

SBI

Stålbyggnadsinstitutet
The Swedish Institute of Steel Construction

FOGLIO DI CALCOLO

Commessa N.	Foglio	1 di 6	Rev	A
Titolo commessa RFCS Stainless Steel Valorisation Project				
Argomento Esempio di progetto 11 – Dimensionamento della lamiera grecata per una copertura a due luci				
Cliente RFCS	Redatto da	JG/AO	Data	Febbraio 2006
	Verificato da	GZ	Data	Marzo 2006

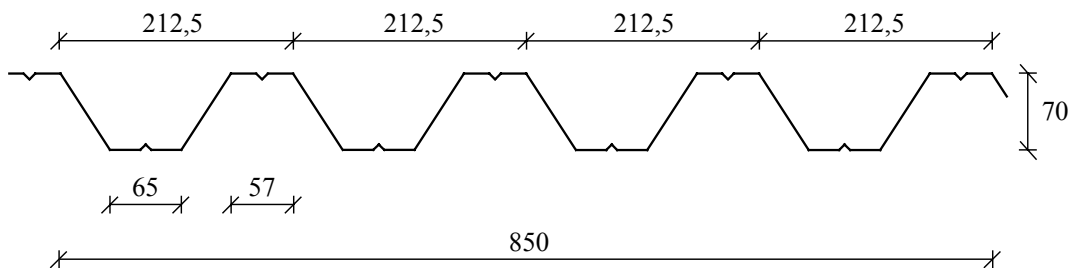
ESEMPIO DI PROGETTO 11 – DIMENSIONAMENTO DELLA LAMIERA GRECATA PER UNA COPERTURA A DUE LUCI

Questo esempio riguarda il dimensionamento di una lamiera grecata per una copertura a due luci. Lo spessore della lamiera è 0,6 mm mentre il tipo di acciaio inossidabile scelto è 1.4401 incrudito al livello CP500 (snervamento nominale $f_y = 500 \text{ N/mm}^2$). Si farà anche il confronto con la stessa lamiera allo stato ricotto ($f_y = 240 \text{ N/mm}^2$) (a questo proposito si veda anche l'Esempio di progetto 3).

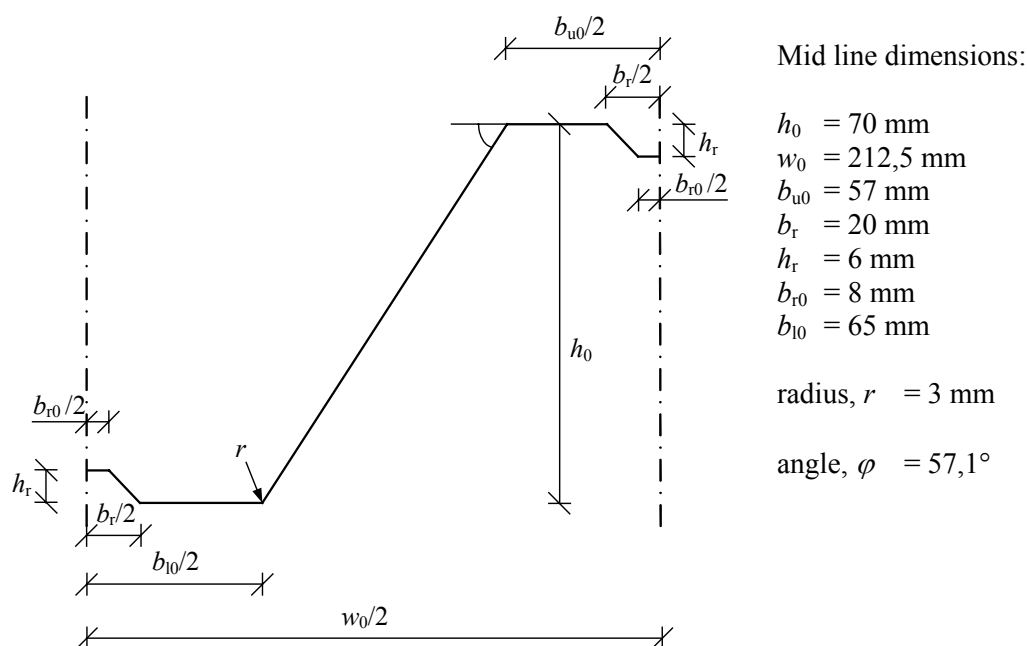
Se, a causa dell'anisotropia del materiale incrudito, lo snervamento nominale non può essere garantito in tutte le direzioni, allora nei calcoli bisogna utilizzare cautelativamente il valore fornito dal produttore (trazione trasversale) ridotto del 20% (compressione longitudinale). In questo esempio si fa questa assunzione.

Par. 3.2.4

La sezione della lamiera grecata è quotata nella seguente immagine



Uno schema più dettagliato della geometria della lamiera è riportato di seguito. Nella sezione critica in corrispondenza dell'appoggio intermedio la flangia inferiore è in compressione.



<h1>SBI</h1> <p>Stålbyggnadsinstitutet The Swedish Institute of Steel Construction</p> <p>FOGLIO DI CALCOLO</p>	Commessa N.	Foglio	2 di 6	Rev	A
	Titolo commessa RFCS Stainless Steel Valorisation Project				
	Argomento Esempio di progetto 11 – Dimensionamento della lamiera grecata per una copertura a due luci				
	Cliente	Redatto da	JG/AO	Data	Febbraio 2006
RFCS	Verificato da	GZ	Data	Marzo 2006	

Dati

Campata	$L = 3,5 \text{ m}$	
Carico	$q = 1,4 \text{ kN/m}^2$	
Peso proprio	$g = 0,07 \text{ kN/m}^2$	
Spessore della lamiera	$t = 0,6 \text{ mm}$	
Larghezza degli appoggi	$s_s = 100 \text{ mm}$	
Tensione di snervamento	$f_y = 0,8 \times 500 = 400 \text{ N/mm}^2$	Tabella 3.5
Modulo di elasticità	$E = 200\,000 \text{ N/mm}^2$	

Coeff. parziali di sicurezza
divisori della resistenza

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

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

moltiplicatori dei carichi

$$\gamma_G = 1,35 \text{ (carichi permanenti)}$$

$$\gamma_Q = 1,5 \text{ (carichi variabili)}$$

Tabella 2.1

Tabella 2.1

Par. 2.3.2

Par. 2.3.2

Proprietà della sezione efficace

Massimo rapporto consentito larghezza/spessore

$$\max(b_{10}/t, b_{u0}/t) = b_{10}/t = 108 < 400$$

$$h_0/t = 117 < 400$$

Tabella 4.1

Posizione dell'asse baricentrico quando la sezione è completamente efficace

Larghezza efficace della flangia compressa

Par. 4.4.1

$$b_p = \frac{b_{10} - b_r}{2} = 22,5 \text{ mm} \quad \varepsilon = \sqrt{\frac{235}{f_y} \frac{E}{210000}} = 0,75$$

Tabella 4.2

$$k_\sigma = 4 \quad \bar{\lambda}_p = \frac{b_p/t}{28,4\varepsilon\sqrt{k_\sigma}} = 0,883$$

Tabella 4.3

Eq. 4.2

$$\rho = \frac{0,772}{\bar{\lambda}_p} - \frac{0,125}{\bar{\lambda}_p^2} = 0,714 \rightarrow b_{\text{eff},1} = \rho b_p = 16,1 \text{ mm}$$

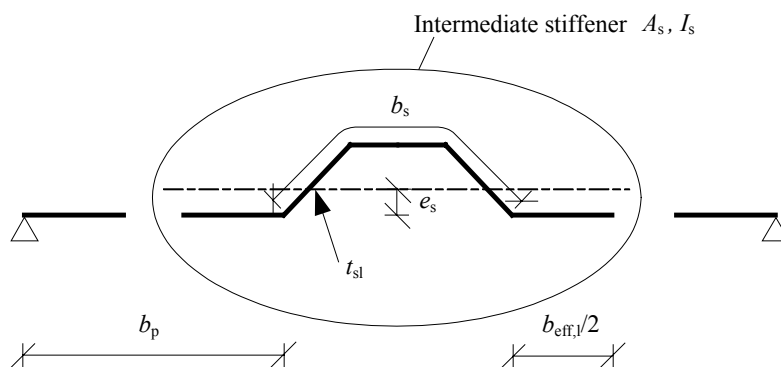
Eq. 4.1a

Tabella 4.3

Spessore ridotto dell'irrigidimento di flangia:

Par. 4.5.3

Lo schema della flangia inferiore è riportato nella seguente figura.



<h1>SBI</h1> <p>Stålbyggnadsinstitutet The Swedish Institute of Steel Construction</p> <p>FOGLIO DI CALCOLO</p>	Commessa N.	Foglio	3 di 6	Rev	A
	Titolo commessa RFCS Stainless Steel Valorisation Project				
	Argomento Esempio di progetto 11 – Dimensionamento della lamiera grecata per una copertura a due luci				
	Cliente	Redatto da	JG/AO	Data	Febbraio 2006
RFCS	Verificato da	GZ	Data	Marzo 2006	

Spessore efficace della parte inclinata dell'irrigidimento

$$t_{rl} = \frac{\left(\sqrt{\left(\frac{b_r - b_{r0}}{2} \right)^2 + h_r^2} \right) t}{h_r} = 0,85 \text{ mm}$$

$$A_s = (b_{\text{eff},l} + b_{r0})t + 2h_r t_{rl} = 24,62 \text{ mm}^2$$

$$e_s = \frac{b_{r0} h_r t + 2h_r \frac{h_r}{2} t_{rl}}{A_s} = 2,41 \text{ mm}$$

Fig. 4.3

Il momento d'inerzia dell'irrigidimento si calcola su un'are comprensiva anche di due strisce di larghezza $15t$ adiacenti all'irrigidimento propriamente detto (i termini di ordine inferiore sono trascurati):

Fig. 4.3

$$I_s = 2 \times 15t^2 e_s^2 + b_{r0} t (h_r - e_s)^2 + 2h_r t_{rl} \left(\frac{h_r}{2} - e_s \right)^2 + 2 \frac{t_{rl} h_r^3}{12} = 159,1 \text{ mm}^4$$

$$b_s = 2 \sqrt{h_r^2 + \left(\frac{b_r - b_{r0}}{2} \right)^2} + b_{r0} = 24,97 \text{ mm}$$

$$l_b = 3,074 \sqrt{\frac{I_s b_p^2 (2b_p + 3b_s)}{t^3}} = 251,0 \text{ mm}$$

Eq. 4.9

$$s_w = \sqrt{\left(\frac{w_0 - b_{u0} - b_{l0}}{2} \right)^2 + h_0^2} = 83,4 \text{ mm}$$

$$b_d = 2b_p + b_s = 70,0 \text{ mm}$$

Eq. 4.11

$$k_{w0} = \sqrt{\frac{s_w + 2b_d}{s_w + 0,5b_d}} = 1,37$$

Eq. 4.10

$$l_b / s_w = 3,01 > 2 \rightarrow k_w = k_{w0} = 1,37$$

Eq. 4.7

$$\sigma_{\text{cr},s} = \frac{4,2k_w E}{A_s} \sqrt{\frac{I_s t^3}{4b_p^2 (2b_p + 3b_s)}} = 557,5 \text{ N/mm}^2$$

Eq. 4.3

$$\bar{\lambda}_d = \sqrt{\frac{f_y}{\sigma_{\text{cr},s}}} = 0,85 \rightarrow \chi_d = 1,47 - 0,723\bar{\lambda}_d = 0,86$$

Eq. 4.16

$$t_{\text{red}} = \chi_d t = 0,51 \text{ mm}$$

Se necessario si può affinare iterativamente il calcolo del fattore di riduzione dell'irrigidimento per i calcoli all'instabilità.

EN1993-1-3,
par. 5.5.3.3(3)

Distanza dell'asse neutro dalla flangia compressa (anima totalmente efficace)

$$A_{\text{tot}} = \sum A_i = 84,0 \text{ mm}^2$$

<h1>SBI</h1> <p>Stålbyggnadsinstitutet The Swedish Institute of Steel Construction</p> <p>FOGLIO DI CALCOLO</p>	Commessa N.	Foglio	4 di 6	Rev	A
	Titolo commessa RFCS Stainless Steel Valorisation Project				
	Argomento Esempio di progetto 11 – Dimensionamento della lamiera grecata per una copertura a due luci				
	Cliente	Redatto da	JG/AO	Data	Febbraio 2006
RFCS	Verificato da	GZ	Data	Marzo 2006	

$$e_c = \frac{\sum A_i e_i}{A_{tot}} = 36,3 \text{ mm}$$

Sezione efficace dell'anima

$$\psi = -\frac{h_0 - e_c}{e_c} = -0,929$$

$$k_\sigma = 7,81 - 6,29\psi + 9,78\psi^2 = 22,1$$

$$b_{p,w} = s_w = 83,4 \text{ mm}$$

$$\bar{\lambda}_p = \frac{b_{p,w} / t}{28,4\epsilon\sqrt{k_\sigma}} = 1,391$$

$$\rho = \frac{0,772}{\bar{\lambda}_p} - \frac{0,125}{\bar{\lambda}_p^2} = 0,490 \rightarrow b_{\text{eff},w} = \rho \frac{b_{p,w}}{1 - \psi} = 21,2 \text{ mm}$$

$$s_{\text{eff},1} = 0,4b_{\text{eff},w} = 8,47 \text{ mm}$$

$$s_{\text{eff},2} = 0,6b_{\text{eff},w} = 12,7 \text{ mm}$$

Proprietà della sezione efficace di metà greca

$$A_{\text{eff,tot}} = \sum A_{\text{eff},i} = 70,8 \text{ mm}^2$$

$$e_{\text{eff,c}} = \frac{\sum A_{\text{eff},i} e_{\text{eff},i}}{A_{\text{eff,tot}}} = 40,0 \text{ mm}$$

$$I_{\text{tot}} = \sum I_{\text{eff},i} + \sum A_{\text{eff},i} (e_c - e_{\text{eff},i})^2 = 51710 \text{ mm}^4$$

Resistenza a flessione per unità di larghezza della lamiera (1m)

$$I = I_{\text{tot}} \frac{1000 \text{ mm}}{0,5w_0} = 486685 \text{ mm}^4$$

$$W_{\text{eff},l} = \frac{I}{e_c} = 12165 \text{ mm}^3$$

$$W_{\text{eff},u} = \frac{I}{h_0 - e_c} = 16227 \text{ mm}^3$$

$$W_{\text{eff},l} < W_{\text{eff},u} \rightarrow W_{\text{eff},\text{min}} = W_{\text{eff},l}$$

$$M_{c,Rd} = W_{\text{eff},\text{min}} f_y / \gamma_{M0} = 4,42 \text{ kNm}$$

Resistenza al carico concentrato in corrispondenza dell'appoggio intermedio

Resistenza al carico concentrato per unità di larghezza della lamiera (1 m)

$$\alpha = 0,15 \text{ (per profili formati da lamiera) e } l_a = s_s$$

$$R_{w,Rd} = \alpha t^2 \sqrt{f_y E} (1 - 0,1\sqrt{r/t}) \left[0,5 + \sqrt{0,02l_a / t} \right] \left(2,4 + (\varphi/90)^2 \right) \frac{1000 \text{ mm}}{0,5w_0} / \gamma_{M1}$$

$$R_{w,Rd} = 20,9 \text{ kN}$$

Par. 4.4.1

Tabella 4.3

Eq. 4.2

Eq. 4.1a,
Tabella 4.3

Table 4.3

Par. 4.7.4

Eq. 4.29

EN 1993-1-3,
eq. 6.20c,
6.19b e 6.18

<h1>SBI</h1> <p>Stålbyggnadsinstitutet The Swedish Institute of Steel Construction</p> <p>FOGLIO DI CALCOLO</p>	Commessa N.	Foglio	5 di 6	Rev	A
	Titolo commessa RFCS Stainless Steel Valorisation Project				
	Argomento Esempio di progetto 11 – Dimensionamento della lamiera grecata per una copertura a due luci				
	Cliente	Redatto da	JG/AO	Data	Febbraio 2006
RFCS	Verificato da	GZ	Data	Marzo 2006	

Interazione tra momento flettente e carico concentrato

Il momento Massimo si ha in corrispondenza dell'appoggio intermedio dove è necessario considerare l'interazione con la reazione d'appoggio come segue:

$$\frac{M_{Ed}}{M_{c,Rd}} \leq 1 \quad \frac{F_{Ed}}{R_{w,Rd}} \leq 1 \quad \frac{M_{Ed}}{M_{c,Rd}} + \frac{F_{Ed}}{R_{w,Rd}} \leq 1,25$$

Carico di progetto per unità di larghezza della lamiera (1 m)

$$q_d = \gamma_G g + \gamma_Q q = 2,20 \text{ kN/m}$$

Il carico di progetto, q_d , da luogo ai seguenti valori del momento flettente e della reazione all'appoggio intermedio.

$$M_{Ed} = \frac{qL^2}{8} = 3,37 \text{ kNm} \quad F_{Ed} = \frac{5}{4} qL = 9,63 \text{ kN}$$

$$\frac{M_{Ed}}{M_{c,Rd}} = 0,76 \quad \frac{F_{Ed}}{R_{w,Rd}} = 0,46 \quad \frac{M_{Ed}}{M_{c,Rd}} + \frac{F_{Ed}}{R_{w,Rd}} = 1,22 \quad \text{OK}$$

Deformazione allo Stato Limite di Servizio (SLS)

Per le verifiche allo SLS la larghezza efficace della flangia compressa va calcolata sulla base della massima compressione nella flangia sotto i carichi di progetto allo SLS, calcolata come segue:

$$M_{Ed,ser} = \frac{(q+g)L^2}{8} = 2,25 \text{ kNm}$$

$$\sigma_{com,Ed,ser} = \frac{M_{Ed,ser}}{W_{eff,min}} = 186 \text{ N/mm}^2$$

Il modulo di resistenza $W_{eff,min}$ è conservativamente approssimato a quello allo SLU. A questo punto le proprietà della sezione efficace possono essere calcolate come precedentemente ma sostituendo f_y con $\sigma_{com,Ed,ser}$. Di seguito si riportano I risultati dei calcoli:

$$\begin{aligned} I &= 573\,150 \text{ mm}^4 \\ W_u &= 15\,866 \text{ mm}^3 \\ W_l &= 16\,919 \text{ mm}^3 \end{aligned}$$

Calcolo delle deformazioni:

Il modulo secante in corrispondenza delle tensioni nella flangia tesa e in quella compressa rispettivamente è pari a :

$$\sigma_{1,Ed,ser} = \frac{M_{Ed,ser}}{W_u} = 142 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_{2,Ed,ser} = \frac{M_{Ed,ser}}{W_l} = 133 \text{ N/mm}^2$$

EN 1993-1-3,
eq. 6.28a-c

Par. 2.3.2
Eq. 2.3

EN 1993-1-3,
par. 5.5.1(4)

Par. 2.3.4

Appendice C

<h1>SBI</h1> <p>Stålbyggnadsinstitutet The Swedish Institute of Steel Construction</p> <p>FOGLIO DI CALCOLO</p>	Commessa N.	Foglio	6 di 6	Rev	A
	Titolo commessa RFCS Stainless Steel Valorisation Project				
	Argomento Esempio di progetto 11 – Dimensionamento della lamiera grecata per una copertura a due luci				
	Cliente	Redatto da	JG/AO	Data	Febbraio 2006
RFCS	Verificato da	GZ	Data	Marzo 2006	

$$E_{s,1} = \frac{E}{1 + 0,002 \frac{E}{f_y} \left(\frac{\sigma_{1,Ed,ser}}{f_y} \right)^{n-1}} = 199\,604 \text{ N/mm}^2 \quad n = 7,0$$

$$E_{s,2} = \frac{E}{1 + 0,002 \frac{E}{f_y} \left(\frac{\sigma_{2,Ed,ser}}{f_y} \right)^{n-1}} = 199\,730 \text{ N/mm}^2$$

$$E_s = \frac{E_{s,1} + E_{s,2}}{2} = 199\,667 \text{ N/mm}^2$$

La variazione di E_s lungo l'asse della lamiera viene trascurata in favore di sicurezza assumendo E_s pari al valore minimo:

$$E_s = E_{s,1} = 199\,603 \text{ N/mm}^2$$

La deformazione ammessa è $L/300 = 11,7 \text{ mm}$

$$x = \frac{1 + \sqrt{33}}{16} L = 1,47 \text{ m} \quad (\text{posizione della massima deformazione})$$

$$\delta = \frac{(g+q)L^4}{48E_{s,1}I} \left(\frac{x}{L} - 3 \frac{x^3}{L^3} + 2 \frac{x^4}{L^4} \right) = 10,4 \text{ mm} \quad \text{OK}$$

Confronto con la lamiera in acciaio 1.4401 allo stato ricotto

La resistenza a flessione di un'identica lamiera grecata ma allo stato ricotto ($f_y = 240 \text{ N/mm}^2$) è pari a:

$$M_{c,Rd} = 3,22 \text{ kNm}$$

E la resistenza al carico concentrato in corrispondenza dell'appoggio intermedio è pari a:

$$R_{w,Rd} = 16,2 \text{ kN}$$

Utilizzando una identica lamiera ma allo stato ricotto la lunghezza di campata dovrebbe essere ridotta a 2,9 m dai 3,5 m coperti dalla lamiera allo stato incrudito. Dunque lamiera allo stato incrudito permettono di aumentare le luci della costruzioni con conseguente riduzione del numero di travi e travetti secondari e del costo della struttura

Appendice C
Tabella C.1

Appendice C