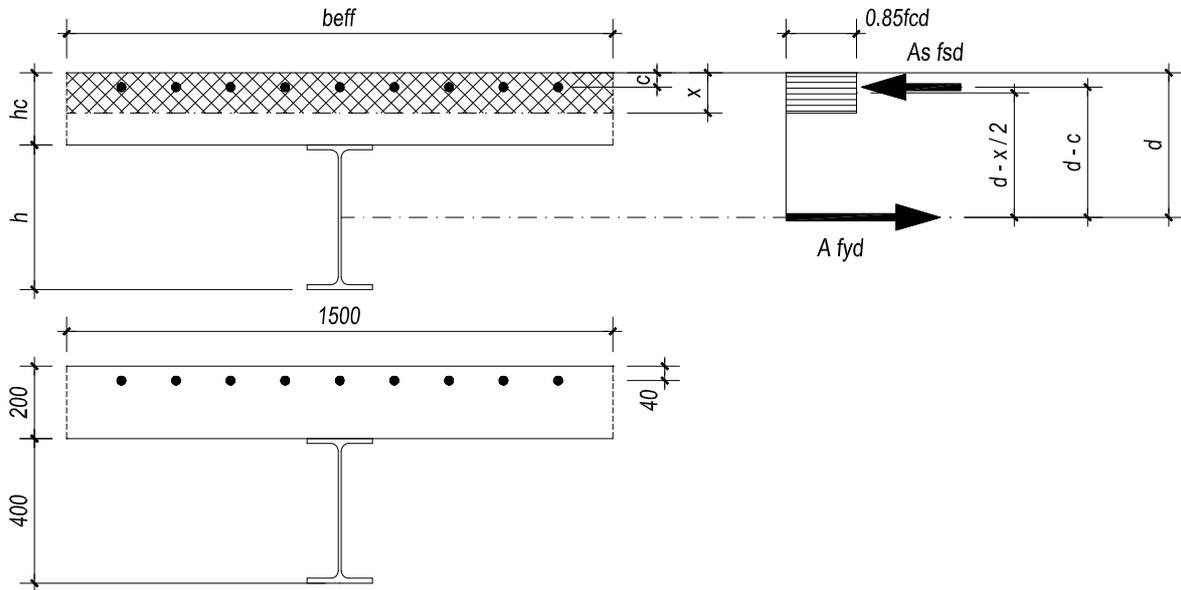


Argomento	Sezioni miste Acciaio – Calcestruzzo (SLU)		
Soggetto	Determinazione del Momento Resistente		
Riferimento	ENV 1994 – 1 – 1		
Redattore	Simone Caffè	Pagina	1 di 6

1. Determinazione del Momento Resistente positivo – Soletta piena



Nell'ipotesi che sia l'acciaio strutturale della carpenteria metallica, sia l'acciaio dell'armatura raggiungano lo snervamento, si determina l'asse neutro plastico scrivendo l'equazione di equilibrio alla traslazione.

$$0.85 \cdot f_{cd} \cdot x \cdot b_{eff} + A_s \cdot f_{sd} - A \cdot f_{yd} = 0$$

Da cui:

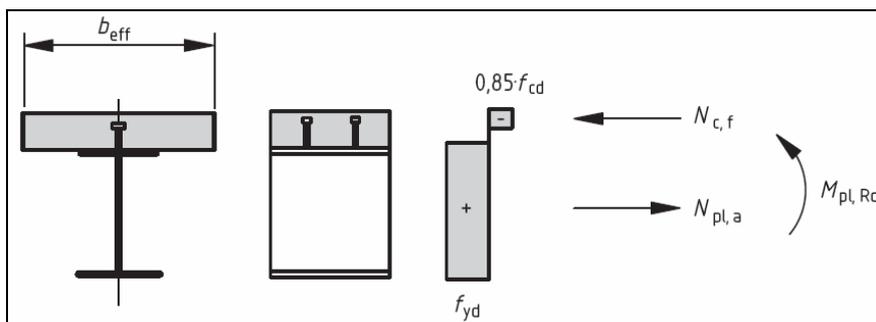
$$x = \frac{A \cdot f_{yd} - A_s \cdot f_{sd}}{0.85 \cdot f_{cd} \cdot b_{eff}}$$

Il momento resistente positivo M_{Rd}^+ si determina imponendo l'equilibrio alla rotazione attorno al baricentro del profilato metallico:

$$M_{Rd}^+ = A_s \cdot f_{sd} \cdot (d - c) + 0.85 \cdot f_{cd} \cdot x \cdot b_{eff} \cdot \left(d - \frac{x}{2} \right)$$

dove:

$$d = h_c + \frac{h}{2}$$



SCHEDE APPLICATIVE DI TECNICA DELLE COSTRUZIONI	Argomento	Sezioni miste Acciaio – Calcestruzzo (SLU)		
	Soggetto	Determinazione del Momento Resistente		
	Riferimento	ENV 1994 – 1 – 1		
	Redattore	Simone Caffè	Pagina	2 di 6

Passando all'esempio assumendo un acciaio d'armatura B450C per numero 9Ø12 ad aderenza migliorata, un acciaio S275 per il profilato IPE400 e un calcestruzzo di classe C30/37 per la soletta si ottiene la posizione dell'asse neutro plastico:

$$A_{IPE400} = 8446 \quad [\text{mm}^2]$$

$$f_{yd} = \frac{f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{275}{1.10} = 250 \quad [\text{MPa}]$$

$$A_s = 9 \cdot \frac{\pi \cdot 12^2}{4} = 1018 \quad [\text{mm}^2]$$

$$f_{sd} = \frac{f_{sk}}{\gamma_s} = \frac{450}{1.15} = 391.30 \quad [\text{MPa}]$$

$$f_{cd} = \frac{f_{ck}}{\gamma_c} = \frac{30}{1.5} = 20 \quad [\text{MPa}]$$

$$x = \frac{A \cdot f_{yd} - A_s \cdot f_{sd}}{[0.85 \cdot f_{cd} \cdot b_{eff}]} = \frac{8446 \cdot 250 - 1018 \cdot 391.3}{[0.85 \cdot 20 \cdot 1500]} = 67.18 \quad [\text{mm}]$$

$$d = 200 + \frac{400}{2} = 400 \quad [\text{mm}]$$

$$M_{Rd}^+ = A_s \cdot f_{sd} \cdot (d - c) + 0.85 \cdot f_{cd} \cdot x \cdot b_{eff} \cdot \left(d - \frac{x}{2} \right)$$

$$M_{Rd}^+ = 1018 \cdot 391.3 \cdot (400 - 40) + 0.85 \cdot 20 \cdot 67.18 \cdot 1500 \cdot \left(400 - \frac{67.18}{2} \right) = 771.10 \quad [\text{kNm}]$$

Si notino gli incrementi di momento resistente rispetto al solo acciaio:

$$M_{pl,s}^+ = M_{pl,s}^- = \frac{W_{pl,y} \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{1307 \cdot 10^3 \cdot 275}{1.10 \cdot 10^6} = 326.75 \quad [\text{kNm}]$$

$$\Delta^+ = \frac{M_{Rd}^+}{M_{pl,s}^+} = \frac{771.10}{326.75} = 2.36$$

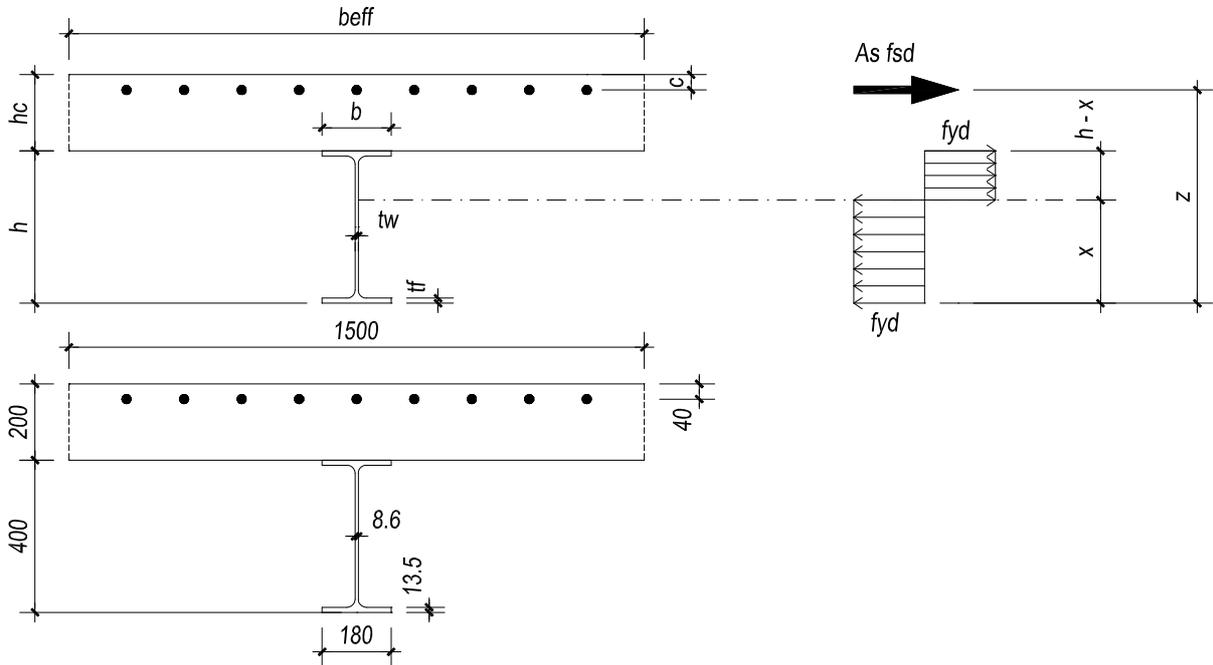
La forza di scorrimento di progetto è data da:

$$F_s^+ = 0.85 \cdot f_{cd} \cdot x \cdot b_{eff} + A_s \cdot f_{sd}$$

$$F_s^+ = \frac{0.85 \cdot 20 \cdot 67.18 \cdot 1500 + 1018 \cdot 391.3}{1000} = 2112 \quad [\text{kN}]$$

Argomento	Sezioni miste Acciaio – Calcestruzzo (SLU)		
Soggetto	Determinazione del Momento Resistente		
Riferimento	ENV 1994 – 1 – 1		
Redattore	Simone Caffè	Pagina	3 di 6

2. Determinazione del Momento Resistente negativo – Soletta piena



Assumendo che l'asse neutro tagli l'anima del profilato, e trascurando a favore di sicurezza il contributo offerto dalle aree del profilato sottese ai raggi di raccordo, si scrive l'equazione di equilibrio alla traslazione per determinare l'asse neutro plastico:

$$b \cdot t_f \cdot f_{yd} + t_w \cdot (x - t_f) \cdot f_{yd} - t_w \cdot (h - x - t_f) \cdot f_{yd} - b \cdot t_f \cdot f_{yd} - A_s \cdot f_{sd} = 0$$

$$t_w \cdot x \cdot f_{yd} - t_w \cdot t_f \cdot f_{yd} - t_w \cdot h \cdot f_{yd} + t_w \cdot x \cdot f_{yd} + t_w \cdot t_f \cdot f_{yd} - A_s \cdot f_{sd} = 0$$

$$2 \cdot t_w \cdot x \cdot f_{yd} - t_w \cdot h \cdot f_{yd} - A_s \cdot f_{sd} = 0$$

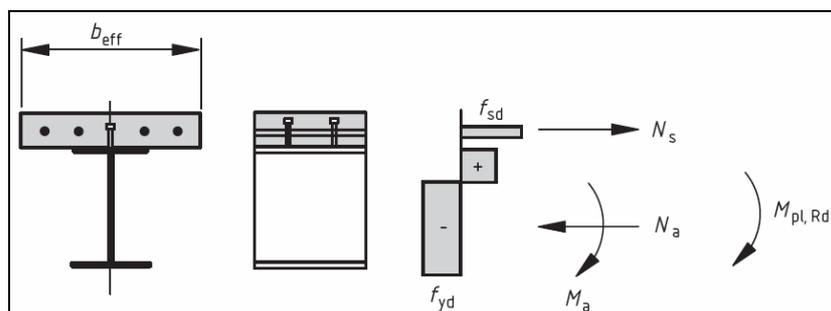
$$x = \frac{A_s \cdot f_{sd} + t_w \cdot h \cdot f_{yd}}{2 \cdot t_w \cdot f_{yd}}$$

Si determina poi il momento resistente negativo scrivendo l'equazione di equilibrio alla rotazione attorno all'armatura tesa:

$$M_{Rd}^- = b \cdot t_f \cdot f_{yd} \cdot \left(z - \frac{t_f}{2} \right) + t_w \cdot (x - t_f) \cdot f_{yd} \cdot \left[z - x + \left(\frac{x - t_f}{2} \right) \right] - t_w \cdot (h - x - t_f) \cdot f_{yd} \cdot \left[z - x - \left(\frac{h - x - t_f}{2} \right) \right] - b \cdot t_f \cdot f_{yd} \cdot \left(h_c - c + \frac{t_f}{2} \right)$$

dove:

$$z = (h + h_c - c)$$



SCHEDE APPLICATIVE DI TECNICA DELLE COSTRUZIONI	Argomento	Sezioni miste Acciaio – Calcestruzzo (SLU)		
	Soggetto	Determinazione del Momento Resistente		
	Riferimento	ENV 1994 – 1 – 1		
	Redattore	Simone Caffè	Pagina	4 di 6

Passando all'esempio assumendo un acciaio d'armatura B450C per numero 9Ø12 ad aderenza migliorata, un acciaio S275 per il profilato IPE400 e un calcestruzzo di classe C30/37 per la soletta si ottiene la posizione dell'asse neutro plastico:

$$A_{\text{IPE400}} = 8446 \quad [\text{mm}^2]$$

$$f_{\text{yd}} = \frac{f_y}{\gamma_{\text{M0}}} = \frac{275}{1.10} = 250 \quad [\text{MPa}]$$

$$A_s = 9 \cdot \frac{\pi \cdot 12^2}{4} = 1018 \quad [\text{mm}^2]$$

$$f_{\text{sd}} = \frac{f_{\text{sk}}}{\gamma_s} = \frac{450}{1.15} = 391.30 \quad [\text{MPa}]$$

$$f_{\text{cd}} = \frac{f_{\text{ck}}}{\gamma_c} = \frac{30}{1.5} = 20 \quad [\text{MPa}]$$

$$x = \frac{[A_s \cdot f_{\text{sd}} + t_w \cdot h \cdot f_{\text{yd}}]}{2 \cdot t_w \cdot f_{\text{yd}}} = \frac{1018 \cdot 391.30 + 8.6 \cdot 400 \cdot 250}{2 \cdot 8.6 \cdot 250} = 292.64 \quad [\text{mm}]$$

$$M_{\text{Rd}}^- = b \cdot t_f \cdot f_{\text{yd}} \cdot \left(z - \frac{t_f}{2} \right) + t_w \cdot (x - t_f) \cdot f_{\text{yd}} \cdot \left[z - x + \left(\frac{x - t_f}{2} \right) \right] - t_w \cdot (h - x - t_f) \cdot f_{\text{yd}} \cdot \left[z - x - \left(\frac{h - x - t_f}{2} \right) \right] - b \cdot t_f \cdot f_{\text{yd}} \cdot \left(h_c - c + \frac{t_f}{2} \right)$$

Dove:

$$z = (h + h_c - c) = (400 + 200 - 40) = 560 \quad [\text{mm}]$$

$$b \cdot t_f \cdot f_{\text{yd}} \cdot \left(z - \frac{t_f}{2} \right) = 180 \cdot 13.5 \cdot 250 \cdot \left(560 - \frac{13.5}{2} \right) = 336.1 \quad [\text{kNm}]$$

$$t_w \cdot (x - t_f) \cdot f_{\text{yd}} \cdot \left[z - x + \left(\frac{x - t_f}{2} \right) \right] = 8.6 \cdot (292.64 - 13.5) \cdot 250 \cdot \left[560 - 292.64 + \left(\frac{292.64 - 13.5}{2} \right) \right] = 244.22 \quad [\text{kNm}]$$

$$- t_w \cdot (h - x - t_f) \cdot f_{\text{yd}} \cdot \left[z - x - \left(\frac{h - x - t_f}{2} \right) \right]$$

$$= -8.6 \cdot (400 - 292.64 - 13.5) \cdot 250 \cdot \left[560 - 292.64 - \left(\frac{400 - 292.64 - 13.5}{2} \right) \right] = -44.48 \quad [\text{kNm}]$$

$$- b \cdot t_f \cdot f_{\text{yd}} \cdot \left(h_c - c + \frac{t_f}{2} \right) = -180 \cdot 13.5 \cdot 250 \cdot \left(200 - 40 + \frac{13.5}{2} \right) = -101.30 \quad [\text{kNm}]$$

$$M_{\text{Rd}}^- = 336.1 + 244.22 - 44.48 - 101.30 = 434.54 \quad [\text{kNm}]$$

Si notino gli incrementi di momento resistente rispetto al solo acciaio:

$$M_{\text{pl},s}^+ = M_{\text{pl},s}^- = \frac{W_{\text{pl},y} \cdot f_y}{\gamma_{\text{M0}}} = \frac{1307 \cdot 10^3 \cdot 275}{1.10 \cdot 10^6} = 326.75 \quad [\text{kNm}]$$

$$\Delta^- = \frac{M_{\text{Rd}}^-}{M_{\text{pl},s}^-} = \frac{434.54}{326.75} = 1.33$$

La forza di scorrimento di progetto è data da:

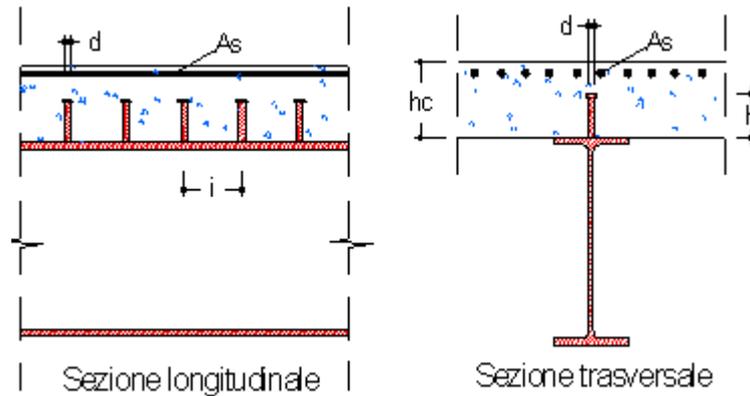
$$F_s^- = A_s \cdot f_{\text{sd}}$$

$$F_s^- = \frac{1018 \cdot 391.3}{1000} = 398.35 \quad [\text{kN}]$$

Argomento	Sezioni miste Acciaio – Calcestruzzo (SLU)		
Soggetto	Determinazione del Momento Resistente		
Riferimento	ENV 1994 – 1 – 1		
Redattore	Simone Caffè	Pagina	5 di 6

3. Progetto della connessione a completo ripristino di resistenza

3.1. Pioli a momento positivo



La resistenza del piolo si determina nel seguente modo:

$$P_{Rd} = \min \left\{ \frac{0.8 \cdot f_u \cdot \frac{\pi \cdot d^2}{4}}{\gamma_v}; \frac{0.29 \cdot \alpha \cdot d^2 \cdot \sqrt{f_{ck} \cdot E_{cm}}}{\gamma_v} \right\}$$

Dove:

- f_u resistenza ultima dell'acciaio del piolo
- d diametro del piolo
- f_{ck} resistenza caratteristica cilindrica del calcestruzzo
- E_{cm} modulo di Elasticità del calcestruzzo
- γ_v coefficiente parziale di sicurezza assunto generalmente pari a 1.25

$$\alpha = 0,2 \left(\frac{h_{sc}}{d} + 1 \right) \quad \text{for } 3 \leq h_{sc} / d \leq 4$$

$$\alpha = 1 \quad \text{for } h_{sc} / d > 4$$

Assumiamo che la nostra trave sia soggetta a momento positivo e sia lunga 6 [m], e calcoliamo il numero di pioli necessari per assicurare una connessione a completo ripristino di resistenza. Per l'esempio si assumano pioli con diametro $d=20$ [mm] e $h_{sc} = 150$ [mm] costituiti da acciaio con $f_u = 500$ [MPa] ($f_u = 500$ [MPa] è il massimo consentito per norma):

$$\frac{h_{sc}}{d} = \frac{150}{20} = 7.5 \rightarrow \alpha = 1$$

$$P_{Rd,1} = \frac{0.8 \cdot 500 \cdot \frac{\pi \cdot 20^2}{4}}{1.25} = 100.50 \quad \text{[kN/piolo]}$$

$$P_{Rd,2} = \frac{0.29 \cdot 1 \cdot 20^2 \cdot \sqrt{30 \cdot 33000}}{1.25} = 92.34 \quad \text{[kN/piolo]}$$

$$P_{Rd} = 92.34 \quad \text{[kN/piolo]}$$

Argomento	Sezioni miste Acciaio – Calcestruzzo (SLU)		
Soggetto	Determinazione del Momento Resistente		
Riferimento	ENV 1994 – 1 – 1		
Redattore	Simone Caffè	Pagina	6 di 6

Poiché il momento positivo resistente è costante su tutta la lunghezza della trave e la forza di scorrimento di progetto sarà anch'essa costante su tutta la lunghezza.

Pertanto il numero di pioli su metà luce della trave dovrà essere pari a:

$$n_p = \frac{F_s^+}{P_{Rd}} = \frac{2112}{92.34} = 22.87 \rightarrow 23 \quad \text{[pioli]}$$

Quindi il numero di pioli totali sull'intera luce della trave sarà pari a 46.

Il passo dei pioli si determina facilmente:

$$i = \frac{L}{n_{p,tot}} = \frac{6000}{46} = 130 \quad \text{[mm]}$$

Per il momento negativo il calcolo è del tutto analogo. Per luce della trave si intende il tratto di trave (generalmente sull'appoggio) in cui si ha la cuspide del momento negativo. Anche in questo caso il numero di pioli si calcola su metà luce con la forza di scorrimento F_s^- e poi lo si raddoppia.

