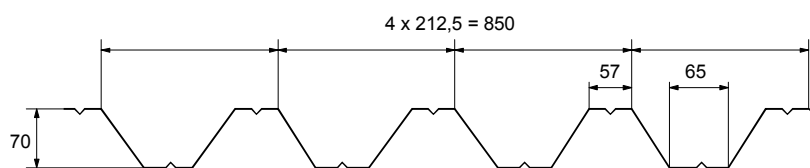


**VTT TECHNICAL RESEARCH
CENTRE OF FINLAND**VTT BUILDING AND TRANSPORT
Kemistintie 3, Espoo
P.O.Box 1805, FIN-02044 VTT, Finland
Telephone: + 358 9 4561
Fax: + 358 9 456 7003**FOGLIO DI CALCOLO**

Commessa N.	ROSU00658	Foglio	1	di	7	Rev	B
Titolo commessa		RFCS Stainless Steel Valorisation Project					
Argomento		Esempio di progetto 3 – Dimensionamento della lamiera grecata per una copertura a due luci					
Cliente RFCS	Redatto da	AAT	Data	Giugno 2002			
	Verificato da	JEK	Data	Giugno 2002			
	Revisionato da	JBL/MEB	Data	Aprile 2006			

ESEMPIO DI PROGETTO 3 – DIMENSIONAMENTO DELLA LAMIERA GRECATA PER UNA COPERTURA A DUE LUCI

Il tipo di acciaio inossidabile è 1.4401 e lo spessore della lamiera è 0,6 mm. La sezione trasversale è quotata nella seguente figura:



Il presente esempio coinvolge I seguenti aspetti progettuali:

- determinazione delle proprietà della sezione efficace e allo Stato Limite Ultimo
- determinazione della resistenza a flessione delle sezioni
- determinazione della resistenza alla reazione dell'appoggio intermedio
- determinazione della deformazione allo Stato Limite di Servizio.

In questo esempio si fanno richiami alla norma EN 1993-1-3:2005 e si adottano i simboli e la terminologia in essa definiti. Per comprendere a pieno il presente esempio è necessario fare riferimento a detta norma.

Dati di progetto

Luci	L	=	2900 mm
Larghezza degli appoggi	s_s	=	100 mm
Carichi di progetto	Q	=	1,4 kN/m ²
Spessore nominali	t	=	0,6 mm
Resistenza caratteristica allo snervamento	f_{yb}	=	240 N/mm ²
Modulo di elasticità	E	=	200 000 N/mm ²
Coeff. parziale di sicurezza	γ_{M0}	=	1,1
Coeff. parziale di sicurezza	γ_{M1}	=	1,1

Tabella 3.1

Par. 3.2.4

Tabella 2.1

Tabella 2.1

I simboli ed I dettagli dimensionali usati nei calcoli sono rappresentati nella seguente figura.

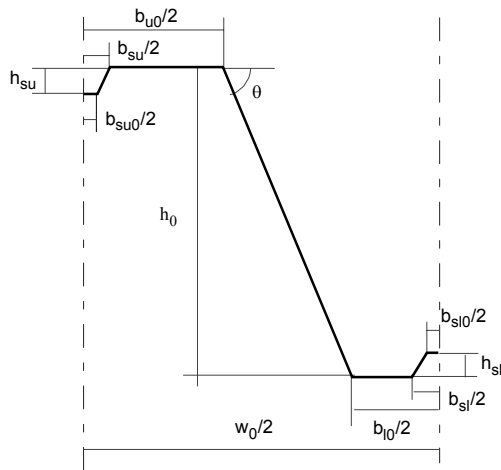


**VTT TECHNICAL RESEARCH
CENTRE OF FINLAND**

VTT BUILDING AND TRANSPORT
Kemistintie 3, Espoo
P.O.Box 1805, FIN-02044 VTT, Finland
Telephone: + 358 9 4561
Fax: + 358 9 456 7003

FOGLIO DI CALCOLO

Commessa N.	ROSU00658	Foglio	2	di	7	Rev	B
Titolo commessa		RFCS Stainless Steel Valorisation Project					
Argomento		Esempio di progetto 3 – Dimensionamento della lamiera grecata per una copertura a due luci					
Cliente RFCS	Redatto da	AAT	Data	Giugno 2002			
	Verificato da	JEK	Data	Giugno 2002			
	Revisionato da	JBL/MEB	Data	Aprile 2006			



Dimensioni

- $h_0 = 70 \text{ mm}$
- $w_0 = 212,5 \text{ mm}$
- $b_{u0} = 65 \text{ mm}$
- $b_{l0} = 57 \text{ mm}$
- $b_{su} = 20 \text{ mm}$
- $b_{su0} = 8 \text{ mm}$
- $h_{su} = 6 \text{ mm}$
- $b_{sl} = 20 \text{ mm}$
- $b_{sl0} = 8 \text{ mm}$
- $h_{sl} = 6 \text{ mm}$
- Raggio di piega interno**
- $r = 3 \text{ mm}$

Inclinazione dell'anima:

$$\theta = \text{atan} \left| \frac{h_0}{0,5(w_0 - b_{u0} - b_{l0})} \right| = 57,1 \text{ deg}$$

PROPRIETÀ DELLA SEZIONE EFFICACE ALLO STATO LIMITE ULTIMO (SLU)

Verifica del rispetto dei limiti massimi per le dimensioni della sezione:

$h_0 / t = 117$ è meno di $400 \sin \theta = 336$ e

$b_{l0} / t = 95$ è meno di 400.

Par. 4.4

Tabella 4.1

Tabella 4.1

Posizione del baricentro quando l'anima è completamente efficace

Larghezza efficace della flangia compressa:

$$b_p = \frac{b_{u0} - b_{su}}{2} = 22,5 \text{ mm} \quad \varepsilon = \left[\frac{235}{f_y} \frac{E}{210\,000} \right]^{0,5} = 0,966$$

Par. 4.4.1

$$k_\sigma = 4 \quad \bar{\lambda}_p = \frac{b_p / t}{28,4 \varepsilon \sqrt{k_\sigma}} = 0,684$$

$$\rho = \frac{0,772}{\bar{\lambda}_p} - \frac{0,125}{\bar{\lambda}_p^2} = 0,862 \quad \text{poichè } \rho < 1, \quad b_{\text{eff,u}} = \rho b_p = 19,4 \text{ mm}$$

Eq. 4.1a

Lo spessore ridotto dell'irrigidimento della flangia è:

Par. 4.5.3



**VTT TECHNICAL RESEARCH
CENTRE OF FINLAND**

VTT BUILDING AND TRANSPORT
Kemistintie 3, Espoo
P.O.Box 1805, FIN-02044 VTT, Finland
Telephone: + 358 9 4561
Fax: + 358 9 456 7003

FOGLIO DI CALCOLO

Commessa N.	R0SU00658	Foglio	3	di	7	Rev	B
Titolo commessa		RFCS Stainless Steel Valorisation Project					
Argomento		Esempio di progetto 3 – Dimensionamento della lamiera grecata per una copertura a due luci					
Cliente	Redatto da	AAT	Data	Giugno 2002			
	Verificato da	JEK	Data	Giugno 2002			
	Revisionato da	JBL/MEB	Data	Aprile 2006			

$$t_{su} = \frac{\sqrt{h_{su}^2 + \left(\frac{b_{su} - b_{su0}}{2}\right)^2}}{h_{su}} t = 0,849 \text{ mm}$$

$$A_s = (b_{\text{eff},u} + b_{su0})t + 2h_{su}t_{su} = 26,6 \text{ mm}^2$$

$$e_s = \frac{b_{su0}h_{su}t + 2h_{su}\frac{h_{su}}{2}t_{su}}{A_s} = 2,23 \text{ mm}$$

$$I_s = 2(15t^2e_s^2) + b_{su0}t(h_{su} - e_s)^2 + 2h_{su}t_{su}\left(\frac{h_{su}}{2} - e_s\right)^2 + 2\left(\frac{15t^4}{12}\right) + \frac{b_{su0}t^3}{12} + 2\frac{t_{su}h_{su}^3}{12}$$

$$= 159,53 \text{ mm}^4$$

$$b_s = 2\sqrt{h_{su}^2 + \left(\frac{b_{su} - b_{su0}}{2}\right)^2} + b_{su0} = 25,0 \text{ mm}$$

$$l_b = 3,07\left(I_s b_p^2 \frac{2b_p + 3b_s}{t^3}\right)^{1/4} = 251 \text{ mm}$$

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

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

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

$$\sigma_{cr,s} = \frac{4,2k_w E}{A_s} \sqrt{\frac{I_s t^3}{4b_p^2(2b_p + 3b_s)}} = 515 \text{ N/mm}^2$$

$$\bar{\lambda}_d = \sqrt{\frac{f_{yb}}{\sigma_{cr,s}}} = 0,683$$

$$\text{Poichè } 0,65 < \bar{\lambda}_d < 1,38, \quad \chi = 1,47 - 0,723\bar{\lambda}_d = 0,98$$

$$t_{\text{red},u} = \chi t = 0,588 \text{ mm}$$

La distanza dell'asse neutro dalla flangia compressa è:

$$t_l = \frac{\sqrt{h_{sl}^2 + \left(\frac{b_{sl} - b_{sl0}}{2}\right)^2}}{h_{sl}} t = 0,849 \text{ mm}$$

Fig. 4.3

Fig. 4.3

Eq. 4.9

Eq. 4.10 e
4.11

Eq. 4.3

Eq. 4.15



**VTT TECHNICAL RESEARCH
CENTRE OF FINLAND**

VTT BUILDING AND TRANSPORT
Kemistintie 3, Espoo
P.O.Box 1805, FIN-02044 VTT, Finland
Telephone: + 358 9 4561
Fax: + 358 9 456 7003

FOGLIO DI CALCOLO

Commessa N.	ROSU00658	Foglio	4	di	7	Rev	B
Titolo commessa		RFCS Stainless Steel Valorisation Project					
Argomento		Esempio di progetto 3 – Dimensionamento della lamiera grecata per una copertura a due luci					
Cliente RFCS	Redatto da	AAT	Data	Giugno 2002			
	Verificato da	JEK	Data	Giugno 2002			
	Revisionato da	JBL/MEB	Data	Aprile 2006			

$$t_w = t / \sin \theta = 0,714 \text{ mm}$$

$e_i =$	$A_i =$	
0	$0,5b_{\text{eff},u} t$	$A_{\text{tot}} = \sum A_i = 87,5 \text{ mm}^2$
0	$0,5b_{\text{eff},u} \chi t$	
$0,5h_{\text{su}}$	$h_{\text{su}} \chi t_{\text{su}}$	$e_c = \frac{\sum A_i e_i}{A_{\text{tot}}} = 34,9 \text{ mm}$
h_{su}	$0,5b_{\text{su}0} \chi t$	
$0,5h_0$	$h_0 t_w$	
h_0	$0,5(b_{l0} - b_{sl}) t$	
$h_0 - 0,5h_{sl}$	$h_{sl} t_{sl}$	
$h_0 - h_{sl}$	$0,5b_{sl0} t$	

Sezione efficace della parte compressa dell'anima

$$\psi = -\frac{h_0 - e_c}{e_c} = -1,006 \quad k_\sigma = 5,98(1 - \psi)^2 = 24,1$$

$$b_p = h_0 / \sin \theta = 83,4 \text{ mm} \quad \bar{\lambda}_p = \frac{b_p / t}{28,4 \varepsilon \sqrt{k_\sigma}} = 1,032$$

$$\rho = \frac{0,772}{\bar{\lambda}_p} - \frac{0,125}{\bar{\lambda}_p^2} = 0,630 \quad \text{Poichè } \rho < 1, b_{\text{eff}} = \rho \frac{b_p}{1 - \psi} = 26,2 \text{ mm}$$

$$s_{\text{eff},l} = 0,4b_{\text{eff}} = 10,5 \text{ mm} \quad s_{\text{eff},n} = 0,6b_{\text{eff}} = 15,7 \text{ mm}$$

Sezione efficace di metà greca

$$h_{\text{eff},l} = s_{\text{eff},l} \sin \theta \quad h_{\text{eff},n} = s_{\text{eff},n} \sin \theta$$

$e_{\text{eff},i} =$	$A_{\text{eff},i} =$	$I_{\text{eff},i}$
0	$0,5b_{\text{eff},u} t$	0
0	$0,5b_{\text{eff},u} \chi t$	0
$0,5h_{\text{su}}$	$h_{\text{su}} \chi t_{\text{su}}$	$\chi t_{\text{su}} h_{\text{su}}^3 / 12$
h_{su}	$0,5b_{\text{su}0} \chi t$	0
$0,5h_{\text{eff},l}$	$h_{\text{eff},l} t_w$	$t_w h_{\text{eff},l}^3 / 12$
$h_0 - 0,5(h_0 - e_c + h_{\text{eff},n})$	$(h_0 - e_c + h_{\text{eff},n}) t_w$	$t_w (h_0 - e_c + h_{\text{eff},n})^3 / 12$

Par. 4.4.1

Tabella 4.3

Eq. 4.1a
Tabella 4.3

Tabella 4.3

 VTT TECHNICAL RESEARCH CENTRE OF FINLAND VTT BUILDING AND TRANSPORT Kemistintie 3, Espoo P.O.Box 1805, FIN-02044 VTT, Finland Telephone: + 358 9 4561 Fax: + 358 9 456 7003 FOGLIO DI CALCOLO	Commessa N.	ROSU00658	Foglio	5	di	7	Rev	B
	Titolo commessa RFCS Stainless Steel Valorisation Project							
	Argomento Esempio di progetto 3 – Dimensionamento della lamiera grecata per una copertura a due luci							
	Cliente	Redatto da	AAT	Data	Giugno 2002			
RFCS	Verificato da	JEK	Data	Giugno 2002				
	Revisionato da	JBL/MEB	Data	Aprile 2006				

$$\begin{array}{lll}
h_0 & 0,5(b_{l0} - b_{sl})t & 0 \\
h_0 - 0,5h_{sl} & h_{sl}t_{sl} & t_{sl}h_{sl}^3 / 12 \\
h_0 - h_{sl} & 0,5b_{sl0}t & 0 \\
A_{tot} = \sum A_{eff,i} = 78,2 \text{ mm}^2 & e_c = \frac{\sum A_{eff,i} e_{eff,i}}{A_{tot}} = 37,20 \text{ mm} & \\
I_{tot} = \sum I_{eff,i} + \sum A_{eff,i} (e_c - e_{eff,i})^2 = 58\,400 \text{ mm}^2 & &
\end{array}$$

Se necessario è possibile reiterare il calcolo della sezione efficace sulla base della posizione effettiva dell'asse neutro.

EN 1993-1-3,
par. 5.5.3.3(3)

Resistenza a flessione per larghezza unitaria della greca (1 m)

Par. 4.7.4

$$I = \frac{1000 \text{ mm}}{0,5w_0} I_{tot} = 549\,000 \text{ mm}^4$$

$$W_u = \frac{I}{e_c} = 14\,800 \text{ mm}^3$$

$$W_1 = \frac{I}{h_0 - e_c} = 16\,800 \text{ mm}^3$$

Poichè $W_u < W_1$,

$$W_{eff,min} = W_u = 14\,800 \text{ mm}^3$$

$$M_{c,Rd} = W_{eff,min} f_y / \gamma_{M0} = 3,22 \text{ kNm}$$

Eq. 4.29

DETERMINATION OF THE RESISTANCE AT THE INTERMEDIATE SUPPORT

Resistenza dell'anima

Par. 5.4.4

In questo caso $\varphi = \theta$

$$l_a = s_s \quad e \quad \alpha = 0,15$$

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

$$\begin{aligned}
R_{w,Rd} &= \alpha t^2 \sqrt{f_{yb} E} \left(1 - 0,1 \sqrt{\frac{r}{t}} \right) \left(0,5 + \sqrt{0,02 \frac{l_a}{t}} \right) \left[2,4 + \left(\frac{\phi}{90 \text{ deg}} \right)^2 \right] \frac{1}{\gamma_{M1}} \frac{1000 \text{ mm}}{0,5w_0} \\
&= 16,2 \text{ kN}
\end{aligned}$$

EN 1993-1-3,
eq. 6.18

Combinazione di momento flettente e reazione di appoggio

Forze agenti per unità di larghezza (1m):

$$\gamma_G = 1,35 \quad \gamma_Q = 1,5$$

$$\text{Peso proprio: } G = 70 \text{ N/m}^2$$

Par. 2.3.2

$$q = (\gamma_G G + \gamma_Q Q) = 2,20 \text{ kN/m}$$

Eq. 2.3

 VTT TECHNICAL RESEARCH CENTRE OF FINLAND VTT BUILDING AND TRANSPORT Kemistintie 3, Espoo P.O.Box 1805, FIN-02044 VTT, Finland Telephone: + 358 9 4561 Fax: + 358 9 456 7003 FOGLIO DI CALCOLO	Commessa N.	ROSU00658	Foglio	6 di 7	Rev	B
	Titolo commessa RFCS Stainless Steel Valorisation Project					
	Argomento Esempio di progetto 3 – Dimensionamento della lamiera grecata per una copertura a due luci					
	Cliente	Redatto da	AAT	Data	Giugno 2002	
RFCS	Verificato da	JEK	Data	Giugno 2002		
	Revisionato da	JBL/MEB	Data	Aprile 2006		

$$M_{Ed} = \frac{qL^2}{8} = 2,31 \text{ kNm}$$

$$F_{Ed} = \frac{5}{4}qL = 7,96 \text{ kN}$$

$$\frac{M_{Ed}}{M_{c,Rd}} = 0,716$$

$$\frac{F_{Ed}}{R_{w,Rd}} = 0,491$$

$$\frac{M_{Ed}}{M_{c,Rd}} + \frac{F_{Ed}}{R_{w,Rd}} = 1,21$$

La combinazione di momento flettente e reazione di appoggio soddisfa le condizioni:

$$\frac{M_{Ed}}{M_{c,Rd}} \leq 1$$

$$\frac{F_{Ed}}{R_{w,Rd}} \leq 1$$

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

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

DETERMINAZIONE DELLE DEFORMAZIONI ALLO STATO LIMITE DI SERVIZIO (SLS)

Proprietà della sezione efficace

Per le verifiche di servizio la larghezza efficace degli elementi compressi deve essere calcolata sulla base della tensione generata nell'elemento a causa dei carichi progettuali di servizio.

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

La massima tensione di compressione nella sezione efficace allo SLS può essere calcolata, con approssimazione in favore di sicurezza, sulla base di W_u precedentemente determinato per le verifiche allo SLU.

$$M_{y,Ed,ser} = \frac{(G+Q)L^2}{8} = 1,55 \text{ kNm}$$

$$\sigma_{com,Ed,ser} = \frac{M_{y,Ed,ser}}{W_u} = 105 \text{ N/mm}^2$$

Par. 2.3.4

Allora le proprietà della sezione efficace si calcolano come fatto allo SLU ma sostituendo f_{yb} con $\sigma_{com,Ed,ser}$ e senza adottare riduzioni dello spessore dell'irrigidimento di flangia.

I risultati dei calcoli sono:

Larghezza efficace della flangia compressa Pienamente efficace

Posizione dell'asse baricentrico quando l'anima è pienamente efficace $e_c = 34,1 \text{ mm}$

Sezione efficace della parte compressa dell'anima Pienamente efficace

Parte efficace dell'anima $\rho = 0,88$

Proprietà della sezione efficace di metà greca $A_{tot} = 86,6 \text{ mm}^2$

$$e_c = 34,8 \text{ mm}$$

$$I_{tot} = 63\,700 \text{ mm}^4$$

Proprietà della sezione efficace per unità di larghezza (1 m) $I = 600\,000 \text{ mm}^4$

$$W_u = 17\,300 \text{ mm}^4$$

$$W_l = 17\,300 \text{ mm}^4$$

 VTT TECHNICAL RESEARCH CENTRE OF FINLAND VTT BUILDING AND TRANSPORT Kemistintie 3, Espoo P.O.Box 1805, FIN-02044 VTT, Finland Telephone: + 358 9 4561 Fax: + 358 9 456 7003 FOGLIO DI CALCOLO	Commessa N.	R0SU00658	Foglio	7 di 7	Rev	B
	Titolo commessa RFCS Stainless Steel Valorisation Project					
	Argomento Esempio di progetto 3 – Dimensionamento della lamiera grecata per una copertura a due luci					
	Cliente	Redatto da	AAT	Data	Giugno 2002	
RFCS	Verificato da	JEK	Data	Giugno 2002		
	Revisionato da	JBL/MEB	Data	Aprile 2006		

Determinazione della deformazione

Il modulo di elasticità secante corrispondente al Massimo valore del momento flettente è:

$$\sigma_{1,Ed,ser} = \frac{M_{y,Ed,ser}}{W_u} = 89,5 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_{2,Ed,ser} = \frac{M_{y,Ed,ser}}{W_l} = 90,8 \text{ N/mm}^2$$

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

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

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

Verifica delle deformazioni:

La variazione di $E_{s,ser}$ lungo l'asse longitudinale viene trascurata, questa semplificazione è in favore di sicurezza:

$$x = \frac{1 + \sqrt{33}}{16} L = 1,22 \text{ m} \quad (\text{posizione della massima deformazione lungo l'asse long.})$$

$$\delta = \frac{(G + Q)L^4}{48E_{s,ser}I} \left(\frac{x}{L} - 3 \frac{x^3}{L^3} + 2 \frac{x^4}{L^4} \right) = 4,7 \text{ mm}$$

La deformazione ammissibile è $L/200 = 14,5 \text{ mm}$, dunque la deformazione di progetto è accettabile.

Appendice C

Appendice C
Tabella C.1

Appendice C

