

Geometria della trave

Lunghezza della trave:	$L = 10$	[m]
Interasse di competenza:	$i = 2,5$	[m]

Azioni di progetto

Sovraccarichi permanenti	$G_{k,1} = 3.75$	(p.p. predalles)	[kN/m ²]
	$G_{k,2} = 2.00$	(sottofondi + tamp.)	[kN/m ²]
Sovraccarichi variabili	$Q_{k,1} = 3.00$	(direzionale)	[kN/m ²]

Carichi nominali distribuiti	Carichi nominali concentrati (da altra trave)
$g_{k,1} = 3.75 \cdot 2.5 = 9.375$	$P_{G,1} = \frac{(3.75 \cdot 5) \cdot 10}{2} = 93.75$
$g_{k,2} = 2.00 \cdot 2.5 = 5.00$	$P_{G,2} = \frac{(2.00 \cdot 5) \cdot 10}{2} = 50$
$g_{k,3} = 1.06$	$P_{G,3} = \frac{0.91 \cdot 10}{2} = 4.53$
$q_{k,1} = 3.00 \cdot 2.5 = 7.50$	$P_{Q,1} = \frac{(3.00 \cdot 5) \cdot 10}{2} = 75$

MATERIALI				
Calcestruzzo	Classe	30/37		
	f_{ck}	30,00	[N/mm ²]	
	E_{cm}	33000	[N/mm ²]	
	γ_c	1,50	[-] Coeff. Parziale di sicurezza	
	$n_1 = E_a/E_{cm}$	6,36	[-] Effetti di breve termine	
	$n_2 = E_a/(E_{cm}/3)$	19,09	[-] Effetti di lungo termine	
Armature da calcestruzzo	Acciaio	B450C		
	f_{sk}	450,00	[N/mm ²]	
	E_s	210000	[N/mm ²]	
	γ_s	1,15	[-] Coeff. Parziale di sicurezza	
Acciaio da carpenteria	f_y	355	[N/mm ²]	
	E_a	210000	[N/mm ²]	
	γ_a	1,10	[-] Coeff. Parziale di sicurezza	
Connettori a taglio	f_u	450,00	[N/mm ²]	
	γ_v	1,25	[-] Coeff. Parziale di sicurezza	
	Diametro del connettore	d	19,00	[mm] Connettore duttile
	Altezza del connettore	h	200,00	[mm] Connettore duttile
		h/d	10,53	[-]
		α	1,00	[-]

Caratteristiche di sollecitazione a Stato Limite Ultimo

Fase provvisoria

$$M_{Ed,1} = 1.3 \cdot \left[\frac{(9.375 + 1.06) \cdot 10^2}{8} + \frac{(93.75 + 4.53) \cdot 10}{4} \right] = 489 \quad [\text{kNm}]$$

$$V_{Ed,1} = 1.3 \cdot \left[\frac{(9.375 + 1.06) \cdot 10}{2} + \frac{(93.75 + 4.53)}{2} \right] = 131.70 \quad [\text{kN}]$$

Fase definitiva

$$M_{Ed,2} = 1.3 \cdot \left[\frac{(9.375 + 1.06 + 5) \cdot 10^2}{8} + \frac{(93.75 + 4.53 + 50) \cdot 10}{4} \right] + 1.5 \cdot \left[\frac{7.5 \cdot 10^2}{8} + \frac{75 \cdot 10}{4} \right] = 1155 \quad [\text{kNm}]$$

$$V_{Ed,2} = 1.3 \cdot \left[\frac{(9.375 + 1.06 + 5) \cdot 10}{2} + \frac{(93.75 + 4.53 + 50)}{2} \right] + 1.5 \cdot \left[\frac{7.5 \cdot 10}{2} + \frac{75}{2} \right] = 309 \quad [\text{kN}]$$

Verifiche allo Stato Limite Ultimo

Fase provvisoria (la resistenza è offerta dal solo profilo metallico)

IPE550			
Altezza della sezione trasversale	h	550,00	[mm]
Larghezza della sezione trasversale	b	210,00	[mm]
Spessore dell'anima	t _w	11,10	[mm]
Spessore delle ali	t _f	17,20	[mm]
Raggio di raccordo	r	24,00	[mm]
Eventuale spessore della saldatura delle ali con l'anima	s	0,00	[mm]

CARATTERISTICHE MECCANICHE			
Altezza tra le ali	h _i	515,60	[mm]
Altezza della porzione saldabile	d	467,60	[mm]
Area della sezione trasversale	A	134,4	[cm ²]
Area della sezione resistente al taglio agente lungo z	A _{vz}	72,34	[cm ²]
Area della sezione resistente al taglio agente lungo y	A _{vy}	72,24	[cm ²]
Momento d'inerzia attorno all'asse forte	I _{yy}	67116	[cm ⁴]
Momento d'inerzia attorno all'asse debole	I _{zz}	2668	[cm ⁴]
Raggio d'inerzia attorno all'asse forte	i _{yy}	22,35	[cm]
Raggio d'inerzia attorno all'asse debole	i _{zz}	4,45	[cm]
Modulo di resistenza elastico attorno all'asse forte	W _{el,yy}	2440,6	[cm ³]
Modulo di resistenza elastico attorno all'asse debole	W _{el,zz}	254,1	[cm ³]
Modulo di resistenza plastico attorno all'asse forte	W _{pl,yy}	2787,0	[cm ³]
Modulo di resistenza plastico attorno all'asse debole	W _{pl,zz}	400,5	[cm ³]
Momento d'inerzia torsionale	I _t	123,2	[cm ⁴]
Costante di warping	I _w	1884098	[cm ⁶]
CLASSIFICAZIONE DELLA SEZIONE			
Valore di snervamento dell'acciaio	f _y	355	[MPa]
Valore di rottura dell'acciaio	f _u	510	[MPa]
Coefficiente ε	ε	0,81	[-]
Classificazione dell'anima			
Altezza dell'anima depurata dei raccordi o delle saldature	c	467,60	[mm]
Spessore dell'anima	t _w	11,10	[mm]
Rapporto tra altezza e spessore	c/t _w	42,13	[-]
Classificazione dell'anima per flessione	CLASSE 1		
Classificazione dell'anima per compressione	CLASSE 4		
Classificazione delle ali			
Semi larghezza delle ali depurata dei raccordi o delle saldature	c	75,45	[mm]
Spessore delle ali	t _f	17,20	[mm]
Rapporto tra semi larghezza e spessore	c/t _f	4,39	[-]
Classificazione delle ali per flessione	CLASSE 1		

Resistenza plastica a flessione:

$$M_{pl,a,Rd} = \frac{W_{pl,y} \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{2787 \cdot 10^3 \cdot 355}{1.10} = 899.40 > M_{Ed,1} \quad [\text{kNm}]$$

Resistenza plastica a taglio:

$$V_{pl,Rd} = \frac{A_v \cdot f_y}{\sqrt{3} \cdot \gamma_{M0}} = \frac{7234 \cdot 355}{\sqrt{3} \cdot 1.10} = 1348 > V_{Ed,1} \quad [\text{kN}]$$

Resistenza al fenomeno della flessione torsione:

Distanza tra due successivi ritegni torsionali: $L_{cr} = 5000$ [mm]

Momento Critico Euleriano:

$$M_{cr} = C_1 \cdot \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_z}{L_{cr}^2} \cdot \sqrt{\frac{I_w}{I_z} + \frac{L_{cr}^2 \cdot G \cdot I_t}{\pi^2 \cdot E \cdot I_z}}$$

$$M_{cr} = 1.348 \cdot \frac{\pi^2 \cdot 210000 \cdot 2668 \cdot 10^4}{5000^2} \cdot \sqrt{\frac{1884000 \cdot 10^6}{2668 \cdot 10^4} + \frac{5000^2 \cdot 80770 \cdot 123.2 \cdot 10^4}{\pi^2 \cdot 210000 \cdot 2668 \cdot 10^4}} = 1013.8 \quad [\text{kN}]$$

Loading and support conditions	Bending moment diagram	C ₁	C ₂
		1,127	0,454
		2,578	1,564
		1,348	0,630
		1,683	1,645

Note: the critical moment M_{cr} is calculated for the section with the maximal moment along the member

$$\lambda_{LT} = \sqrt{\frac{W_{pl,y} \cdot f_y}{M_{cr}}} = \sqrt{\frac{2787 \cdot 10^3 \cdot 355}{1013.8 \cdot 10^6}} = 0.988 \quad [-]$$

$$\frac{h}{b} = \frac{550}{210} = 2.62 > 2 \rightarrow \alpha_{LT} = 0.49$$

$$\phi_{LT} = 0.5 \cdot [1 + \alpha_{LT} \cdot (\lambda_{LT} - \lambda_{LT,0}) + \beta \cdot \lambda_{LT}^2] = 0.5 \cdot [1 + 0.49 \cdot (0.988 - 0.4) + 0.75 \cdot 0.988^2] = 1.01 \quad [-]$$

$$\chi_{LT} = \frac{1}{\phi_{LT} + \sqrt{\phi_{LT}^2 - \beta \cdot \lambda_{LT}^2}} = \frac{1}{1.01 + \sqrt{1.01^2 - 0.75 \cdot 0.988^2}} = 0.646 < \begin{cases} 1.00 \\ \frac{1}{\lambda_{LT}^2} = 1.02 \end{cases} \quad [-]$$

$$f = 1 - 0.5 \cdot (1 - k_c) \cdot [1 - 2 \cdot (\lambda_{LT} - 0.8)^2] = 1 - 0.5 \cdot (1 - 0.86) \cdot [1 - 2 \cdot (0.988 - 0.8)^2] = 0.935 < 1 \quad [-]$$

$$\chi_{LT,mod} = \frac{\chi_{LT}}{f} = 0.691 \quad [-]$$

$$M_{pl,b,Rd} = \frac{\chi_{LT,mod} \cdot W_{pl,y} \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = 0.691 \cdot \frac{2787 \cdot 10^3 \cdot 355}{1.10} = 621.40 > M_{Ed,1} \quad [\text{kNm}]$$

Resistenza all'instabilità per taglio:

Valore "ratio" tra taglio sollecitante e resistente in fase definitiva:

$$\delta = \frac{V_{Ed,2}}{V_{pl,Rd}} = \frac{309.18}{1347.91} = 0.23 < 0.50 \quad \rightarrow \quad \text{Il taglio non influisce sulla resistenza a flessione.}$$

$$\frac{h_w}{t_w} = \frac{h - 2 \cdot t_f}{t_w} = \frac{550 - 2 \cdot 17.2}{11.10} = 46.45 < \frac{72}{1.20} \cdot \sqrt{\frac{235}{355}} = 48.82$$

Non è necessario operare la verifica per instabilità a taglio del pannello d'anima.

Fase definitiva (la resistenza è offerta profilo metallico, dalla soletta e dalle armature superiori)

Si adotta una soletta collaborante con sezione pari a 1000x250 [mm] ordita con 10Ø16 posti a 30 [mm] dal lembo superiore.

Equilibrio alla traslazione per la determinazione dell'asse neutro plastico:

$$A_a \cdot \frac{f_y}{\gamma_a} - 0.85 \cdot b_{eff} \cdot x_{plastico} \cdot \frac{f_{ck}}{\gamma_c} - A_s \cdot \frac{f_s}{\gamma_s} = 0$$
$$x_{plastico} = \frac{A_a \cdot \frac{f_y}{\gamma_a} - A_s \cdot \frac{f_s}{\gamma_s}}{0.85 \cdot b_{eff} \cdot \frac{f_{ck}}{\gamma_c}} = \frac{134.4 \cdot 10^2 \cdot \frac{355}{1.10} - 2011 \cdot \frac{450}{1.15}}{0.85 \cdot 1000 \cdot \frac{30}{1.50}} = 208.85 < 250 \quad [\text{mm}]$$

Equilibrio alla rotazione rispetto alla mezzeria della trave in acciaio per la determinazione del momento resistente:

$$M_{pl,Rd} = 0.85 \cdot b_{eff} \cdot x_{plastico} \cdot \frac{f_{ck}}{\gamma_c} \cdot \left(\frac{h}{2} + h_c - \frac{x_{plastico}}{2} \right) + A_s \cdot \frac{f_s}{\gamma_s} \cdot \left(\frac{h}{2} + h_c - c \right)$$
$$M_{pl,Rd} = 0.85 \cdot 1000 \cdot 208.9 \cdot \frac{30}{1.5} \cdot \left(275 + 250 - \frac{208.9}{2} \right) + 2011 \cdot \frac{450}{1.15} \cdot (275 + 250 - 30) = 1883 > M_{Ed,2} \quad [\text{kNm}]$$

Progetto dei connettori a taglio

1. Progetto della connessione a completo ripristino

La connessione deve essere in grado di assorbire l'intera forza di compressione agente sulla soletta in calcestruzzo.

Forza di scorrimento di progetto:

$$N_{c,f} = 0.85 \cdot b_{eff} \cdot x_{plastico} \cdot \frac{f_{ck}}{\gamma_c} + A_s \cdot \frac{f_s}{\gamma_s} = 0.85 \cdot 1000 \cdot 208.85 \cdot \frac{30}{1.5} + 2011 \cdot \frac{450}{1.15} = 4338 \quad [\text{kN}]$$

Resistenza dei connettori a taglio Ø19, h=200, in acciaio 450 [MPa]

$$P_{Rd,1} = 0.8 \cdot \frac{\pi \cdot \phi^2}{4} \cdot \frac{f_u}{\gamma_v} = 0.8 \cdot \frac{\pi \cdot 19^2}{4} \cdot \frac{450}{1.25} = 81.66 \quad [\text{kN}]$$

$$P_{Rd,2} = \frac{0.29 \cdot \alpha \cdot \phi^2 \cdot \sqrt{f_{ck} \cdot E_{cm}}}{\gamma_v} = \frac{0.29 \cdot 1 \cdot 19^2 \cdot \sqrt{30 \cdot 33000}}{1.25} = 83.33 \quad [\text{kN}]$$

$$P_{Rd} = \min[P_{Rd,1} \quad P_{Rd,2}] = 81.66 \quad [\text{kN}]$$

Numero minimo di connettori su "tutta" la trave:

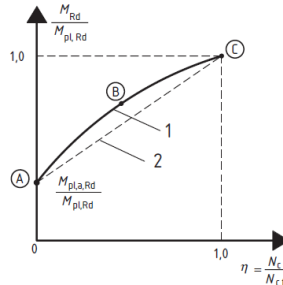
$$n_{f,min} > \frac{2 \cdot N_{c,f}}{P_{Rd}} = \frac{2 \cdot 4338}{81.66} = 106 \rightarrow n_{f,c} = 108 > n_{f,min} \quad [-]$$

2. Progetto della connessione a parziale ripristino

La connessione deve essere in grado di assorbire la forza di scorrimento generata dall'effettivo momento flettente. Tuttavia affinché il grado di connessione “ η ” non vada ad influenzare il comportamento della sezione in stato limite di servizio è necessario che tale grado risulti maggiore di 0.5.

$$\frac{M_{Ed,2}}{M_{pl,Rd}} = \frac{1155}{1883} = 0.613$$

$$\frac{M_{pl,a,Rd}}{M_{pl,Rd}} = \frac{899.40}{1883} = 0.478$$



La forza di scorrimento generata dal momento flettente di calcolo risulta:

$$N_c = N_{c,f} \cdot \left[\frac{M_{Ed,2} - M_{pl,a,Rd}}{M_{pl,Rd} - M_{pl,a,Rd}} \right] = N_{c,f} \cdot \eta = 4338 \cdot \frac{1155 - 899.4}{1883 - 899.4} = 4338 \cdot 0.259 = 1127 \quad [\text{kN}]$$

Per tanto il grado di connessione necessario affinché le due strutture non scorrano è pari a $\eta = 0.259$; Tuttavia non è rispettata la condizione $\eta > 0.50$.

Si adottano 80 connettori a taglio su 10 [m] di trave:

$$\bar{\eta} = \frac{n_f}{n_{f,c}} = \frac{80}{108} = 0.741 > 0.50$$

Il momento resistente della sezione risulta per tanto pari a:

$$M_{Rd} = M_{pl,a,Rd} + (M_{pl,Rd} - M_{pl,a,Rd}) \cdot \bar{\eta} = 899.4 + (1883 - 899.4) \cdot 0.741 = 1628 > M_{Ed,2} \quad [\text{kNm}]$$

Affinché la connessione risulti duttile e quindi sia possibile distribuire i connettori in modo uniforme lungo l'asse della trave deve essere verificata la seguente disuguaglianza:

$$\frac{M_{Rd}}{M_{pl,a,Rd}} < 2.5$$

$$\frac{M_{Rd}}{M_{pl,a,Rd}} = \frac{1628}{899.4} = 1.81 < 2.5$$

Il passo tra i connettori risulta pari a:

$$s_f = \frac{L}{n_f} = \frac{10000}{80} = 125 \quad [\text{mm}]$$

$$s_f < s_{f,max} = 22 \cdot t_f \cdot \sqrt{\frac{235}{f_y}} = 22 \cdot 17.2 \cdot \sqrt{\frac{235}{355}} = 307.9 \quad [\text{mm}]$$

$$s_f > s_{f,min} = 5 \cdot \phi = 5 \cdot 19 = 95 \quad [\text{mm}]$$

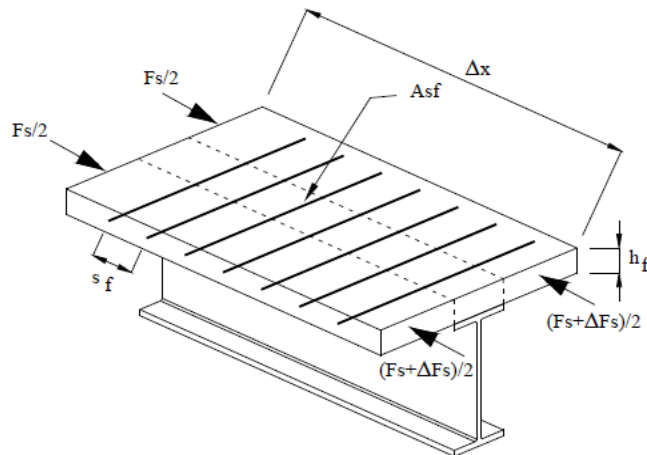
Progetto dell'armatura trasversale per limitare la fessurazione a taglio

Distanza tra il momento massimo e quello nullo:

$$\Delta x = \frac{L}{2} = \frac{10000}{2} = 5000 \quad [\text{mm}]$$

Forza di scorrimento agente nella soletta:

$$N_c = \bar{\eta} \cdot N_{c,f} = 0.741 \cdot 4338 = 3214 \quad [\text{kN}]$$



Forza di taglio agente su due superfici laterali di taglio:

$$\Delta F_d = \frac{N_c}{2} = \frac{3214}{2} = 1607 \quad [\text{kN}]$$

Tensione tangenziale su ciascuna faccia di taglio:

$$v_{Ed} = \frac{\Delta F_d}{\Delta x \cdot h_c} = \frac{1607 \cdot 10^3}{5000 \cdot 250} = 1.29 \quad [\text{MPa}]$$

Verifica dei puntoni compressi:

$$v = 0.6 \cdot \left[1 - \frac{f_{ck}}{250} \right] = 0.6 \cdot \left[1 - \frac{30}{250} \right] = 0.528 \quad [-]$$

$$v_{Rd,c} = v \cdot \frac{f_{ck}}{\gamma_c} \cdot \sin \theta \cdot \cos \theta$$

Assumendo a favore di sicurezza che l'inclinazione dei puntoni compressi sia pari a $\theta = 45^\circ$ risulta:

$$v_{Rd,c} = 0.528 \cdot \frac{30}{1.50} \cdot 0.707 \cdot 0.707 = 5.28 > 1.29 \quad [\text{MPa}]$$

Calcolo delle armature trasversali per unità di lunghezza:

L'armatura trasversale deve rispettare la seguente disuguaglianza, essendo A_{sf} l'area dell'armatura trasversale, s_f il passo dei ferri e h_c lo spessore della soletta:

$$\frac{A_{sf} \cdot \frac{f_s}{\gamma_s}}{s_f} \geq \frac{v_{Ed} \cdot h_c}{\cot \theta}$$

Pertanto invertendo la formula e assumendo come orditura traversa Ø14/150 si ottiene la resistenza offerta dall'orditura:

$$v_{Rd,s} = \frac{A_{sf} \cdot \frac{f_s}{\gamma_s}}{s_f} \cdot \frac{\cot \theta}{h_c} = \frac{154 \cdot \frac{450}{1.15}}{150} \cdot \frac{1}{250} = 1.606 > 1.29 \quad [\text{MPa}]$$

Verifiche di deformazione a Stato Limite di Servizio

Fase provvisoria

La verifica di deformabilità si attua tenendo in conto dell'inerzia del solo profilo metallico:

$$g_{SLS,1} = 9.375 + 1.06 = 10.435 \quad [\text{kN/m}]$$

$$P_{SLS,g,1} = 93.75 + 4.53 = 98.28 \quad [\text{kN}]$$

$$f_{SLS,1} = \frac{5}{384} \cdot \frac{g_{SLS,1} \cdot L^4}{E_a \cdot I_{a,y}} + \frac{1}{48} \cdot \frac{P_{SLS,g,1} \cdot L^3}{E_a \cdot I_{a,y}}$$

$$f_{SLS,1} = \frac{5}{384} \cdot \frac{10.435 \cdot 10000^4}{210000 \cdot 67116 \cdot 10^4} + \frac{1}{48} \cdot \frac{(98.28 \cdot 1000) \cdot 10000^3}{210000 \cdot 67116 \cdot 10^4} = 24.17 = \frac{L}{414} \quad [\text{mm}]$$

Fase definitiva

In fase definitiva la soletta collabora con la trave, sarà per tanto necessario determinare le caratteristiche meccaniche della sezione mista.

Si deve però tenere presente che il coefficiente di omogeneizzazione "n" sarà differente nel caso di carichi di breve termine (variabili) rispetto ai carichi di lungo termine (permanenti):

Carichi di lungo termine:

$$g_{SLS,2} = 9.375 + 1.06 + 5 = 15.435 \quad [\text{kN/m}]$$

$$P_{SLS,g,2} = 93.75 + 4.53 + 50 = 148.28 \quad [\text{kN}]$$

Carichi di breve termine:

$$q_{SLS,2} = 7.50 \quad [\text{kN/m}]$$

$$P_{SLS,q,2} = 75 \quad [\text{kN}]$$

Caratteristiche meccaniche della sezione mista per carichi di lungo termine:

$$n_g = \frac{E_a}{E_{cm}/3} = \frac{210000}{33000/3} = 19.10 \quad [-]$$

$$A_{n,g} = \frac{1}{n_g} \cdot (b_{eff} \cdot h_c) + A_a = \frac{1}{19.10} \cdot (1000 \cdot 250) + 134.4 \cdot 10^2 = 26536 \quad [\text{mm}^2]$$

Posizione dell'asse neutro dal lembo superiore:

$$x_{n,g} = \frac{\frac{1}{n_g} \cdot (b_{eff} \cdot h_c) \cdot \frac{h_c}{2} + A_a \cdot \left(h_c + \frac{h}{2}\right)}{A_{n,g}}$$

$$x_{n,g} = \frac{\frac{1}{19.10} \cdot (1000 \cdot 250) \cdot \frac{250}{2} + 134.4 \cdot 10^2 \cdot \left(250 + \frac{550}{2}\right)}{26536} = 327.60 \quad [\text{mm}]$$

Momento d'inerzia rispetto al baricentro:

$$I_{n,g} = \frac{1}{n_g} \cdot \left[\frac{b_{eff} \cdot h_c^3}{12} + b_{eff} \cdot h_c \cdot \left(x_{n,g} - \frac{h_c}{2}\right)^2 \right] + \left[I_a + A_a \cdot \left(h_c + \frac{h}{2} - x_{n,g}\right)^2 \right]$$

$$I_{n,g} = \frac{1}{19.10} \cdot \left[\frac{1000 \cdot 250^3}{12} + 1000 \cdot 250 \cdot \left(327.6 - \frac{250}{2}\right)^2 \right] + \left[67116 \cdot 10^4 + 13440 \cdot \left(250 + \frac{550}{2} - 327.6\right)^2 \right]$$

$$I_{n,g} = 1.801 \cdot 10^9 \quad [\text{mm}^4]$$

Caratteristiche meccaniche della sezione mista per carichi di breve termine:

$$n_q = \frac{E_a}{E_{cm}} = \frac{210000}{33000} = 6.36 \quad [-]$$

$$A_{n,q} = \frac{1}{n_q} \cdot (b_{eff} \cdot h_c) + A_a = \frac{1}{6.36} \cdot (1000 \cdot 250) + 134.4 \cdot 10^2 = 52725 \quad [\text{mm}^2]$$

Posizione dell'asse neutro dal lembo superiore:

$$x_{n,q} = \frac{\frac{1}{n_q} \cdot (b_{eff} \cdot h_c) \cdot \frac{h_c}{2} + A_a \cdot \left(h_c + \frac{h}{2}\right)}{A_{n,q}}$$

$$x_{n,q} = \frac{\frac{1}{6.36} \cdot (1000 \cdot 250) \cdot \frac{250}{2} + 134.4 \cdot 10^2 \cdot \left(250 + \frac{550}{2}\right)}{52725} = 226.97 \quad [\text{mm}]$$

Momento d'inerzia rispetto al baricentro:

$$I_{n,q} = \frac{1}{n_q} \cdot \left[\frac{b_{eff} \cdot h_c^3}{12} + b_{eff} \cdot h_c \cdot \left(x_{n,q} - \frac{h_c}{2}\right)^2 \right] + \left[I_a + A_a \cdot \left(h_c + \frac{h}{2} - x_{n,q}\right)^2 \right]$$

$$I_{n,q} = \frac{1}{6.36} \cdot \left[\frac{1000 \cdot 250^3}{12} + 1000 \cdot 250 \cdot \left(226.97 - \frac{250}{2}\right)^2 \right] + \left[67116 \cdot 10^4 + 13440 \cdot \left(250 + \frac{550}{2} - 226.97\right)^2 \right]$$

$$I_{n,q} = 2.478 \cdot 10^9 \quad [\text{mm}^4]$$

Spostamento verticale per i carichi di lungo termine

$$f_{SLS,g,2} = \frac{5}{384} \cdot \frac{g_{SLS,2} \cdot L^4}{E_a \cdot I_{n,g}} + \frac{1}{48} \cdot \frac{P_{SLS,g,2} \cdot L^3}{E_a \cdot I_{n,g}}$$

$$f_{SLS,g,2} = \frac{5}{384} \cdot \frac{15.435 \cdot 10000^4}{210000 \cdot 1.801 \cdot 10^9} + \frac{1}{48} \cdot \frac{(148.28 \cdot 1000) \cdot 10000^3}{210000 \cdot 1.801 \cdot 10^9} = 13.48 = \frac{L}{742} \quad [\text{mm}]$$

Spostamento verticale per i carichi di breve termine

$$f_{SLS,q,2} = \frac{5}{384} \cdot \frac{q_{SLS,2} \cdot L^4}{E_a \cdot I_{n,q}} + \frac{1}{48} \cdot \frac{P_{SLS,q,2} \cdot L^3}{E_a \cdot I_{n,q}}$$
$$f_{SLS,q,2} = \frac{5}{384} \cdot \frac{7.5 \cdot 10000^4}{210000 \cdot 2.478 \cdot 10^9} + \frac{1}{48} \cdot \frac{(75 \cdot 1000) \cdot 10000^3}{210000 \cdot 2.478 \cdot 10^9} = 4.88 = \frac{L}{2050} \quad [\text{mm}]$$

Spostamento complessivo

$$f_{SLS,(g+q),2} = 13.48 + 4.88 = 18.36 = \frac{L}{545} \quad [\text{mm}]$$

Lo spostamento così determinato è corretto unicamente se in fase provvisoria la trave in acciaio è puntellata e quindi è impedito lo spostamento verticale, nel caso in cui ciò non avvenga è necessario analizzare la fase incrementale:

$$f_{SLS,1} = \frac{5}{384} \cdot \frac{10.435 \cdot 10000^4}{210000 \cdot 67116 \cdot 10^4} + \frac{1}{48} \cdot \frac{(98.28 \cdot 1000) \cdot 10000^3}{210000 \cdot 67116 \cdot 10^4} = 24.17 = \frac{L}{414} \quad [\text{mm}]$$

$$f_{SLS,g,2} = \frac{5}{384} \cdot \frac{g_{k,2} \cdot L^4}{E_a \cdot I_{n,g}} + \frac{1}{48} \cdot \frac{P_{G,2} \cdot L^3}{E_a \cdot I_{n,g}}$$
$$f_{SLS,g,2} = \frac{5}{384} \cdot \frac{5.00 \cdot 10000^4}{210000 \cdot 1.801 \cdot 10^9} + \frac{1}{48} \cdot \frac{(50 \cdot 1000) \cdot 10000^3}{210000 \cdot 1.801 \cdot 10^9} = 4.48 = \frac{L}{2234} \quad [\text{mm}]$$

$$f_{SLS,q,2} = \frac{5}{384} \cdot \frac{q_{SLS,2} \cdot L^4}{E_a \cdot I_{n,q}} + \frac{1}{48} \cdot \frac{P_{SLS,q,2} \cdot L^3}{E_a \cdot I_{n,q}}$$
$$f_{SLS,q,2} = \frac{5}{384} \cdot \frac{7.5 \cdot 10000^4}{210000 \cdot 2.478 \cdot 10^9} + \frac{1}{48} \cdot \frac{(75 \cdot 1000) \cdot 10000^3}{210000 \cdot 2.478 \cdot 10^9} = 4.88 = \frac{L}{2050} \quad [\text{mm}]$$

Spostamento incrementale

$$f_{SLS} = 24.17 + 4.48 + 4.88 = 33.53 = \frac{L}{298} < \frac{L}{250} \quad [\text{mm}]$$

fine documento