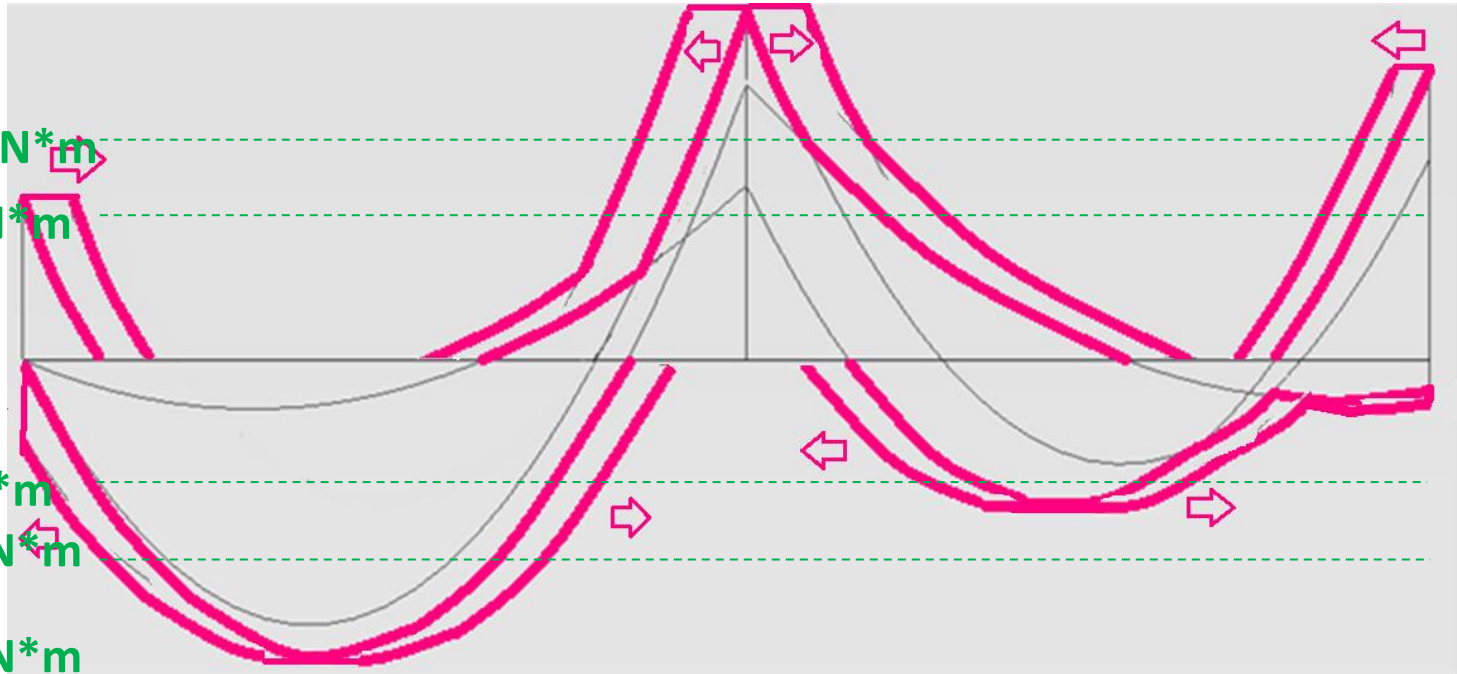
$$M_{Rd(5\phi 18)} = -108,75 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$M_{Rd(4\phi 18)} = -87,00 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$M_{Rd(4\phi 18)} = 87,00 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$M_{Rd(5\phi 18)} = 108,75 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$M_{Rd(8\phi 18)} = 173,99 \text{ kN} \cdot \text{m}$$



N.B. Per consentire il posizionamento delle staffe a 4 braccia è necessario predisporre IN OGNI SEZIONE almeno 4 barre all'estradosso e 4 all'intradosso

