



VTT TECHNICAL RESEARCH
CENTRE OF FINLAND
 P.O.Box 1000, FI-02044 VTT
 Tel. + 358 20 722 111
 Fax + 358 20 722 7001

FOGLIO DI CALCOLO

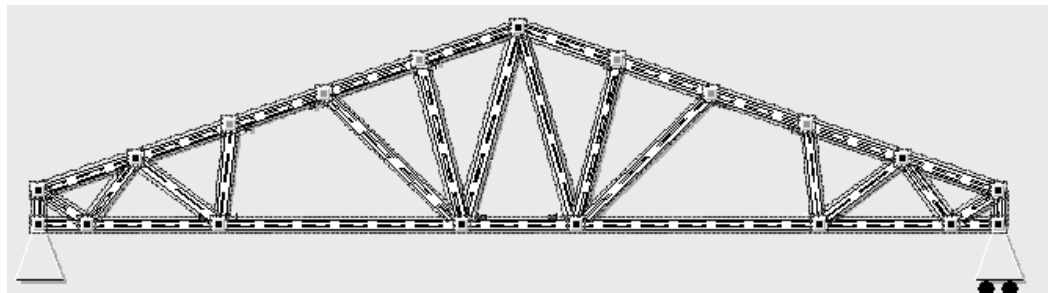
| | | | | | |
|-----------------|---------------|---|--------|---------------|---|
| Commessa N. | VALCOSS | Foglio | 1 di 9 | Rev | A |
| Titolo commessa | | RFCS Stainless Steel Valorisation Project | | | |
| Argomento | | Esempio di progetto 13 – Travatura reticolare composta da elementi cavi | | | |
| Cliente | Redatto da | PTY/AAT | Data | Gennaio 2006 | |
| | Verificato da | MAP | Data | Febbraio 2006 | |

ESEMPIO DI PROGETTO 13 – TRAVATURA RETICOLARE COMPOSTA DA ELEMENTI CAVI


La travatura reticolare da progettare sostiene una copertura di vetro ed è costituito da elementi di trave in acciaio inossidabile tipo 1.4301 di sezione cava, rettangolare o circolare. Nel presente esempio viene confrontato il materiale allo stato ricotto ($f_y=220$ N/mm²) e allo stato incrudito al livello CP460 ($f_y = 460$ N/mm²). La struttura viene verificata allo stato limite ultimo e allo stato limite di esposizione all'incendio per una durata di 30 minuti. I fattori di conservazione delle proprietà meccaniche ad elevate temperature per il tipo 1.4301 sono assunte in favore di sicurezza pari a quelle del tipo 1.4318 C850 (Tabella 7.1).

L'analisi strutturale è stata condotta con l'aiuto di un programma ad Elementi Finiti di nome WINRAMI commercializzato dalla Finnish Constructional Steelwork Association (FCSA) (www.terasrakenneyhdistys.fi). L'ambiente di progetto WINRAMI comprende travi di sezione cava rettangolari, quadrate e circolari in acciaio inossidabile. WINRAMI calcola le sollecitazioni, le deformazioni e le resistenze di progetto di detti elementi, sia a temperatura ambiente che in caso d'incendio. Inoltre calcola la resistenza di progetto dei giunti a temperatura ambiente e verifica la compatibilità della configurazione geometrica dei giunti con gli spazi della struttura reticolare. Nell'esempio in oggetto gli elementi rettilinei sono modellati come travi continue mentre gli elementi diagonali come pendoli. Secondo la EN 1993-1-1, le lunghezze libere d'inflessione per gli elementi rettilinei perimetrali e gli elementi diagonali possono essere assunte rispettivamente come 0,9 e 0,75 volte la distanza tra i nodi ma in questo esempio si assumono conservativamente pari alla distanza tra i nodi stessa. Le sollecitazioni negli elementi sono state calcolate assumendo che la travatura sia realizzata in acciaio allo stato ricotto, le stesse sollecitazioni sono state utilizzate per dimensionare la travatura allo stato incrudito CP460.

Le verifiche di tre elementi significativi sono riportate nel seguito, in particolare: elemento rettilineo inferiore (Elemento 0) sollecitato prevalentemente a trazione, elemento diagonale sollecitato a compressione (Elemento 31) e l'elemento rettilineo superiore sottoposto alla combinazione di compressione e momento (Elemento 5). Nel confronto tra i due materiali si valuta anche il peso finale della struttura.



Materiale ricotto: el rettilineo inf 100x60x4, sup 80x80x5, el verticali d'angolo 60x60x5 el diagonali (da sinistra al centro): 50x50x3, 50x50x3, 40x40x3, 40x40x3, 40x40x3, 40x40x3, 40x40x3.
CP460 : el rettilineo inf 60x40x4, sup 70x70x4, el verticali d'angolo 60x60x5, el diagonali 40x40x3.

| | | | | | | | | |
|--|-----------------|------------|---|---------------|--------------|---|-----|---|
|  VTT TECHNICAL RESEARCH CENTRE OF FINLAND P.O.Box 1000, FI-02044 VTT Tel. + 358 20 722 111 Fax + 358 20 722 7001 FOGLIO DI CALCOLO | Commessa N. | VALCOSS | Foglio | 2 | di | 9 | Rev | A |
| | Titolo commessa | | RFCS Stainless Steel Valorisation Project | | | | | |
| | Argomento | | Esempio di progetto 13 – Travatura reticolare composta da elementi cavi | | | | | |
| | Cliente | Redatto da | PTY/AAT | Data | Gennaio 2006 | | | |
| RFCS | Verificato da | MAP | Data | Febbraio 2006 | | | | |

I giunti saldati vanno progettati secondo il Paragrafo 6.3 ma l'esempio non riguarda questo aspetto del progetto.
La luce della travatura è pari a 15m, l'altezza in mezzera 3,13 m, agli angoli 0,5 m.
Peso della travatura: allo stato ricotto 407 kg, allo stato incrudito CP460 307 kg. Il peso può essere ulteriormente ottimizzato.

Azioni

Assumendo che la travatura porti un carico di neve uniformemente distribuito, oltre al peso proprio della copertura (vetro e strutture di supporto) e della travatura stessa, si ha:

Carichi permanenti (G): vetro e strutture di supporto 1 kN/m^2
peso proprio della travatura (calcolato con WINRAMI)

Carichi accidentali (Q): neve 2 kN/m^2

Combinazione dei carichi 1 (SLU):
$$\sum_j \gamma_{G,j} G_{k,j} + \gamma_{Q,1} Q_{k,1}$$

Combinazione dei carichi 2 (incendio):
$$\sum_j \gamma_{GA,j} G_{k,j} + \gamma_{\psi,1} Q_{k,1}$$

SLU (temperatura ambiente)

$\gamma_{G,j} = 1,35$ (effetti sfavorevoli)

$\gamma_{Q,1} = 1,5$

Incendio

$\gamma_{GA,j} = 1,0$

$\gamma_{\psi,1} = 0,2$

(I coeff. parziali di sicurezza consigliati per i carichi devono essere utilizzati in questo esempio)

Carchi equivalenti ai nodi allo SLU:

Carichi permanenti: $1,35 \times 4,1 \text{ kN}$

Peso proprio della travatura automaticamente inserito dal software WINRAMI

Carchi accidentali: neve: $1,5 \times 8,1 \text{ kN}$

Sollecitazioni:

Sono calcolate dal software per la travatura fatta di materiale allo stato ricotto

Elemento 0

Ricotto: $100 \times 60 \times 4 \text{ mm}$, CP460: $60 \times 40 \times 4 \text{ mm}$

$N_{t,Ed} = 142,2 \text{ kN}$,

$N_{t,fi,Ed} = 46,9 \text{ kN}$

$M_{max,Ed} = 0,672 \text{ kNm}$,

$M_{max,fire,Ed} = 0,245 \text{ kNm}$

Elemento 5

Ricotto: $80 \times 80 \times 5 \text{ mm}$,

CP460: $70 \times 70 \times 4 \text{ mm}$

$N_{c,Ed} = -149,1 \text{ kN}$,

$N_{c,fire,Ed} = -49,2 \text{ kN}$

$M_{max,Ed} = 2,149 \text{ kNm}$,

$M_{max,fire,Ed} = 0,731 \text{ kNm}$

Elemento 31

Ricotto: $50 \times 50 \times 3 \text{ mm}$,

CP460: $40 \times 40 \times 3 \text{ mm}$

$N_{c,Ed} = -65,9 \text{ kN}$,

$N_{c,fire,Ed} = -21,7 \text{ kN}$

Eq. 2.3

EN 1990
EN 1991-1-2

| | | | | | | | | | |
|---|-----------------|------------|---------|---------------|--------------|---|-----|---|---|
|  VTT TECHNICAL RESEARCH CENTRE OF FINLAND P.O.Box 1000, FI-02044 VTT Tel. + 358 20 722 111 Fax + 358 20 722 7001 FOGLIO DI CALCOLO | Commessa N. | VALCOSS | Foglio | 3 | di | 9 | Rev | A | |
| | Titolo commessa | | | | | | | | RFCS Stainless Steel Valorisation Project |
| | Argomento | | | | | | | | Esempio di progetto 13 – Travatura reticolare composta da elementi cavi |
| | Cliente | Redatto da | PTY/AAT | Data | Gennaio 2006 | | | | |
| RFCS | Verificato da | MAP | Data | Febbraio 2006 | | | | | |

Proprietà dei materiali

Acciaio inossidabile tipo 1.4301

Ricotto: $f_y = 220 \text{ N/mm}^2$ $f_u = 550 \text{ N/mm}^2$ $E = 200\,000 \text{ N/mm}^2$

CP460: $f_y = 460 \text{ N/mm}^2$ $f_u = 650 \text{ N/mm}^2$ $E = 200\,000 \text{ N/mm}^2$

Tabella 3.1
Par. 3.2.4

Coeff. parziali di sicurezza

$\gamma_{M0} = 1,1$, $\gamma_{M1} = 1,1$, $\gamma_{M,fi} = 1,0$

Tabella 2.1

Proprietà della sezione trasversale

Ricotto

Elemento 0: $A = 1175 \text{ mm}^2$ $W_{pl,y} = 37,93 \cdot 1000 \text{ mm}^3$

Elemento 5: $A = 1436 \text{ mm}^2$ $I_y = 131,44 \cdot 10^4 \text{ mm}^4$ $i_y = 30,3 \text{ mm}$ $W_{pl,y} = 39,74 \cdot 10^3 \text{ mm}^3$

Elemento 31: $A = 541 \text{ mm}^2$ $I_y = 19,47 \cdot 10^4 \text{ mm}^4$ $i_y = 19 \text{ mm}$ $W_{pl,y} = 9,39 \cdot 10^3 \text{ mm}^3$

CP460

Elemento 0: $A = 695 \text{ mm}^2$ $W_{pl,y} = 13,16 \cdot 1000 \text{ mm}^3$

Elemento 5: $A = 1015 \text{ mm}^2$ $I_y = 72,12 \cdot 10^4 \text{ mm}^4$ $i_y = 26,7 \text{ mm}$ $W_{pl,y} = 24,76 \cdot 10^3 \text{ mm}^3$

Elemento 31: $A = 421 \text{ mm}^2$ $I_y = 9,32 \cdot 10^4 \text{ mm}^4$ $i_y = 14,9 \text{ mm}$ $W_{pl,y} = 5,72 \cdot 10^3 \text{ mm}^3$

Classificazione delle sezioni trasversali per l' Elemento 5 e 31

Ricotto : $\varepsilon = 1,01$ CP460 : $\varepsilon = 0,698$

Si assume conservativamente $c = h - 2t$

Ricotto 80x80x5 : $c = 80 - 10 = 70 \text{ mm}$ CP460 70x70x4 : $c = 70 - 8 = 62 \text{ mm}$

Ricotto 50x50x3 : $c = 50 - 6 = 44 \text{ mm}$ CP460 40x40x3 : $c = 40 - 6 = 34 \text{ mm}$

Ala/anima soggetta a compressione

Ricotto 80x80x5 : $c/t = 14$ CP460 70x70x4 : $c/t = 15,5$

Ricotto 50x50x3 : $c/t = 14,6$ CP460 40x40x3 : $c/t = 11,3$

Per sezione di Classe 1, $\frac{c}{t} \leq 25,7\varepsilon$, dunque entrambi gli elementi sono classificabili in

Classe 1

Table 4.2

Table 4.2

PROGETTO DELL'ELEMENTO RETTILINEO INFERIORE

(Elemento 0)

A) Progetto a temperatura ambiente

Resistenza a trazione della sezione

$$N_{pl,Rd} = A_g f_y / \gamma_{M0}$$

Par. 4.7.2


Eq. 4.22


Ricotto : $N_{pl,Rd} = 1175 \text{ mm}^2 \times 220 \text{ N/mm}^2 / 1,1 = 235 \text{ kN} > 142,2 \text{ kN OK.}$

CP460 : $N_{pl,Rd} = 695 \text{ mm}^2 \times 460 \text{ N/mm}^2 / 1,1 = 290 \text{ kN} > 142,2 \text{ kN OK.}$

Resistenza a flessione della sezione

Par. 4.7.4

| | | | | | | | | | |
|---|-----------------|------------|---------|---------------|--------------|---|-----|-------------|---|
|  VTT TECHNICAL RESEARCH CENTRE OF FINLAND P.O.Box 1000, FI-02044 VTT Tel. + 358 20 722 111 Fax + 358 20 722 7001 FOGLIO DI CALCOLO | Commessa N. | VALCOSS | Foglio | 4 | di | 9 | Rev | A | |
| | Titolo commessa | | | | | | | | RFCS Stainless Steel Valorisation Project |
| | Argomento | | | | | | | | Esempio di progetto 13 – Travatura reticolare composta da elementi cavi |
| | Cliente | Redatto da | PTY/AAT | Data | Gennaio 2006 | | | | |
| RFCS | Verificato da | MAP | Data | Febbraio 2006 | | | | | |
| $M_{c,Rd} = W_{pl} f_y / \gamma_{M0}$ | | | | | | | | Eq. 4.27 | |
| Ricotto : $M_{c,Rd} = \frac{37,93 \times 10^3 \times 220}{1,1 \times 10^6} = 7,58 \text{ kNm} > 0,672 \text{ kNm OK.}$ | | | | | | | | | |
| CP460 : $M_{c,Rd} = \frac{13,16 \cdot 10^3 \cdot 460}{1,1 \cdot 10^6} = 5,50 \text{ kNm} > 0,672 \text{ kNm OK.}$ | | | | | | | | | |
| Resistenza a flessione della sezione | | | | | | | | Par. 4.7.4 | |
| $M_{c,Rd} = W_{pl} f_y / \gamma_{M0}$ | | | | | | | | Eq. 4.27 | |
| Ricotto : $M_{c,Rd} = \frac{37,93 \times 10^3 \times 220}{1,1 \times 10^6} = 7,58 \text{ kNm} > 0,672 \text{ kNm OK.}$ | | | | | | | | | |
| CP460 : $M_{c,Rd} = \frac{13,16 \cdot 10^3 \cdot 460}{1,1 \cdot 10^6} = 5,50 \text{ kNm} > 0,672 \text{ kNm OK.}$ | | | | | | | | | |
| Interazione di trazione e flessione | | | | | | | | | |
| $\frac{N_{Ed}}{N_{Rd}} + \frac{M_{y,Ed}}{M_{y,Rd}} \leq 1$ | | | | | | | | Eq. 5.39 | |
| Ricotto : $\frac{142,2 \text{ kN}}{235 \text{ kN}} + \frac{0,672 \text{ kNm}}{7,58 \text{ kNm}} = 0,69 \leq 1 \quad \text{OK.}$ | | | | | | | | | |
| CP460 : $\frac{142,2 \text{ kN}}{290 \text{ kN}} + \frac{0,672 \text{ kNm}}{5,50 \text{ kNm}} = 0,61 \leq 1 \quad \text{OK.}$ | | | | | | | | | |
| B) Progetto all'incendio | | | | | | | | | |
| $\epsilon_{res} = 0,2$ | | | | | | | | Par. 7.4.7 | |
| La temperatura di un elemento in acciaio dopo 30 min d'incendio è $\Theta = 823 \text{ }^\circ\text{C}$ | | | | | | | | | |
| $f_{2,\theta} = f_{0,2proof,\theta} + g_{2,\theta} (f_{u,\theta} - f_{0,2proof,\theta})$ | | | | | | | | Eq. 7.1 | |
| Ricotto : | | | | | | | | | |
| $k_{0,2proof,\theta} = 0,27 - 23/100 \times (0,27 - 0,14) = 0,240$ | | | | | | | | Par. 7.2 | |
| $f_{0,2proof,\theta} = 0,240 \times 220 \text{ N/mm}^2 = 52,8 \text{ N/mm}^2$ | | | | | | | | Tabella 7.1 | |
| $g_{2,\theta} = (0,35 - 23/100 \times (0,35 - 0,38)) = 0,357$ | | | | | | | | | |
| $f_{u,\theta} = (0,27 - 23/100 \times (0,27 - 0,15)) \times 550 \text{ N/mm}^2 = 133,3 \text{ N/mm}^2$ | | | | | | | | Eq. 7.1 | |
| $f_{2,\theta} = 52,8 \text{ N/mm}^2 + 0,357 \times (133,3 - 52,8) \text{ N/mm}^2 = 81,5 \text{ N/mm}^2$ | | | | | | | | | |
| $k_{2,\theta} = 81,5/220 = 0,37$ | | | | | | | | | |
| CP460 : | | | | | | | | | |
| $k_{0,2proof,\theta} = 0,23 - 23/100 \times (0,23 - 0,11) = 0,202$ | | | | | | | | Par. 7.2 | |
| $f_{0,2proof,\theta} = 0,202 \times 460 \text{ N/mm}^2 = 93,1 \text{ N/mm}^2$ | | | | | | | | Tabella 7.1 | |
| $g_{2,\theta} = 0,25$ | | | | | | | | | |
| $f_{u,\theta} = (0,24 - 23/100 \times (0,24 - 0,10)) \times 650 \text{ N/mm}^2 = 135,1 \text{ N/mm}^2$ | | | | | | | | | |

| | | | | | | |
|---|---|------------|---------|---------------|---------------|---|
|  VTT TECHNICAL RESEARCH CENTRE OF FINLAND P.O.Box 1000, FI-02044 VTT Tel. + 358 20 722 111 Fax + 358 20 722 7001 FOGLIO DI CALCOLO | Commessa N. | VALCOSS | Foglio | 5 di 9 | Rev | A |
| | Titolo commessa RFCS Stainless Steel Valorisation Project | | | | | |
| | Argomento Esempio di progetto 13 – Travatura reticolare composta da elementi cavi | | | | | |
| | Cliente | Redatto da | PTY/AAT | Data | Gennaio 2006 | |
| RFCS | Verificato da | MAP | Data | Febbraio 2006 | | |
| $f_{2,\theta} = 93,1 \text{ N/mm}^2 + 0,25 \times (135,1 - 93,1) \text{ N/mm}^2 = 103,6 \text{ N/mm}^2$ $k_{2,\theta} = 103,6 / 460 = 0,225$ | | | | | Eq. 7.1 | |
| Resistenza a trazione della sezione $N_{fi,\theta,Rd} = k_{2,\theta} N_{Rd} [\gamma_{M0} / \gamma_{M,fi}]$ Ricotto : $N_{fi,\theta,Rd} = 0,370 \times 235 \text{ kN} \times 1,1 / 1,0 = 95,6 \text{ kN} > 46,9 \text{ kN OK.}$ CP460 : $N_{fi,\theta,Rd} = 0,225 \times 290 \text{ kN} \times 1,1 / 1,0 = 59,3 \text{ kN} > 46,9 \text{ kN OK.}$ | | | | | Eq. 7.6 | |
| Resistenza a flessione della sezione $M_{fi,\theta,Rd} = k_{2,\theta} M_{Rd} [\gamma_{M0} / \gamma_{M,fi}]$ Ricotto : $M_{fi,\theta,Rd} = 0,370 \times 7,58 \text{ kNm} \times 1,1 / 1,0 = 3,08 \text{ kNm} > 0,245 \text{ kNm OK.}$ CP460 : $M_{fi,\theta,Rd} = 0,225 \times 5,50 \text{ kNm} \times 1,1 / 1,0 = 1,36 \text{ kNm} > 0,245 \text{ kNm OK.}$ | | | | | Eq. 7.13 | |
| Interazione di trazione e flessione $\frac{N_{Ed}}{N_{Rd}} + \frac{M_{y,Ed}}{M_{y,Rd}} \leq 1$ Ricotto : $\frac{46,9 \text{ kN}}{95,6 \text{ kN}} + \frac{0,245 \text{ kNm}}{3,08 \text{ kNm}} = 0,57 \leq 1 \quad \text{OK.}$ CP460 : $\frac{46,9 \text{ kN}}{59,3 \text{ kN}} + \frac{0,245 \text{ kNm}}{1,36 \text{ kNm}} = 0,97 \leq 1 \quad \text{OK.}$ | | | | | Eq. 5.39 | |
| PROGETTO DELL'ELEMENTO DIAGONALE Lunghezza libera d'inflessione = 1253 mm A) Progetto a temperatura ambiente | | | | | (Elemento 31) | |
| $N_{b,Rd} = \chi A f_y / \gamma_{M1}$ | | | | | Eq. 5.2a | |
| Ricotto : $\bar{\lambda} = \frac{L_{cr}}{i} \frac{1}{\pi} \sqrt{(f_y / E)} = \frac{1253}{19} \frac{1}{\pi} \sqrt{(220 / 200000)} = 0,696$ | | | | | Eq. 5.5a | |
| $\varphi = 0,5(1 + \alpha(\bar{\lambda} - \bar{\lambda}_0) + \bar{\lambda}^2) = 0,5(1 + 0,49(0,696 - 0,4) + 0,696^2) = 0,815$ | | | | | Eq. 5.4 | |
| $\chi = \frac{1}{\varphi + \sqrt{(\varphi^2 - \bar{\lambda}^2)}} = \frac{1}{0,815 + \sqrt{(0,815^2 - 0,696^2)}} = 0,807$ | | | | | Eq. 5.3 | |
| $N_{b,Rd} = 0,807 \times 541 \text{ mm}^2 \times 220 \text{ N/mm}^2 / 1,1 = 87,3 \text{ kN} > 65,9 \text{ kN OK.}$ | | | | | | |
| CP460 : $\bar{\lambda} = \frac{L_{cr}}{i} \frac{1}{\pi} \sqrt{(f_y / E)} = \frac{1253}{14,9} \frac{1}{\pi} \sqrt{(460 / 200000)} = 1,283$ | | | | | Eq. 5.5a | |
| $\varphi = 0,5(1 + \alpha(\bar{\lambda} - \bar{\lambda}_0) + \bar{\lambda}^2) = 0,5(1 + 0,49(1,283 - 0,4) + 1,283^2) = 1,540$ | | | | | Eq. 5.4 | |

| | | | | | | |
|---|---|------------|---------|---------------|--------------|---|
|  VTT TECHNICAL RESEARCH CENTRE OF FINLAND P.O.Box 1000, FI-02044 VTT Tel. + 358 20 722 111 Fax + 358 20 722 7001 FOGLIO DI CALCOLO | Commessa N. | VALCOSS | Foglio | 6 di 9 | Rev | A |
| | Titolo commessa RFCS Stainless Steel Valorisation Project | | | | | |
| | Argomento Esempio di progetto 13 – Travatura reticolare composta da elementi cavi | | | | | |
| | Cliente | Redatto da | PTY/AAT | Data | Gennaio 2006 | |
| RFCS | Verificato da | MAP | Data | Febbraio 2006 | | |

$$\chi = \frac{1}{\varphi + \sqrt{(\varphi^2 - \lambda^2)}} = \frac{1}{1,540 + \sqrt{(1,540^2 - 1,283^2)}} = 0,418$$

$$N_{b,Rd} = 0,418 \times 421 \text{ mm}^2 \times 460 \text{ N/mm}^2 / 1,1 = 73,6 \text{ kN} > 65,9 \text{ kN OK.}$$

Eq. 5.3

B) Progetto all'incendio

$$\varepsilon_{res} = 0,2$$

La temperatura di un elemento in acciaio dopo 30 min d'incendio è $\Theta = 832 \text{ }^\circ\text{C}$

Par. 7.4.7

Ricotto :

$$k_{0,2proof,\theta} = 0,27 - 32/100 \times (0,27 - 0,14) = 0,228$$

$$k_{E,\theta} = 0,63 - 32/100 \times (0,63 - 0,45) = 0,572$$

Par. 7.2

Tabella 7.1

CP460 :

$$k_{0,2proof,\theta} = 0,23 - 32/100 \times (0,23 - 0,11) = 0,191$$

$$k_{E,\theta} = 0,52 - 32/100 \times (0,52 - 0,35) = 0,465$$

Par. 7.2

Tabella 7.1

$$N_{b,fi,t,Rd} = \chi_{fi} A k_{0,2proof,\theta} f_y / \gamma_{M,fi}$$

Eq. 7.8

Ricotto :

$$\bar{\lambda}_\theta = \bar{\lambda} \sqrt{(k_{0,2proof,\theta} / k_{E,\theta})} = 0,696 \sqrt{(0,228 / 0,572)} = 0,439$$

Eq. 7.12

$$\varphi_\theta = 0,5(1 + \alpha(\bar{\lambda}_\theta - \bar{\lambda}_0) + \bar{\lambda}_\theta^2) = 0,5(1 + 0,49(0,439 - 0,4) + 0,439^2) = 0,606$$

Eq. 7.11

$$\chi_{fi} = \frac{1}{\varphi_\theta + \sqrt{(\varphi_\theta^2 - \bar{\lambda}_\theta^2)}} = \frac{1}{0,606 + \sqrt{(0,606^2 - 0,439^2)}} = 0,977$$

Eq. 7.10

$$N_{b,fi,t,Rd} = 0,977 \times 541 \text{ mm}^2 \times 0,228 \times 220 \text{ N/mm}^2 / 1,0 = 26,5 \text{ kN} > 21,7 \text{ kN OK.}$$

CP460 :

$$\bar{\lambda}_\theta = \bar{\lambda} \sqrt{(k_{0,2proof,\theta} / k_{E,\theta})} = 1,283 \sqrt{(0,191 / 0,465)} = 0,822$$

Eq. 7.12

$$\varphi_\theta = 0,5(1 + \alpha(\bar{\lambda}_\theta - \bar{\lambda}_0) + \bar{\lambda}_\theta^2) = 0,5(1 + 0,49(0,822 - 0,4) + 0,822^2) = 0,941$$

Eq. 7.11

$$\chi_{fi} = \frac{1}{\varphi_\theta + \sqrt{(\varphi_\theta^2 - \bar{\lambda}_\theta^2)}} = \frac{1}{0,941 + \sqrt{(0,941^2 - 0,822^2)}} = 0,714$$

Eq. 7.10

$$N_{b,fi,t,Rd} = 0,714 \times 421 \text{ mm}^2 \times 0,191 \times 460 \text{ N/mm}^2 / 1,0 = 26,4 \text{ kN} > 21,7 \text{ kN OK.}$$

PROGETTO DELL'ELEMENTO RETTILINEO SUPERIORE

(Elemento 5)

Lunghezza libera d'inflexione = 1536 mm

A) Progetto a temperatura ambiente

$$\frac{N_{Ed}}{(N_{b,Rd})_{min}} + k_y \left(\frac{M_{y,Ed} + N_{Ed} e_{Ny}}{\beta_{W,y} W_{pl,y} f_y / \gamma_{M1}} \right) \leq 1,0$$

Eq. 5.40

| | | | | | | | | | |
|--|-----------------|------------|---------|---------------|--------------|---|-----|---|---|
|  VTT TECHNICAL RESEARCH CENTRE OF FINLAND P.O.Box 1000, FI-02044 VTT Tel. + 358 20 722 111 Fax + 358 20 722 7001 FOGLIO DI CALCOLO | Commessa N. | VALCOSS | Foglio | 7 | di | 9 | Rev | A | |
| | Titolo commessa | | | | | | | | RFCS Stainless Steel Valorisation Project |
| | Argomento | | | | | | | | Esempio di progetto 13 – Travatura reticolare composta da elementi cavi |
| | Cliente | Redatto da | PTY/AAT | Data | Gennaio 2006 | | | | |
| RFCS | Verificato da | MAP | Data | Febbraio 2006 | | | | | |

Ricotto :

$\beta_{w,y} = 1,0$ sezione di Classe 1

Par. 5.5.2

$k_y = 1,0 + 2(\lambda_y - 0,5)N_{Ed}/N_{b,Rd,y}$, but $1,2 \leq k_y \leq 1,2 + 2N_{Ed}/N_{b,Rd,y}$

$$\bar{\lambda} = \frac{L_{cr}}{i} \frac{1}{\pi} \sqrt{(f_y / E)} = \frac{1536}{30,3} \frac{1}{\pi} \sqrt{(220 / 200000)} = 0,535$$

Eq. 5.5a

$$\varphi = 0,5(1 + \alpha(\bar{\lambda} - \bar{\lambda}_0) + \bar{\lambda}^2) = 0,5(1 + 0,49(0,535 - 0,4) + 0,535^2) = 0,676$$

Eq. 5.4

$$\chi = \frac{1}{\varphi + \sqrt{(\varphi^2 - \bar{\lambda}^2)}} = \frac{1}{0,676 + \sqrt{(0,676^2 - 0,535^2)}} = 0,917$$

Eq. 5.3

$$N_{b,Rd,y} = 0,917 \times 1436 \text{ mm}^2 \times 220 \text{ N/mm}^2 / 1,1 = 263,3 \text{ kN} > 149,1 \text{ kN}$$

Eq. 5.2a

$k_y = 1,0 + 2(0,535 - 0,5) \times 149,1 / 263,3 = 1,039$ ma non può essere minore di 1,2, allora $k_y = 1,2$.

$$\frac{149,1}{263,3} + 1,2 \left(\frac{2,149 \times 1000^2}{1,0 \times 39,74 \times 10^3 \times 220 / 1,1} \right) = 0,890 < 1,0 \text{ OK.}$$

Eq. 5.40

CP460

$\beta_{w,y} = 1,0$ sezione di Classe 1

Par. 5.5.2

$$\bar{\lambda} = \frac{L_{cr}}{i} \frac{1}{\pi} \sqrt{(f_y / E)} = \frac{1536}{26,7} \frac{1}{\pi} \sqrt{(460 / 200000)} = 0,878$$

Eq. 5.5a

$$\varphi = 0,5(1 + \alpha(\bar{\lambda} - \bar{\lambda}_0) + \bar{\lambda}^2) = 0,5(1 + 0,49(0,878 - 0,4) + 0,878^2) = 1,002$$

Eq. 5.4

$$\chi = \frac{1}{\varphi + \sqrt{(\varphi^2 - \bar{\lambda}^2)}} = \frac{1}{1,002 + \sqrt{(1,002^2 - 0,878^2)}} = 0,673$$

Eq. 5.3

$$N_{b,Rd,y} = 0,673 \times 1015 \text{ mm}^2 \times 460 \text{ N/mm}^2 / 1,1 = 285,6 \text{ kN} > 149,1 \text{ kN}$$

Eq. 5.2a

$k_y = 1,0 + 2(0,878 - 0,5) \times 149,1 / 285,6 = 1,394$, ma $1,2 \leq k_y \leq 1,2 + 2(149,1 / 285,6) = 2,244$, allora $k_y = 1,394$

$$\frac{149,1}{285,6} + 1,394 \left(\frac{2,149 \times 1000^2}{1,0 \times 24,76 \times 10^3 \times 460 / 1,1} \right) = 0,81 < 1,0 \text{ OK.}$$

Eq. 5.40

B) Progetto all'incendio

$\epsilon_{res} = 0,2$

Par. 7.4.7

Temperatura dell'elemento di dimensioni 80x80x5 mm $\Theta = 810 \text{ }^\circ\text{C}$

Temperatura dell'elemento di dimensioni 70x70x4 mm $\Theta = 823 \text{ }^\circ\text{C}$

Ricotto :


$$k_{0,2\text{proof},\theta} = 0,27 - 10/100 \times (0,27 - 0,14) = 0,257$$


Par. 7.2

$$f_{0,2\text{proof},\theta} = 0,257 \times 220 \text{ N/mm}^2 = 56,5 \text{ N/mm}^2$$

Tabella 7.1

$$g_{2,\theta} = (0,35 - 10/100 \times (0,35 - 0,38)) = 0,353$$

| | | | | |
|---|---|------------|---------|-------------------------|
|  VTT TECHNICAL RESEARCH CENTRE OF FINLAND P.O.Box 1000, FI-02044 VTT Tel. + 358 20 722 111 Fax + 358 20 722 7001 FOGLIO DI CALCOLO | Commessa N. VALCOSS | Foglio | 8 di 9 | Rev A |
| | Titolo commessa RFCS Stainless Steel Valorisation Project | | | |
| | Argomento Esempio di progetto 13 – Travatura reticolare composta da elementi cavi | | | |
| | Cliente | Redatto da | PTY/AAT | Data |
| RFCS | Verificato da | MAP | Data | Febbraio 2006 |
| $f_{u,\theta} = (0,27 - 10/100 \times (0,27 - 0,15)) \times 550 \text{ N/mm}^2 = 141,9 \text{ N/mm}^2$ $f_{2,\theta} = 56,5 \text{ N/mm}^2 + 0,353 \times (141,9 - 56,5) \text{ N/mm}^2 = 86,6 \text{ N/mm}^2$ $k_{2,\theta} = 86,6 / 220 = 0,394$ $k_{E,\theta} = 0,63 - 10/100 \times (0,63 - 0,45) = 0,612$ CP460 : $k_{0,2\text{proof},\theta} = 0,23 - 23/100 \times (0,23 - 0,11) = 0,202$ $f_{0,2\text{proof},\theta} = 0,202 \times 460 \text{ N/mm}^2 = 93,1 \text{ N/mm}^2$ $g_{2,\theta} = 0,25$ $f_{u,\theta} = (0,24 - 23/100 \times (0,24 - 0,10)) \times 650 \text{ N/mm}^2 = 135,1 \text{ N/mm}^2$ $f_{2,\theta} = 93,1 \text{ N/mm}^2 + 0,25 \times (135,1 - 93,1) \text{ N/mm}^2 = 103,6 \text{ N/mm}^2$ $k_{2,\theta} = 103,6 / 460 = 0,225$ $k_{E,\theta} = 0,52 - 23/100 \times (0,52 - 0,35) = 0,481$ $\frac{N_{fi,Ed}}{\chi_{\min,fi} A_g k_{0,2\text{proof},\theta} \frac{f_y}{\gamma_{M,fi}}} + \frac{k_y M_{y,fi,Ed}}{M_{y,fi,Rd}} \leq 1,0$ Ricotto : $\bar{\lambda}_\theta = \bar{\lambda} \sqrt{(k_{0,2\text{proof},\theta} / k_{E,\theta})} = 0,535 \sqrt{(0,257 / 0,612)} = 0,347$ $\varphi_\theta = 0,5(1 + \alpha(\bar{\lambda}_\theta - \bar{\lambda}_0) + \bar{\lambda}_\theta^2) = 0,5(1 + 0,49(0,347 - 0,4) + 0,347^2) = 0,547$ $\chi_{fi} = \frac{1}{\varphi_\theta + \sqrt{(\varphi_\theta^2 - \bar{\lambda}_\theta^2)}} = \frac{1}{0,547 + \sqrt{(0,547^2 - 0,347^2)}} = 1,03 = 1,0$ $k_y = 1 - \frac{\mu_y N_{fi,Ed}}{\chi_{y,fi} A_g k_{0,2\text{proof},\theta} f_y / \gamma_{M,fi}} \leq 3$ $\mu_y = (1,2\beta_{M,y} - 3)\bar{\lambda}_{y,\theta} + 0,44\beta_{M,y} - 0,29 \leq 0,8$ $\chi_{\min,fi} A_g k_{0,2\text{proof},\theta} f_y / \gamma_{M,fi} = 1,0 \times 1436 \text{ mm}^2 \times 0,257 \times 220 \text{ N/mm}^2 / 1,0 = 81,2 \text{ kN}$ $> 49,2 \text{ kN OK.}$ $M_{y,fi,\theta,Rd} = k_{2,\theta} [\gamma_{M0} / \gamma_{M,fi}] M_{Rd} = 0,394 \times 1,1 / 1,0 \times 39,74 \times 10^3 \times 220 / 1000^2 = 3,79 \text{ kNm}$ $> 0,731 \text{ kNm OK.}$ $\psi = -0,487 \text{ kNm} / 0,731 \text{ kNm} = -0,666$ $\beta_{M,y} = 1,8 - 0,7 \times \psi = 2,466$ $\mu_y = (1,2 \times 2,466 - 3) \times 0,347 + 0,44 \times 2,466 - 0,29 = 0,78,$ ma non può essere minore di 0,8, allora $\mu_y = 0,8$ $k_y = 1 - 0,80 \times 49,2 \text{ kN} / 81,2 \text{ kN} = 0,515$ $\frac{49,2}{81,2} + 0,515 \times \frac{0,731}{3,79} = 0,70 < 1,0 \quad \text{OK.}$ CP460 : $\bar{\lambda}_\theta = \bar{\lambda} \sqrt{(k_{0,2\text{proof},\theta} / k_{E,\theta})} = 0,878 \sqrt{(0,202 / 0,481)} = 0,569$ | | | | Eq. 7.1 |
| CP460 : $k_{0,2\text{proof},\theta} = 0,23 - 23/100 \times (0,23 - 0,11) = 0,202$ $f_{0,2\text{proof},\theta} = 0,202 \times 460 \text{ N/mm}^2 = 93,1 \text{ N/mm}^2$ $g_{2,\theta} = 0,25$ $f_{u,\theta} = (0,24 - 23/100 \times (0,24 - 0,10)) \times 650 \text{ N/mm}^2 = 135,1 \text{ N/mm}^2$ $f_{2,\theta} = 93,1 \text{ N/mm}^2 + 0,25 \times (135,1 - 93,1) \text{ N/mm}^2 = 103,6 \text{ N/mm}^2$ $k_{2,\theta} = 103,6 / 460 = 0,225$ $k_{E,\theta} = 0,52 - 23/100 \times (0,52 - 0,35) = 0,481$ | | | | Par. 7.2 Tabella 7.2 |
| $\frac{N_{fi,Ed}}{\chi_{\min,fi} A_g k_{0,2\text{proof},\theta} \frac{f_y}{\gamma_{M,fi}}} + \frac{k_y M_{y,fi,Ed}}{M_{y,fi,Rd}} \leq 1,0$ | | | | Eq. 7.24 |
| Ricotto : $\bar{\lambda}_\theta = \bar{\lambda} \sqrt{(k_{0,2\text{proof},\theta} / k_{E,\theta})} = 0,535 \sqrt{(0,257 / 0,612)} = 0,347$ | | | | Eq. 7.12 |
| $\varphi_\theta = 0,5(1 + \alpha(\bar{\lambda}_\theta - \bar{\lambda}_0) + \bar{\lambda}_\theta^2) = 0,5(1 + 0,49(0,347 - 0,4) + 0,347^2) = 0,547$ | | | | Eq. 7.11 |
| $\chi_{fi} = \frac{1}{\varphi_\theta + \sqrt{(\varphi_\theta^2 - \bar{\lambda}_\theta^2)}} = \frac{1}{0,547 + \sqrt{(0,547^2 - 0,347^2)}} = 1,03 = 1,0$ | | | | Eq. 7.10 |
| $k_y = 1 - \frac{\mu_y N_{fi,Ed}}{\chi_{y,fi} A_g k_{0,2\text{proof},\theta} f_y / \gamma_{M,fi}} \leq 3$ | | | | Eq. 7.28 |
| $\mu_y = (1,2\beta_{M,y} - 3)\bar{\lambda}_{y,\theta} + 0,44\beta_{M,y} - 0,29 \leq 0,8$ | | | | Eq. 7.29 |
| $\chi_{\min,fi} A_g k_{0,2\text{proof},\theta} f_y / \gamma_{M,fi} = 1,0 \times 1436 \text{ mm}^2 \times 0,257 \times 220 \text{ N/mm}^2 / 1,0 = 81,2 \text{ kN}$ $> 49,2 \text{ kN OK.}$ | | | | Eq. 7.8 |
| $M_{y,fi,\theta,Rd} = k_{2,\theta} [\gamma_{M0} / \gamma_{M,fi}] M_{Rd} = 0,394 \times 1,1 / 1,0 \times 39,74 \times 10^3 \times 220 / 1000^2 = 3,79 \text{ kNm}$ $> 0,731 \text{ kNm OK.}$ | | | | Eq. 7.13 |
| $\psi = -0,487 \text{ kNm} / 0,731 \text{ kNm} = -0,666$ $\beta_{M,y} = 1,8 - 0,7 \times \psi = 2,466$ $\mu_y = (1,2 \times 2,466 - 3) \times 0,347 + 0,44 \times 2,466 - 0,29 = 0,78,$ ma non può essere minore di 0,8, allora $\mu_y = 0,8$ | | | | Tabella 7.3 |
| $k_y = 1 - 0,80 \times 49,2 \text{ kN} / 81,2 \text{ kN} = 0,515$ | | | | Eq. 7.28 |
| $\frac{49,2}{81,2} + 0,515 \times \frac{0,731}{3,79} = 0,70 < 1,0 \quad \text{OK.}$ | | | | Eq. 7.24 |
| CP460 : $\bar{\lambda}_\theta = \bar{\lambda} \sqrt{(k_{0,2\text{proof},\theta} / k_{E,\theta})} = 0,878 \sqrt{(0,202 / 0,481)} = 0,569$ | | | | Eq. 7.12 |

| | | | | | | |
|--|---|------------|---------|---------------|--------------|---|
|  VTT TECHNICAL RESEARCH CENTRE OF FINLAND P.O.Box 1000, FI-02044 VTT Tel. + 358 20 722 111 Fax + 358 20 722 7001 FOGLIO DI CALCOLO | Commessa N. | VALCOSS | Foglio | 9 di 9 | Rev | A |
| | Titolo commessa RFCS Stainless Steel Valorisation Project | | | | | |
| | Argomento Esempio di progetto 13 – Travatura reticolare composta da elementi cavi | | | | | |
| | Cliente | Redatto da | PTY/AAT | Data | Gennaio 2006 | |
| RFCS | Verificato da | MAP | Data | Febbraio 2006 | | |
| $\varphi_{\theta} = 0,5(1 + \alpha(\overline{\lambda}_{\theta} - \overline{\lambda}_0) + \overline{\lambda}_{\theta}^2) = 0,5(1 + 0,49(0,569 - 0,4) + 0,569^2) = 0,703$ | | | | | Eq. 7.11 | |
| $\chi_{fi} = \frac{1}{\varphi_{\theta} + \sqrt{(\varphi_{\theta}^2 - \lambda_{\theta}^2)}} = \frac{1}{0,703 + \sqrt{(0,703^2 - 0,569^2)}} = 0,896$ | | | | | Eq. 7.10 | |
| $\chi_{\min,fi} A_g k_{0,2proof,0} f_y / \gamma_{M,fi} = 0,896 \times 1015 \text{ mm}^2 \times 0,202 \times 460 \text{ N/mm}^2 / 1,0 = 84,5 \text{ kN}$ | | | | | Eq. 7.8 | |
| $> 49,2 \text{ kN OK.}$ | | | | | | |
| $M_{y,fi,0,Rd} = k_{2,0} [\gamma_{M0} / \gamma_{M,fi}] M_{Rd} = 0,225 \times 1,1 / 1,0 \times 24,76 \times 10^3 \times 460 / 1000^2 = 2,81 \text{ kNm}$ | | | | | Eq. 7.13 | |
| $> 0,731 \text{ kNm OK.}$ | | | | | | |
| $\psi = -0,487 \text{ kNm} / 0,731 \text{ kNm} = -0,666$ | | | | | Tabella 7.3 | |
| $\beta_{M,y} = 1,8 - 0,7 \times \psi = 2,466$ | | | | | Eq. 7.29 | |
| $\mu_y = (1,2 \times 2,466 - 3) 0,569 + 0,44 \times 2,466 - 0,29 = 0,771,$ | | | | | | |
| ma non può essere minore di 0,8, allora $\mu_y = 0,8$ | | | | | | |
| $k_y = 1 - 0,80 \times 49,2 \text{ kN} / 84,5 \text{ kN} = 0,534$ | | | | | Eq. 7.28 | |
| $\frac{49,2}{84,5} + 0,534 \times \frac{0,731}{2,81} = 0,72 < 1,0 \quad \text{OK.}$ | | | | | Eq. 7.24 | |