



**The Steel
Construction
Institute**

Silwood Park, Ascot, Berks SL5 7QN
Telephone: (01344) 623345
Fax: (01344) 622944

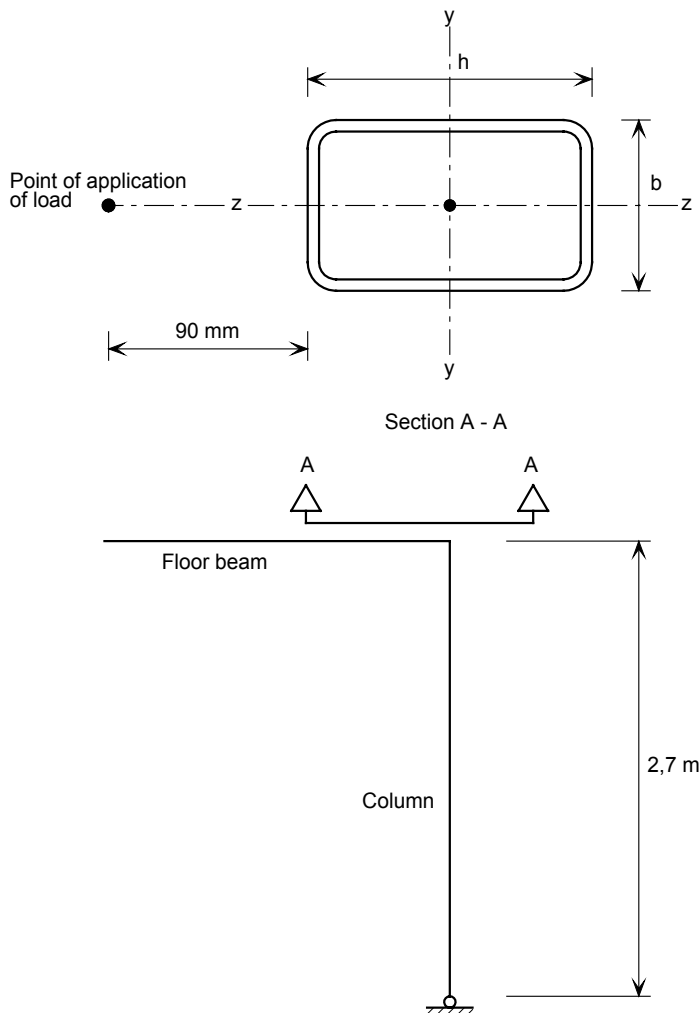
FOGLIO DI CALCOLO

Commessa N.	OSM 466	Foglio	1	di	8	Rev	B
Titolo commessa		RFCS Stainless Steel Valorisation Project					
Argomento		Esempio di progetto 10 – Colonna con carico assiale in caso d'incendio					
Cliente RFCS	Redatto da	SMH	Data	Agosto 2001			
	Verificato da	NRB	Data	Novembre 2001			
	Revisionato da	MEB	Data	Aprile 2006			

ESEMPIO DI PROGETTO 10 – COLONNA CON CARICO ASSIALE IN CASO D'INCENDIO

Progettare un profilato a sezione rettangolare privo di protezione, soggetto a carico assiale e momento flettente con una resistenza al fuoco di 30 minuti.

La colonna è alta 2,7 m ed è soggetta a carico assiale in corrispondenza della reazione all'estremità di una trave di solaio con un'eccentricità di 90 mm dal lato minore.





Azioni

Questa eccentricità risulta essere pari a $90 \text{ mm} + h/2$, dove h è la profondità del profilato. La trave induce un momento flettente sulla colonna lungo l'asse maggiore

Le azioni non amplificate sono: Azione permanente: 6 kN
Azione variabile: 7 kN

La colonna viene inizialmente esaminata secondo lo stato limite ultimo (LC1) e poi secondo lo stato limite d'incendio (LC2) per una durata dell'incendio di 30 minuti. I carichi sono i seguenti:

 <p>The Steel Construction Institute Silwood Park, Ascot, Berks SL5 7QN Telephone: (01344) 623345 Fax: (01344) 622944</p> <p>FOGLIO DI CALCOLO</p>	Commessa N.	OSM 466	Foglio	2 di 8	Rev	B
	Titolo commessa RFCS Stainless Steel Valorisation Project					
	Argomento Esempio di progetto 10 – Colonna con carico assiale in caso d'incendio					
	Cliente	Redatto da	SMH	Data	Agosto 2001	
RFCS	Verificato da	NRB	Data	Novembre 2001		
	Revisionato da	MEB	Data	Aprile 2006		
<p>LC1 (stato limite ultimo) $\sum_j \gamma_{G,j} G_{k,j} + \gamma_{Q,1} Q_{k,1}$</p> <p>$\gamma_{G,j} = 1,35$ (effetti sfavorevoli) $\gamma_{Q,1} = 1,5$</p> <p>LC2 (stato limite d'incendio) $\sum_j \gamma_{GA,j} G_{k,j} + \psi_{1,1} Q_{k,1}$</p> <p>$\gamma_{GA} = 1,0$</p> <p>I valori da tribuire a $\psi_{1,1}$ sono riportati nella EN 1990 ed eventualmente nel DNA per la EN 1990, ma in questo esempio si assume conservativamente $\psi_{1,1} = 1,0$</p> <p>Progettazione allo Stato Limite Ultimo (LC1) Carico sulla colonna d'angolo dovuto alla forza di taglio sull'estremità della trave (LC1): Forza assiale $N_{Ed} = 1,35 \times 6 + 1,5 \times 7 = 18,6$ kN Predimensionamento: sezione cava rettangolare $100 \times 50 \times 6$ Momento flettente sull'asse principale (dovuto all'eccentricità della forza di taglio dal baricentro della colonna), $M_{y,Ed} = 18,6 \times (0,09 + 0,10/2) = 2,60$ kNm</p> <p>Proprietà dei materiali Usare acciaio di tipo 1.4401 Carico unitario di scostamento dalla proporzionalità dello 0,2% = 220 N/mm^2 e resistenza a trazione $f_u = 530 \text{ N/mm}^2$ Si assume $f_y = 220 \text{ N/mm}^2$ $E = 200\,000 \text{ N/mm}^2$ e $G = 76\,900 \text{ N/mm}^2$</p> <p>Proprietà della sezione trasversale – 100 x 50 x 6 mm</p> <p>$W_{el,y} = 32,58 \times 10^3 \text{ mm}^3$ $i_y = 32,9 \text{ mm}$ $W_{pl,y} = 43,75 \times 10^3 \text{ mm}^3$ $i_z = 19,1 \text{ mm}$ $A_g = 1500 \text{ mm}^2$ $t = 6 \text{ mm}$</p> <p>Classificazione della sezione trasversale $\varepsilon = 1,01$ Per l'anima si considera cautelativamente che $c = h - 2t = 100 - 12 = 88 \text{ mm}$ Anima soggetta a compressione: $\frac{c}{t} = \frac{88}{6} = 14,7$ Per la Classe 1, $\frac{c}{t} \leq 25,7\varepsilon = 25,96$ allora l'anima è di Classe 1.</p>						Eq. 2.3
						Par. 2.3.2
						Tabella 3.1
						Par. 3.2.4
						Par. 3.2.4
						Tabella 4.2
						Tabella 4.2

 <p>The Steel Construction Institute Silwood Park, Ascot, Berks SL5 7QN Telephone: (01344) 623345 Fax: (01344) 622944</p> <p>FOGLIO DI CALCOLO</p>	Commessa N.	OSM 466	Foglio	3 di 8	Rev	B	
	Titolo commessa						RFCS Stainless Steel Valorisation Project
	Argomento						Esempio di progetto 10 – Colonna con carico assiale in caso d'incendio
	Cliente	Redatto da	SMH	Data	Agosto 2001		
RFCS	Verificato da	NRB	Data	Novembre 2001			
	Revisionato da	MEB	Data	Aprile 2006			
<p>Secondo l'analisi effettuata, se l'anima è di Classe 1 soggetta a compressione, anche la flangia è di Classe 1. La sezione trasversale è di Classe 1</p> <p>Coefficienti parziali di sicurezza Per il caso LC1 vengono utilizzati i seguenti coefficienti parziali di sicurezza</p> $\gamma_{M0} = 1,1$ $\gamma_{M1} = 1,1$ <p>Resistenza all'instabilità per compressione assiale Resistenza all'instabilità flessionale intorno all'asse z-z:</p> $N_{b,z,Rd} = \frac{\chi_z \beta_A A_g f_y}{\gamma_{M1}}$ $\beta_A = 1,0 \text{ per sezioni di Classe 1}$ $\chi = \text{fattore di riduzione relativo all'instabilità} = \frac{1}{\varphi + [\varphi^2 - \bar{\lambda}^2]^{0,5}} \leq 1$ $\varphi = 0,5 (1 + \alpha(\bar{\lambda} - \bar{\lambda}_0) + \bar{\lambda}^2)$ $\bar{\lambda}_z = \frac{l}{i_z} \frac{1}{\pi} \sqrt{\frac{f_y \beta_A}{E}}$ $l = \text{lunghezza d'inflexione della colonna, considerata cautelativamente come } 1,0 \times \text{lunghezza colonna} = 2,7 \text{ m}$ $\bar{\lambda}_z = \frac{2700}{19,1} \frac{1}{\pi} \sqrt{\frac{220}{200000}} = 1,492$ <p>Per i profilati cavi soggetti ad instabilità flessionale, $\alpha = 0,49$ e $\bar{\lambda}_0 = 0,40$</p> $\varphi = 0,5 (1 + 0,49(1,492 - 0,4) + 1,492^2) = 1,881$ $\chi_z = \frac{1}{1,881 + [1,881^2 - 1,492^2]^{0,5}} \leq 1$ $\chi_z = 0,3305$ $N_{b,z,Rd} = \frac{0,3305 \times 1500 \times 220}{1,1} = 99,15 \text{ kN}$ <p>(La resistenza all'instabilità torsionale non è critica per un profilato rettangolare con un rapporto h/b di 2)</p> $N_{Ed} = 18,6 \text{ kN}$ <p>La resistenza all'instabilità della sezione è sufficiente.</p>							Tabella 2.1
						Par. 5.3.3	
						Eq. 5.2a	
						Eq. 5.3	
						Eq. 5.4	
						Eq. 5.5a	
						Tabella 5.1	
						Par. 5.3.1	



**The Steel
Construction
Institute**

Silwood Park, Ascot, Berks SL5 7QN
Telephone: (01344) 623345
Fax: (01344) 622944

FOGLIO DI CALCOLO

Commessa N.	OSM 466	Foglio	4	di	8	Rev	B
Titolo commessa		RFCS Stainless Steel Valorisation Project					
Argomento		Esempio di progetto 10 – Colonna con carico assiale in caso d'incendio					
Cliente	Redatto da	SMH	Data	Agosto 2001			
	Verificato da	NRB	Data	Novembre 2001			
	Revisionato da	MEB	Data	Aprile 2006			

Resistenza alla flessione e alla compressione assiale

Controllo della resistenza sezionale nei confronti dell'interazione:

$$\frac{N_{Ed}}{N_{c,Rd}} + \frac{M_{y,Ed} + N_{Ed} e_{Ny}}{M_{c,y,Rd}} + \frac{M_{z,Ed} + N_{Ed} e_{Nz}}{M_{c,z,Rd}} \leq 1$$

$$N_{c,Rd} = \frac{A_g f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{1500 \times 220}{1,1} = 300 \text{ kN}$$

$$e_{Ny} = e_{Nz} = 0$$

$$M_{z,Ed} = 0$$

$$M_{c,y,Rd} = \frac{W_{pl,y} f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{43,75 \times 10^3 \times 220}{1,1} = 8,75 \text{ kNm}$$

$$\frac{N_{Ed}}{N_{c,Rd}} + \frac{M_{y,Ed}}{M_{c,y,Rd}} = \frac{18,6}{300} + \frac{2,60}{8,75} = 0,062 + 0,297 = 0,359 < 1,00$$

La resistenza della sezione è sufficiente

Controllo della resistenza all'instabilità con interazione

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

$$\beta_{W,y} = 1,0 \text{ per sezioni di Classe 1}$$

$$k_y = 1,0 + 2(\bar{\lambda}_y - 0,5) \frac{N_{Ed}}{N_{b,Rd,y}} \text{ ma } 1,2 \leq k_y \leq 1,2 + 2 \left(\frac{N_{Ed}}{N_{b,Rd,y}} \right)$$

Calcolare $N_{b,Rd,y}$ con lo stesso metodo utilizzato per calcolare $N_{b,Rd,z}$ (foglio 3 del presente esempio).

Per i profilati cavi soggetti ad instabilità flessionale, $\alpha = 0,49$ e $\bar{\lambda}_0 = 0,40$

$$\bar{\lambda}_y = \frac{L_{cr}}{i_y} \frac{1}{\pi} \sqrt{\frac{f_y}{E}} = \frac{2700}{32,9} \frac{1}{\pi} \sqrt{\frac{220}{200000}} = 0,866$$

$$\varphi = 0,5 \left(1 + 0,49(0,866 - 0,4) + 0,866^2 \right) = 0,989$$

$$\chi_y = \frac{1}{0,989 + [0,989^2 - 0,866^2]^{0,5}} \leq 1$$

$$\chi_y = 0,682 < 1,0$$

$$N_{b,Rd,y} = \frac{0,682 \times 1500 \times 220}{1,1} = 204,6 \text{ kN}$$

Par. 4.7.6
EN 1993-1-3,
par. 6.1.9

Eq. 4.25

Eq. 4.27

Par. 5.5.2

Eq. 5.40

Tabella 5.1



**The Steel
Construction
Institute**

Silwood Park, Ascot, Berks SL5 7QN
Telephone: (01344) 623345
Fax: (01344) 622944

FOGLIO DI CALCOLO

Commessa N.	OSM 466	Foglio	5 di 8	Rev	B
Titolo commessa		RFCS Stainless Steel Valorisation Project			
Argomento		Esempio di progetto 10 – Colonna con carico assiale in caso d'incendio			
Cliente RFCS	Redatto da	SMH	Data	Agosto 2001	
	Verificato da	NRB	Data	Novembre 2001	
	Revisionato da	MEB	Data	Aprile 2006	

$$k_y = 1,0 + 2(\bar{\lambda}_y - 0,5) \frac{N_{Ed}}{N_{b,Rd,y}}$$

$$k_y = 1,0 + 2(0,866 - 0,5) \frac{18,6}{204,6} = 1,07 < 1,2$$

dunque, $k_y = 1,2$

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

$$\frac{18,6}{99,15} + 1,2 \left(\frac{2,60 \times 10^6 + 0}{1,0 \times 43,75 \times 10^3 \times 220 / 1,1} \right) = 0,188 + 0,297 = 0,485 < 1,0$$

Pertanto la membratura è sufficiente per un carico assiale ed un momento combinati nella condizione LC1.

Progettazione allo Stato Limite di Incendio (LC2)

Nel caso LC2, la colonna è progettata per i seguenti carichi assiali e momenti.

Sollecitazione assiale di compressione, $N_{fi,Ed} = 1,0 \times 6 + 1,0 \times 7 = 13,0$ kN

Massimo momento flettente $M_{y,fi,Ed} = 13,0 \times (0,09 + 0,05) = 1,82$ kNm

Determinare la temperatura dell'acciaio dopo 30 minuti di incendio

Si assume che il profilato sia privo di protezione e che la temperatura sia uniformemente distribuita all'interno dell'intera sezione. L'aumento della temperatura nell'intervallo di tempo Δt si trova con:

$$\Delta \theta_{a,t} = \frac{A_m/V}{c_a \rho_a} \dot{h}_{net,d} \Delta t$$

$$\dot{h}_{net,d} = \dot{h}_{net,c} + \dot{h}_{net,r}$$

$$\dot{h}_{net,c} = \alpha_c (\theta_g - \theta_a)$$

dove:

θ_g = temperatura del gas nell'ambiente dell'elemento esposto al fuoco, dato dalla curva nominale temperatura/tempo:

$$\theta_g = 20 + 345 \log_{10}(8t + 1)$$

θ_a = temperatura superficiale della membratura

$$\dot{h}_{net,r} = \varphi \varepsilon_{res} 5,67 \times 10^{-8} [(\theta_g + 273)^4 - (\theta_a + 273)^4]$$

I valori iniziali per la determinazione della temperatura finale dell'acciaio sono::

$$A_m/V = 200 \text{ m}^{-1}$$

Par. 7.4.7

Eq. 7.34

Eq. 7.35

Eq. 7.36

Eq. 7.38

Eq. 7.37

 <p>The Steel Construction Institute Silwood Park, Ascot, Berks SL5 7QN Telephone: (01344) 623345 Fax: (01344) 622944</p> <p>FOGLIO DI CALCOLO</p>	Commessa N.	OSM 466	Foglio	6 di 8	Rev	B
	Titolo commessa RFCS Stainless Steel Valorisation Project					
	Argomento Esempio di progetto 10 – Colonna con carico assiale in caso d'incendio					
	Cliente	Redatto da	SMH	Data	Agosto 2001	
RFCS	Verificato da	NRB	Data	Novembre 2001		
	Revisionato da	MEB	Data	Aprile 2006		

$$\alpha_c = 25 \text{ W/m}^2\text{K}$$

$$\text{Temperatura iniziale acciaio, } \theta_a = 20^\circ\text{C}$$

$$\text{Emissività risultante, } \epsilon_{\text{res}} = 0,2$$

$$\text{Massa unitaria dell'acciaio inossidabile, } \rho_a = 7850 \text{ kg/m}^3$$

$$\text{Fattore di configurazione, } \varphi = 1,0$$

Il calore specifico dipende dalla temperatura ed è dato dalla seguente espressione:

$$c_a = 450 + 0,28\theta_a - 2,91 \times 10^{-4}\theta_a^2 + 1,34 \times 10^{-7}\theta_a^3 \text{ J/kgK}$$

$$\Delta t = 2 \text{ seconds}$$

Le precedenti formule e i dati iniziali sono stati codificati in una pagina Excel, ottenendo la seguente temperatura dell'acciaio, dopo una durata dell'incendio di 30 minuti:

$$\theta_a = 811^\circ\text{C}$$

Eq. 7.4

Riduzione delle caratteristiche meccaniche alle alte temperature

I seguenti fattori di conservazione servono per calcolare la resistenza alle alte temperature.

$$\text{Fattore di conservazione del modulo di Young } k_{E,\theta} = E_\theta/E$$

$$\text{Fattore di conservazione del limite di snervamento convenzionale } k_{0,2\text{proof},\theta} = f_{0,2\text{proof},\theta}/f_y$$

$$\text{Fattore di conservazione del carico di rottura } k_{u,\theta} = f_{u,\theta}/f_u$$

Per i calcoli serve anche il valore del carico unitario di scostamento dalla proporzionalità del 2% alle alte temperature, che si ottiene con la seguente espressione:

$$f_{2,\theta} = f_{0,2\text{proof},\theta} + g_{2,\theta}(f_{u,\theta} - f_{0,2\text{proof},\theta})$$

Eq. 7.1

I valori dei fattori di riduzione a 811°C si ottengono per interpolazione lineare.

Tabella 7.1

$$k_{0,2\text{proof},\theta} = 0,377$$

$$k_{u,\theta} = 0,322$$

$$k_{E,\theta} = 0,610$$

$$g_{2\theta} = 0,353$$

Allora

$$f_{2,\theta} = 0,377 \times 220 + 0,353 \times (0,322 \times 530 - 0,377 \times 220)$$

$$= 113,9 \text{ N/mm}^2$$

$$k_{2,\theta} = 113,9/220 = 0,518$$

Coefficiente parziale di sicurezza

$$\gamma_{M,\text{fi}} = 1,0$$

Par. 7.1



**The Steel
Construction
Institute**

Silwood Park, Ascot, Berks SL5 7QN
Telephone: (01344) 623344
Fax: (01344) 622944

FOGLIO DI CALCOLO

Commessa N.	OSM 466	Foglio	7 di 8	Rev	B
Titolo commessa		RFCS Stainless Steel Valorisation Project			
Argomento		Esempio di progetto 10 – Colonna con carico assiale in caso d'incendio			
Cliente	Redatto da	SMH	Data	Agosto 2001	
	Verificato da	NRB	Data	Novembre 2001	
	Revisionato da	MEB	Data	Aprile 2006	

Resistenza all'instabilità

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

$$\chi_{fi} = \frac{1}{\varphi_{\theta} + \sqrt{\varphi_{\theta}^2 - \bar{\lambda}_{\theta}^2}} \text{ but } \leq 1,0$$

$$\varphi_{\theta} = 0,5 \left(1 + \alpha (\bar{\lambda}_{\theta} - \bar{\lambda}_0) + \bar{\lambda}_{\theta}^2 \right)$$

$$\bar{\lambda}_{z,\theta} = \bar{\lambda}_z [k_{0,2proof,\theta} / k_{E,\theta}]^{0,5} = 1,492 \times (0,377/0,610)^{0,5} = 1,173$$

Per sezioni cave soggette ad instabilità flessionale, $\alpha = 0,49$ e $\bar{\lambda}_0 = 0,4$

$$\varphi_{z,\theta} = 0,5 \left(1 + 0,49(1,173 - 0,4) + 1,173^2 \right) = 1,377$$

$$\chi_{z,fi} = \frac{1}{1,377 + \sqrt{1,377^2 - 1,173^2}} = 0,477$$

$$N_{b,fi,t,Rd} = 0,477 \times 1500 \times 0,377 \times 220/1,0 = 59,3 \text{ kN}$$

$$N_{fi,Ed} = 13,0 \text{ kN}, \text{ la resistenza all'instabilità della trave è sufficiente}$$

Par. 7.4.3

Eq. 7.8

Eq. 7.10

Eq. 7.11

Eq. 7.12

Tabella 5.1

Compressione assiale e momento flettente

Per una sezione di Classe 1 deve essere soddisfatta la seguente espressione:

$$\frac{N_{fi,Ed}}{\chi_{min,fi} \left(A_g k_{0,2proof,\theta} \frac{f_y}{\gamma_{M,fi}} \right)} + \frac{k_y M_{y,fi,Ed}}{M_{y,fi,\theta,Rd}} + \frac{k_z M_{z,fi,Ed}}{M_{z,fi,\theta,Rd}} \leq 1$$

Eq. 7.24

In cui

$$k_y = 1 - \frac{\mu_y N_{fi,Ed}}{\chi_{y,fi} A_g k_{0,2proof,\theta} \frac{f_y}{\gamma_{M,fi}}} \leq 3$$

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

$$\bar{\lambda}_y = 0,866$$

Foglio 4

$$\bar{\lambda}_{y,\theta} = \bar{\lambda}_y [k_{0,2proof,\theta} / k_{E,\theta}]^{0,5} = 0,866 \times (0,377/0,610)^{0,5} = 0,681$$

Eq. 7.12

Supponendo che la colonna sia fissata alla base, si verifica una distribuzione triangolare del momento flettente e $\beta_M = 1,8$

Tabella 7.3

$$\begin{aligned} \mu_y &= (1,2 \times 1,8 - 3) \times 0,681 + 0,44 \times 1,8 - 0,29 \\ &= -0,070 \end{aligned}$$

$$\varphi_{y,\theta} = 0,5 \left(1 + 0,49(0,681 - 0,4) + 0,681^2 \right) = 0,801$$



**The Steel
Construction
Institute**

Silwood Park, Ascot, Berks SL5 7QN
Telephone: (01344) 623345
Fax: (01344) 622944

FOGLIO DI CALCOLO

Commessa N.	OSM 466	Foglio	8 di 8	Rev	B
Titolo commessa		RFCS Stainless Steel Valorisation Project			
Argomento		Esempio di progetto 10 – Colonna con carico assiale in caso d'incendio			
Cliente	Redatto da	SMH	Data	Agosto 2001	
	Verificato da	NRB	Data	Novembre 2001	
	Revisionato da	MEB	Data	Aprile 2006	

$$\chi_{y,fi} = \frac{1}{0,801 + \sqrt{0,801^2 - 0,681^2}} = 0,818$$

$$k_y = 1 - \frac{(-0,07) \times 13,0 \times 10^3}{0,818 \times 1500 \times 0,377 \times \frac{220}{1,00}} = 1,009 < 3,0$$

Espressione dell'interazione:

$$\frac{N_{fi,Ed}}{A_g k_{0,2proof,\theta} \frac{f_y}{\gamma_{M,fi}}} + \frac{k_y M_{y,fi,Ed}}{M_{y,fi,\theta,Rd}}$$

$$M_{y,fi,\theta,Rd} = k_{2,\theta} \left(\frac{\gamma_{M0}}{\gamma_{M,fi}} \right) M_{Rd} = 0,518 \times \left(\frac{1,1}{1,0} \right) \times 8,75 = 4,99 \text{ kNm}$$

$$\frac{13,0 \times 10^3}{0,477 \times 1500 \times 0,377 \times \frac{220}{1,0}} + \frac{1,009 \times 1,82}{4,99} = 0,219 + 0,368 = 0,587$$

$$0,587 < 1,00$$

Pertanto il profilato è sufficiente in condizioni d'incendio per quanto riguarda il carico assiale ed il momento flettente combinati

Eq. 7.13