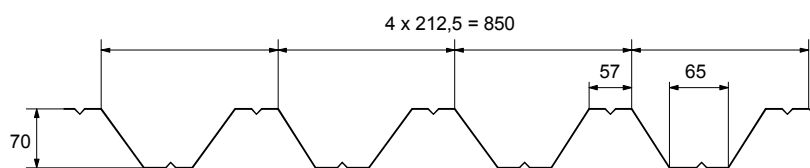


**VTT TECHNICAL RESEARCH  
CENTRE OF FINLAND**VTT BUILDING AND TRANSPORT  
Kemistintie 3, Espoo  
P.O.Box 1805, FIN-02044 VTT, Finland  
Telephone: + 358 9 4561  
Fax: + 358 9 456 7003**FOGLIO DI CALCOLO**

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 <sup>2</sup>
Spessore nominali	$t$	=	0,6 mm
Resistenza caratteristica allo snervamento	$f_{yb}$	=	240 N/mm <sup>2</sup>
Modulo di elasticità	$E$	=	200 000 N/mm <sup>2</sup>
Coeff. parziale di sicurezza	$\gamma_{M0}$	=	1,1
Coeff. parziale di sicurezza	$\gamma_{M1}$	=	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.

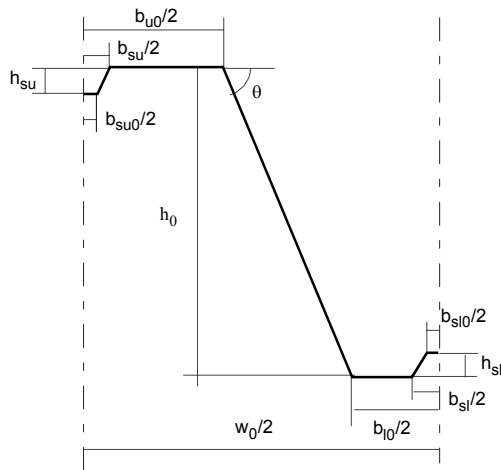


**VTT TECHNICAL RESEARCH  
CENTRE OF FINLAND**

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:

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

$$b_{l0} / t = 95 \text{ è meno di } 400.$$

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			

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

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

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

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

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

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

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

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

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

$$l_b/s_w = 3,01$$

Poichè  $l_b/s_w > 2$ ,  $k_w = k_{w0} = 1,37$

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

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

Poichè  $0,65 < \bar{\lambda}_d < 1,38$ ,

$$\chi = 1,47 - 0,723\bar{\lambda}_d = 0,98$$

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

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

**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
$0,5h_{\text{su}}$	$h_{\text{su}} \chi t_{\text{su}}$	$\chi t_{\text{su}} h_{\text{su}}^3 / 12$
$h_{\text{su}}$	$0,5b_{\text{su}0} \chi t$	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

 <b>VTT TECHNICAL RESEARCH</b> <b>CENTRE OF FINLAND</b> VTT BUILDING AND TRANSPORT Kemistintie 3, Espoo P.O.Box 1805, FIN-02044 VTT, Finland Telephone: + 358 9 4561 Fax: + 358 9 456 7003 <b>FOGLIO DI CALCOLO</b>	Commessa N.	R0SU00658	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					

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

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):

$$\gamma_G = 1,35 \qquad \gamma_Q = 1,5 \qquad \text{Peso proprio: } G = 70 \text{ N/m}^2$$

Par. 2.3.2

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

Eq. 2.3

 <b>VTT TECHNICAL RESEARCH</b> <b>CENTRE OF FINLAND</b> VTT BUILDING AND TRANSPORT Kemistintie 3, Espoo P.O.Box 1805, FIN-02044 VTT, Finland Telephone: + 358 9 4561 Fax: + 358 9 456 7003 <b>FOGLIO DI CALCOLO</b>	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)  $I = 600\,000 \text{ mm}^4$

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

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

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

