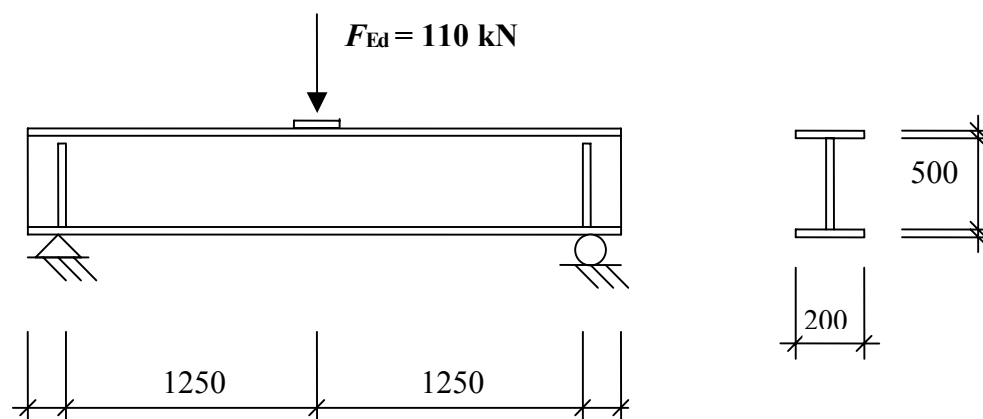
 Department of Civil and Mining Engineering Division of Steel Structures, University campus, SE-971 87 Luleå, Sweden Tel: +46 920 91 000 Fax: +46 920 91 913 FOGLIO DI CALCOLO	Commissa N.	Foglio	1 di 6	Rev	B
	Titolo commessa RFCS Stainless Steel Valorisation Project				
	Argomento Esempio di progetto 8 – Resistenza di una trave ai carichi concentrati				
	Cliente RFCS	Redatto da	AO	Data	Giugno 2002
Verificato da		AT	Data	Ottobre 2002	
Revisionato da		MEB	Data	Aprile 2006	

ESEMPIO DI PROGETTO 8 – RESISTENZA DI UNA TRAVE AI CARICHI CONCENTRATI

Una trave esistente e precedentemente soggetta ad un carico uniforme viene sottoposta ad un carico concentrato, dopo un'operazione di riparazione. Controllare se la trave può resistere al nuovo carico applicato attraverso una lamiera di 12 mm di spessore. La trave è semplicemente appoggiata con sezione ad I e con una luce secondo la figura. La flangia superiore è vincolata lateralmente.



Acciaio del tipo 1.4462, laminato a caldo.

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

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

Flange: $12 \times 200 \text{ mm}^2$

Anima: $4 \times 500 \text{ mm}^2$

Elementi d'irrigidimento: $12 \times 98 \text{ mm}^2$

Spessore gola saldata: 4 mm

Analisi strutturale

Il taglio massimo ed il momento flettente massimo si ottengono con:

$$V_{Ed} = \frac{F_{Ed}}{2} = \frac{110}{2} = 55 \text{ kN}$$

$$M_{Ed} = \frac{F_{Ed} L}{4} = \frac{110 \times 2,5}{4} = 68,75 \text{ kNm}$$

Coefficienti parziali di sicurezza

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

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

Classificazione della sezione


$$\varepsilon = \sqrt{\frac{235\,200}{460\,210}} = 0,698$$


Tabella 3.1
Par. 3.2.4


Tabella 2.1

Par. 4.3

Tabella 4.2

 <p>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</p> <p>FOGLIO DI CALCOLO</p>	Commessa N.	Foglio	2 di 6	Rev B
	Titolo commessa RFCS Stainless Steel Valorisation Project			
	Argomento Esempio di progetto 8 – Resistenza di una trave ai carichi concentrati			
	Cliente	Redatto da	AO	Data
RFCS	Verificato da	AT	Data	Ottobre 2002
	Revisionato da	MEB	Data	Aprile 2006
<p>Anima soggetta a flessione</p> $\frac{c}{t\epsilon} = \frac{500 - 2 \times \sqrt{2} \times 4}{4 \times 0,698} = 175 > 74,8$, quindi l'anima è di Classe 4.				Tabella 4.2
<p>Flangia soggetta a compressione</p> $\frac{c}{t\epsilon} = \frac{200 - 4 - 2 \times \sqrt{2} \times 4}{2 \times 12 \times 0,698} = 11,0 \leq 11,0$, quindi la flangia in compressione è di Classe 3.				Tabella 4.2
Pertanto, per la classificazione complessiva, la sezione è di Classe 4				
Resistenza alla forza concentrata				Par. 5.4.4
Il carico di progetto non deve superare la resistenza di progetto, cioè				
$F_{Rd} = f_{yw} L_{eff} t / \gamma_{M1}$				Eq. 5.24
La lunghezza efficace L_{eff} è data da				
$L_{eff} = \chi_F l_y$				
dove la funzione di riduzione è				
$\chi_F = \frac{0,5}{\bar{\lambda}_F} \leq 1,0$				Eq. 5.32
con la snellezza determinata da				
$\bar{\lambda}_F = \sqrt{\frac{l_y t_w f_{yw}}{F_{cr}}}$				Eq. 5.33
La lunghezza efficace caricata è				
$l_y = s_s + 2t_f (1 + \sqrt{m_1 + m_2})$				Eq. 5.27
Dove:				
s_s è la lunghezza dell'appoggio rigido e m_1 e m_2 sono parametri adimensionali				
$m_1 = \frac{f_{yf} b_f}{f_{yw} t_w}$				Eq. 5.25
$m_2 = 0,02 \left(\frac{h_w}{t_f} \right)^2$ per $\bar{\lambda}_F > 0,5$				Eq. 5.26a
$m_2 = 0$ per $\bar{\lambda}_F \leq 0,5$				Eq. 5.26b
La lunghezza dell'appoggio rigido s_s è considerata cautelativamente pari a due volte lo spessore della piastra di carico, cioè 24 mm.				
$m_1 = \frac{460 \times 200}{460 \times 4} = 50$				Eq. 5.25

 <p>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</p> <p>FOGLIO DI CALCOLO</p>	Commessa N.	Foglio	3 di 6	Rev B
	Titolo commessa RFCS Stainless Steel Valorisation Project			
	Argomento Esempio di progetto 8 – Resistenza di una trave ai carichi concentrati			
	Cliente	Redatto da	AO	Data
RFCS	Verificato da	AT	Data	Ottobre 2002
	Revisionato da	MEB	Data	Aprile 2006
$m_2 = 0,02 \times \left[\frac{500}{12} \right]^2 = 34,72, \text{ assumendo } \bar{\lambda}_F > 0,5$ $I_y = 24 + 2 \times 12 \times \left[1 + \sqrt{50 + 34,72} \right] = 268,90 \text{ mm}$ <p>Il carico critico si ottiene come</p> $F_{cr} = 0,9 k_F E \frac{t_w^3}{h_w}$ <p>dove il coefficiente d'instabilità dipende dalla configurazione del carico, di tipo a.</p> $k_F = 6 + 2 \left[\frac{h_w}{a} \right]^2$ $= 6 + 2 \times \left[\frac{500}{2500} \right]^2 = 6,08$ $F_{cr} = 0,9 \times 6,08 \times 200000 \times \frac{4^3}{500} = 140,08 \text{ kN}$ $\bar{\lambda}_F = \sqrt{\frac{268,90 \times 4 \times 460}{140,08 \times 10^3}} = 1,88 > 0,5, \text{ l'ipotesi è soddisfatta}$ $\chi_F = \frac{0,5}{1,88} = 0,266 \leq 1,0, \text{ OK}$ $L_{eff} = 0,266 \times 268,90 = 71,53 \text{ mm}$ $F_{Ed} = 110 \leq 460 \times 71,53 \times 4 / (1,1 \times 10^3) = 119,65 \text{ kN}$ <p>Quindi la resistenza è superiore al carico</p> <p>Interazione carico concentrato e flessione</p> <p>L'interazione fra carico concentrato e momento flettente viene verificata come suggerito nella prEN 1993-1-5:2004.</p> $0,8 \times \eta_1 + \eta_2 \leq 1,4$ <p>Dove :</p> $\eta_1 = \frac{N_{Ed}}{f_y A_{eff} / \gamma_{M0}} + \frac{M_{Ed} + N_{Ed} e_N}{f_y W_{eff} / \gamma_{M0}} \leq 1,0$ $\eta_2 = \frac{F_{Ed}}{f_{yw} L_{eff} t / \gamma_{M1}} \leq 1,0$				Eq. 5.26a
				Eq. 5.27
				Eq. 5.34
				Fig. 5.4
				Eq. 5.33
				Eq. 5.32
				EN 1993-1-5, eq. 7.2
				EN 1993-1-5, eq. 4.14
				EN 1993-1-5, eq. 6.14

 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 8 – Resistenza di una trave ai carichi concentrati			
	Cliente	Redatto da	AO	Data
RFCS	Verificato da	AT	Data	Ottobre 2002
	Revisionato da	MEB	Data	Aprile 2006

Calcolo delle proprietà della sezione efficace

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

L'altezza dell'anima deve essere ridotta con il 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

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

Eq. 4.2

Assumendo una variazione lineare della distribuzione simmetrica 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

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

Tabella 4.3

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

Calcolare il modulo della sezione efficace in flessione


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

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

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

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

$$W_{\text{eff}} = \frac{I_{\text{eff}}}{e_{\text{eff}} + 0,5t_f} = 1,270 \times 10^6 \text{ mm}^3$$

 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 8 – Resistenza di una trave ai carichi concentrati			
	Cliente	Redatto da	AO	Data
RFCS	Verificato da	AT	Data	Ottobre 2002
	Revisionato da	MEB	Data	Aprile 2006

$$\eta_1 = \frac{68,75 \times 10^6}{460 \times 1,270 \times 10^6 / 1,1} = 0,129$$

$$\eta_2 = \frac{110}{119,63} = 0,920$$

$$0,8 \times \eta_1 + \eta_2 = 0,8 \times 0,129 + 0,920 = 1,023 < 1,4$$

Pertanto, la resistenza della trave all'interazione fra carico concentrato e momento flettente è adeguata.

Resistenza al taglio

Par. 5.4.3

La resistenza all'instabilità per taglio deve essere controllata quando $h_w / t_w \geq \frac{52}{\eta} \varepsilon$ nel caso di anime non irrigidite.

$$h_w / t_w = 500 / 4 = 125 \geq \frac{52}{1,2} \times 0,698 = 30,2$$

Bisogna, quindi, controllare la resistenza all'instabilità per taglio. Essa si ottiene come

$$V_{b,Rd} = V_{bw,Rd} + V_{bf,Rd} \leq \frac{\eta f_{yw} h_w t}{\sqrt{3} \gamma_{M1}} \quad \text{Eq. 5.12a}$$

$$V_{bw,Rd} = \frac{\chi_w f_{yw} h_w t_w}{\gamma_{M1} \sqrt{3}} \quad \text{Eq. 5.12b}$$

$$\chi_w = \eta = 1,2 \quad \text{per } \bar{\lambda}_w \leq 0,60 / \eta = 0,5 \quad \text{Eq. 5.13a}$$

$$\chi_w = 0,11 + \frac{0,64}{\bar{\lambda}_w} - \frac{0,05}{\bar{\lambda}_w^2} \quad \text{per } \bar{\lambda}_w > 0,5 \quad \text{Eq. 5.13b}$$

$$\bar{\lambda}_w = \left(\frac{h_w}{86,4 t_w \varepsilon} \right) = \left(\frac{500}{86,4 \times 4 \times 0,698} \right) = 2,072 > 0,5 \quad \text{Eq. 5.14}$$


$$\chi_w = 0,11 + \frac{0,64}{2,072} - \frac{0,05}{2,072^2} = 0,407$$

Il contributo delle flangie può essere utilizzato, se queste non sono impiegate completamente per contrastare il momento flettente. Tuttavia, tale contributo è limitato, per cui, cautelativamente, non viene tenuto in considerazione, i.e. $V_{bf,Rd} = 0$.

la resistenza all'instabilità per taglio si calcola, quindi, con:

$$V_{bw,Rd} = \frac{0,407 \times 460 \times 500 \times 4}{1,1 \times \sqrt{3}} = 196,53 \text{ kN} > V_{Ed} = 55 \text{ kN}$$

La resistenza della trave al taglio è sufficiente.

 <p> L 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 </p>	Commessa N.	Foglio	6 di 6	Rev B
	Titolo commessa RFCS Stainless Steel Valorisation Project			
	Argomento Esempio di progetto 8 – Resistenza di una trave ai carichi concentrati			
	Cliente	Redatto da	AO	Data
RFCS	Verificato da	AT	Data	Ottobre 2002
	Revisionato da	MEB	Data	Aprile 2006
Interazione taglio – flessione Se $\bar{\eta}_3$ non supera 0,5, non si deve verificare l'effetto combinato fra flessione e taglio. $\bar{\eta}_3 = \frac{V_{Ed}}{V_{bw, Rd}} \leq 1,0$ $= \frac{55}{196,53} = 0,280 \leq 0,5, \text{ non è quindi necessario tenere conto dell'interazione.}$				Eq. 5.23
Note conclusive La resistenza della trave è superiore al carico imposto. Notare che gli irrigidimenti verticali sugli appoggi non devono essere ricontrollati. E' sufficiente applicare la procedura dell'Esempio di progettazione 7.				