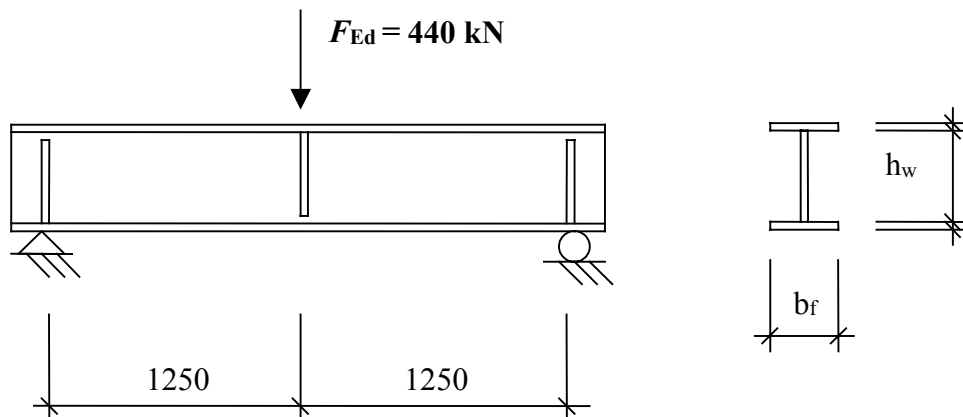


 Department of Civil and Mining Engineering Division of Steel Structures, University Campus, SE-971 87 Luleå, Sweden Tel: +46 920 91 000 Fax: +46 920 91 913 FOGLIO DI CALCOLO	Commessa N.	Foglio	1 di 6	Rev B
	Titolo commessa RFCS Stainless Steel Valorisation Project			
	Argomento Esempio di progetto 7 – Resistenza a taglio di una trave alta			
	Cliente	Redatto da	AO	Data
RFCS	Verificato da	AT	Data	Ottobre 2002
	Revisionato da	MEB	Data	Aprile 2006

ESEMPIO DI PROGETTO 7 – RESISTENZA A TAGLIO DI UNA TRAVE ALTA

Progettare una trave in termini di resistenza allo sforzo di taglio. La trave con sezione ad I è semplicemente appoggiata, con una luce secondo la seguente figura. La flangia superiore è vincolata lateralmente.



Usare acciaio tipo 1.4462 laminato a caldo.

$$f_y = 460 \text{ N/mm}^2$$

$$E = 200\,000 \text{ N/mm}^2$$

Provare con una sezione trasversale avente

Flangie:	$12 \times 200 \text{ mm}^2$
Anima:	$4 \times 500 \text{ mm}^2$
Rinforzi:	$12 \times 98 \text{ mm}^2$
Spessore gola saldata:	4 mm

Analisi strutturale

Il taglio massimo ed il momento flettente massimo di progetto si ottengono con

$$V_{Ed} = \frac{F_{Ed}}{2} = \frac{440}{2} = 220 \text{ kN}$$

$$M_{Ed} = \frac{F_{Ed} L}{4} = \frac{440 \times 2,5}{4} = 275 \text{ kNm}$$

Coefficiente parziale di sicurezza

$$\gamma_{M0} = 1,1$$

$$\gamma_{M1} = 1,1$$

Classificazione della sezione trasversale

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{235}{460}} = 0,698$$

Tabella 3.1
Par. 3.2.4

Tabella 2.1

Par. 4.3

Tabella 4.2

 Department of Civil and Mining Engineering Division of Steel Structures, University Campus, SE-971 87 Luleå, Sweden Tel: +46 920 91 000 Fax: +46 920 91 913 FOGLIO DI CALCOLO	Commessa N.	Foglio	2 di 6	Rev B
	Titolo commessa RFCS Stainless Steel Valorisation Project			
	Argomento Esempio di progetto 7 – Resistenza a taglio di una trave alta			
	Cliente RFCS	Redatto da AO	Data	Giugno 2002
	Verificato da AT	Data	Ottobre 2002	
	Revisionato da MEB	Data	Aprile 2006	

Anima soggetta a flessione

$$\frac{c}{t\varepsilon} = \frac{500 - 2 \times \sqrt{2} \times 4}{4 \times 0,698} = 175 > 74,8, \text{ quindi l'anima è di Classe 4.}$$

Tabella 4.2

Flangia soggetta a compressione

$$\frac{c}{t\varepsilon} = \frac{200 - 4 - 2 \times \sqrt{2} \times 4}{2 \times 12 \times 0,698} = 11,0 \leq 11,0, \text{ quindi la flangia in compressione è di Classe 3.}$$

Tabella 4.2

Pertanto, per la classificazione complessiva, la sezione è di Classe 4.

Resistenza al taglio

Par. 5.4.3

La resistenza all'instabilità per taglio deve essere controllata, quando $h_w/t_w \geq \frac{23}{\eta} \varepsilon \sqrt{k_\tau}$

per anime con irrigidimenti verticali.

$$a/h_w = 1250/500 > 1, \text{ dunque}$$

$$k_\tau = 5,34 + 4 \left(\frac{h_w}{a} \right)^2 = 5,34 + 4 \left(\frac{500}{1250} \right)^2 = 5,98$$

Eq. 5.16a

EN 1993-1-4 raccomanda $\eta = 1,2$

Par. 5.4.3

$$h_w/t_w = \frac{500}{4} = 125 \geq \frac{23}{1,2} 0,698 \sqrt{5,98} = 32,7$$

Pertanto si deve controllare la resistenza all'instabilità per taglio. Essa si ottiene come:

$$V_{b,Rd} = V_{bw,Rd} + V_{bf,Rd} \leq \frac{\eta f_{yw} h_w t_w}{\sqrt{3} \gamma_{M1}} = \frac{1,2 \times 460 \times 500 \times 4}{\sqrt{3} \times 1,1} = 579,47 \text{ kN}$$

Eq. 5.12a

$$V_{bw,Rd} = \frac{\chi_w f_{yw} h_w t_w}{\sqrt{3} \gamma_{M1}}$$

Eq. 5.12b

$$\chi_w = \eta = 1,2 \quad \text{per } \bar{\lambda}_w \leq 0,60/\eta = 0,5$$

Eq. 5.13a

$$\chi_w = 0,11 + \frac{0,64}{\bar{\lambda}_w} - \frac{0,05}{\bar{\lambda}_w^2} \quad \text{per } \bar{\lambda}_w > 0,60/\eta = 0,5$$

Eq. 5.13b

$$\bar{\lambda}_w = \left(\frac{h_w}{37,4 t_w \varepsilon \sqrt{k_\tau}} \right)$$

Eq. 5.15

$$\bar{\lambda}_w = \left(\frac{500}{37,4 \times 4 \times 0,698 \times \sqrt{5,98}} \right) = 1,958 > 0,60/\eta = 0,5$$

Di conseguenza, il contributo da parte dell'anima della trave si ottiene con:

$$\chi_w = 0,11 + \frac{0,64}{1,958} - \frac{0,05}{1,958^2} = 0,424$$

 Department of Civil and Mining Engineering Division of Steel Structures, University Campus, SE-971 87 Luleå, Sweden Tel: +46 920 91 000 Fax: +46 920 91 913 FOGLIO DI CALCOLO	Commessa N.	Foglio	3 di 6	Rev B
	Titolo commessa RFCS Stainless Steel Valorisation Project			
	Argomento Esempio di progetto 7 – Resistenza a taglio di una trave alta			
	Cliente RFCS	Redatto da AO	Data	Giugno 2002
	Verificato da AT	Data	Ottobre 2002	
	Revisionato da MEB	Data	Aprile 2006	

$$V_{bw,Rd} = \frac{\chi_w f_{yw} h_w t_w}{\sqrt{3} \gamma_{M1}} = \frac{0,424 \times 460 \times 500 \times 4}{\sqrt{3} \times 1,1} = 204,74 \text{ kN}$$

Il contributo delle flange può essere utilizzato, se queste non sono impiegate completamente per contrastare il momento flettente. La resistenza a flessione di una sezione composta di sole flange si calcola con:

$$M_{f,Rd} = 12 \times 200 \times \frac{460}{1,1} \times (500 + 12) = 513,86 \text{ kNm}$$

$M_{f,Rd} > M_{Ed} = 275 \text{ kNm}$, quindi le flange possono contribuire alla resistenza all'instabilità per taglio

$$V_{bf,Rd} = \frac{b_f t_f^2 f_{yf}}{c \gamma_{M1}} \left[1 - \left[\frac{M_{Ed}}{M_{f,Rd}} \right]^2 \right]$$

$$c = a \left[0,17 + \frac{3,5 b_f t_f^2 f_{yf}}{t_w h_w^2 f_{yw}} \right] \text{ ma } \frac{c}{a} \leq 0,65$$

$$= 1250 \times \left[0,17 + \frac{3,5 \times 200 \times 12^2 \times 460}{4 \times 500^2 \times 460} \right] = 338 \text{ mm} < 0,65 \times 1250 = 812 \text{ mm}$$

$$V_{bf,Rd} = \frac{200 \times 12^2 \times 460}{338 \times 1,1} \times \left[1 - \left[\frac{275}{513,86} \right]^2 \right] = 25,43 \text{ kN}$$

$$V_{b,Rd} = V_{bw,Rd} + V_{bf,Rd} = 230,17 \text{ kN} \leq 579,47 \text{ kN}$$

Irrigidimenti trasversali

Gli irrigidimenti trasversali devono essere verificati contro la compressione e l'instabilità flessionale, usando $\alpha = 0,49$, $\bar{\lambda}_0 = 0,2$. Viene utilizzata una sezione efficace, che comprende gli irrigidimenti e parti dell'anima. La porzione inclusa dell'anima è larga $11 \varepsilon t_w$, quindi la sezione dell'irrigidimento trasversale è di Classe 3.

$a/h_w = 1250/500 = 2,5 \geq \sqrt{2}$, di conseguenza il momento d'inerzia del rinforzo intermedio deve soddisfare anche la seguente equazione:

$$I_{st} \geq 0,75 h_w t_w^3 = 0,75 \times 500 \times 4^3 = 24000 \text{ mm}^4$$

$$I_{st} = 2 \times \frac{(11 \times 0,698 \times 4) \times 4^3}{12} + \frac{12 \times 200^3}{12} = 8,00 \times 10^6 \text{ mm}^4, \text{ hence fulfilled.}$$

La resistenza a compressione si ottiene come

$$N_{c,Rd} = A_s f_y / \gamma_{M0}$$

$$A_s = (12 \times 200 + 11 \times 0,698 \times 4 \times 2) = 2461,42 \text{ mm}^2$$

Par. 5.4.3

Eq. 5.17

Par. 5.4.5

Eq. 5.37

Eq. 5.37

Eq. 4.25

 LULEÅ UNIVERSITY OF TECHNOLOGY Department of Civil and Mining Engineering Division of Steel Structures, University Campus, SE-971 87 Luleå, Sweden Tel: +46 920 91 000 Fax: +46 920 91 913 FOGLIO DI CALCOLO	Commessa N.	Foglio	4 di 6	Rev B
	Titolo commessa RFCS Stainless Steel Valorisation Project			
	Argomento Esempio di progetto 7 – Resistenza a taglio di una trave alta			
	Cliente RFCS	Redatto da AO	Data	Giugno 2002
	Verificato da AT	Data	Ottobre 2002	
	Revisionato da MEB	Data	Aprile 2006	

$$N_{c,Rd} = 2461,42 \times 460 / 1,1 = 1029,32 \text{ kN}$$

La resistenza all'instabilità è ottenuta come

$$N_{b,Rd} = \chi A_s f_y / \gamma_{M1}$$

Eq. 5.2a

$$\chi = \frac{1}{\varphi + [\varphi^2 - \bar{\lambda}^2]^{0,5}} \leq 1$$

Eq. 5.3

$$\varphi = 0,5 \left(1 + \alpha (\bar{\lambda} - \bar{\lambda}_0) + \bar{\lambda}^2 \right)$$

Eq. 5.4

$$\bar{\lambda} = \frac{l}{i} \frac{1}{\pi} \sqrt{\frac{f_{yw} \beta_A}{E}}$$

Eq. 5.5a

$$l = 0,75 h_w = 0,75 \times 500 = 375 \text{ mm}$$

Par. 5.4.5

$\beta_A = 1,0$ poiché la sezione del rinforzo è di Classe 3

$$\bar{\lambda} = \frac{375}{\sqrt{8 \times 10^6}} \frac{1}{\pi} \sqrt{\frac{460 \times 1}{200000}} = 0,100$$

$$\varphi = 0,5 \times \left(1 + 0,49 \times (0,100 - 0,2) + 0,100^2 \right) = 0,481$$

$$\chi = \frac{1}{0,481 + [0,481^2 - 0,100^2]^{0,5}} = 1,05 > 1 \Rightarrow \chi = 1,0$$

Poiché $\beta_A = 1,0$ si ha che $N_{b,Rd} = N_{c,Rd} > N_{Ed}$, e i rinforzi trasversali sono sufficienti.

Interazione taglio – flessione

Se il contributo della resistenza a taglio, espressa come fattore η_3 , è maggiore di 0,5, bisogna verificare l'effetto combinato di taglio e flessione.

Par. 5.4.3

$$\bar{\eta}_3 = \frac{V_{Ed}}{V_{bw,Rd}} \leq 1,0$$

Eq. 5.23

$$\bar{\eta}_3 = \frac{220}{204,74} = 1,075 > 0,5, \text{ quindi è necessario tenere conto dell'interazione.}$$

La condizione è

$$\bar{\eta}_1 + \left(1 - \frac{M_{f,Rd}}{M_{pl,Rd}} \right) (2\bar{\eta}_3 - 1)^2 \leq 1,0 \text{ for } \bar{\eta}_1 \geq \frac{M_{f,Rd}}{M_{pl,Rd}}$$

Eq. 5.21

dove:

$$\bar{\eta}_1 = \frac{M_{Ed}}{M_{pl,Rd}}$$

Eq. 5.22

 Department of Civil and Mining Engineering Division of Steel Structures, University Campus, SE-971 87 Luleå, Sweden Tel: +46 920 91 000 Fax: +46 920 91 913 FOGLIO DI CALCOLO	Commessa N.	Foglio	5 di 6	Rev B
	Titolo commessa RFCS Stainless Steel Valorisation Project			
	Argomento Esempio di progetto 7 – Resistenza a taglio di una trave alta			
	Cliente RFCS	Redatto da AO	Data	Giugno 2002
	Verificato da AT	Data	Ottobre 2002	
	Revisionato da MEB	Data	Aprile 2006	

Calcolo delle proprietà della sezione efficace.

Le flangie sono di Classe 3 e, quindi, pienamente efficaci.

L'altezza dell'anima deve essere ridotta col fattore di riduzione ρ , per anima saldata.

$$\rho = \frac{0,772}{\bar{\lambda}_p} - \frac{0,125}{\bar{\lambda}_p^2} \leq 1$$

Eq. 4.1a

$$\bar{\lambda}_p = \frac{\bar{b}/t}{28,4\varepsilon\sqrt{k_\sigma}} \quad \text{dove} \quad \bar{b} = d = 500 - 2 \times 4 \times \sqrt{2} = 488,68 \text{ mm}$$

Eq. 4.2

Assumendo una variazione lineare e simmetrica della distribuzione della tensione nell'anima

$$\psi = \frac{\sigma_2}{\sigma_1} = -1$$

$$\Rightarrow k_\sigma = 23,9$$

Tabella 4.3

$$\bar{\lambda}_p = \frac{488,68/4}{28,4 \times 0,698 \times \sqrt{23,9}} = 1,26$$

$$\rho = \frac{0,772}{1,26} - \frac{0,125}{1,26^2} = 0,534 \leq 1$$

$$b_{\text{eff}} = \rho b_c = \rho \bar{b} / (1 - \psi) = 0,534 \times 488,68 / (1 - (-1)) = 130,48$$

Tabella 4.3

$$b_{e1} = 0,4 b_{\text{eff}} = 0,4 \times 130,48 = 52,19 \text{ mm}$$

Tabella 4.3

$$b_{e2} = 0,6 b_{\text{eff}} = 0,6 \times 130,48 = 78,29 \text{ mm}$$

Calcolare il modulo della sezione efficace in flessione

e_i è considerato positivo dal baricentro della flangia superiore e diretto verso il basso

$$A_{\text{eff}} = \sum_i A_i = b_f t_f \times 2 + b_{e1} t_w + b_{e2} t_w + (h_w / 2) t_w = 6321,92 \text{ mm}^2$$

$$e_{\text{eff}} = \frac{1}{A_{\text{eff}}} \sum_i A_i e_i = \frac{1}{A_{\text{eff}}} [b_f t_f (0) + b_f t_f (h_w + t_f)] + [b_{e1} t_w (0,5(b_{e1} + t_f)) + b_{e2} t_w (0,5(h_w + t_f) - b_{e2} / 2) + (h_w / 2) t_w (0,75 h_w + 0,5 t_f)] = 266,44 \text{ mm}$$

$$I_{\text{eff}} = \sum_i I_i + \sum_i A_i (e_{\text{eff}} - e_i)^2 = 2 \times \frac{b_f t_f^3}{12} + \frac{t_w b_{e1}^3}{12} + \frac{t_w b_{e2}^3}{12} + \frac{t_w (h_w / 2)^3}{12} + b_f t_f (e_{\text{eff}} - 0)^2 + b_f t_f [e_{\text{eff}} - (h_w + t_f)]^2 + b_{e1} t_w [e_{\text{eff}} - 0,5(b_{e1} + t_f)]^2 + b_{e2} t_w [e_{\text{eff}} - 0,5(h_w + t_f + b_{e2})]^2 + (h_w / 2) t_w [e_{\text{eff}} - (0,75 h_w + 0,5 t_f)]^2 = 3,459 \times 10^8 \text{ mm}^4$$

 LULEÅ UNIVERSITY OF TECHNOLOGY Department of Civil and Mining Engineering Division of Steel Structures, University Campus, SE-971 87 Luleå, Sweden Tel: +46 920 91 000 Fax: +46 920 91 913 FOGLIO DI CALCOLO	Commessa N.	Foglio	6 di 6	Rev B
	Titolo commessa RFCS Stainless Steel Valorisation Project			
	Argomento Esempio di progetto 7 – Resistenza a taglio di una trave alta			
	Cliente	Redatto da	AO	Data
RFCS	Verificato da	AT	Data	Ottobre 2002
	Revisionato da	MEB	Data	Aprile 2006

$$\bar{\eta}_1 = \frac{M_{Ed}}{M_{pl,Rd}}$$

$M_{f,Rd} = 513,86$ kNm (foglio 3 del presente Esempio)

$M_{pl,Rd}$ è la resistenza plastica della sezione.

$$M_{pl,Rd} = M_{f,Rd} + \frac{t_w h_w^2 f_y}{4 \gamma_{M0}} = 513,86 + \frac{4 \times 500^2 \times 460}{4 \times 1,1 \times 10^6} = 618,40 \text{ kNm}$$

Valutare le condizioni

$M_{Ed} = 275$ kNm, quindi:

$$\bar{\eta}_1 = \frac{275}{618,40} = 0,44 \leq 1,0 \text{ OK}$$

$\bar{\eta}_1$ soddisfano entrambi le rispettive condizioni. Ora resta da controllare l'interazione.

$$\bar{\eta}_1 + \left(1 - \frac{M_{f,Rd}}{M_{pl,Rd}}\right) \left(2\bar{\eta}_3 - 1\right)^2 = 0,44 + \left(1 - \frac{513,86}{618,40}\right) \left((2 \times 1,075) - 1\right)^2 = 0,664 < 1,0$$

Ne consegue che, alle condizioni date, la resistenza della trave è sufficiente nei confronti dello sforzo di taglio, della flessione, come pure nei confronti dell'interazione fra taglio e flessione.

Eq. 5.22