



**ELEMENTI PRESSO-FLESSI IN
ACCIAIO
Colonna Scatolare Bi-Simmetrica**

Domenico Leone



ELEMENTI PRESSO-FLESSI IN ACCIAIO

Colonna Scatolare Bi-Simmetrica

Domenico Leone

Il prof. Domenico Leone vanta un'esperienza più che trentennale nel campo della progettazione e realizzazione di strutture metalliche sia in campo industriale che infrastrutturale e civile ed è titolare del laboratorio di "Costruzione dell'Architettura" presso la facoltà di Architettura di Genova in qualità di professore a contratto. E' consulente di azienda avendo occupato in precedenza il ruolo di Responsabile del settore di progettazione di opere in carpenteria metallica prima presso la Società Italmont S.p.A. e successivamente presso le Società SMSDemag e Paul-Wurth S.p.A.

Ha partecipato alla progettazione di grandi impianti industriali di produzione e trasformazione dell'acciaio e ne ha seguito la realizzazione con le imprese costruttrici e di montaggio acquisendo ampia esperienza in tutti i settori del ciclo di esecuzione delle opere metalliche.

Per il suo impegno in campo internazionale vanta ampia conoscenza delle norme di settore utilizzate in varie nazioni con particolare riguardo agli Eurocodici.

Ha esercitato ed esercita tuttora attività formativa in ambito Aziendale, Universitario, Pubblico, Privato e dell'Ordine Professionale.

È autore del libro "Eurocodice 3" edito da Sistemi Editoriali nonché di numerosi programmi di calcolo automatico dedicati sia alla progettazione di strutture in acciaio di impianti industriali che alla progettazione di componenti strutturali e di dettaglio proprie degli edifici civili e delle infrastrutture (pacchetto SAITU edito da STA DATA S.r.l.) in base agli Eurocodici ed alle nuove Norme Tecniche per le Costruzioni.

La presente pubblicazione è tutelata dalla legge sul diritto d'autore e non può essere divulgata senza il permesso scritto dell'autore.

S.T.A. DATA srl
Corso Raffaello, 12 - 10126 Torino
tel. 011 6699345 www.stadata.com

Indice

Parte I	ELEMENTI PRESSO-FLESSI IN ACCIAIO	6
1	Premessa	6
2	Calcolo di verifica della colonna presso-flessa	7
3	Verifica di resistenza	13
4	Verifica di stabilità	15
5	Verifica di resistenza al fuoco	18

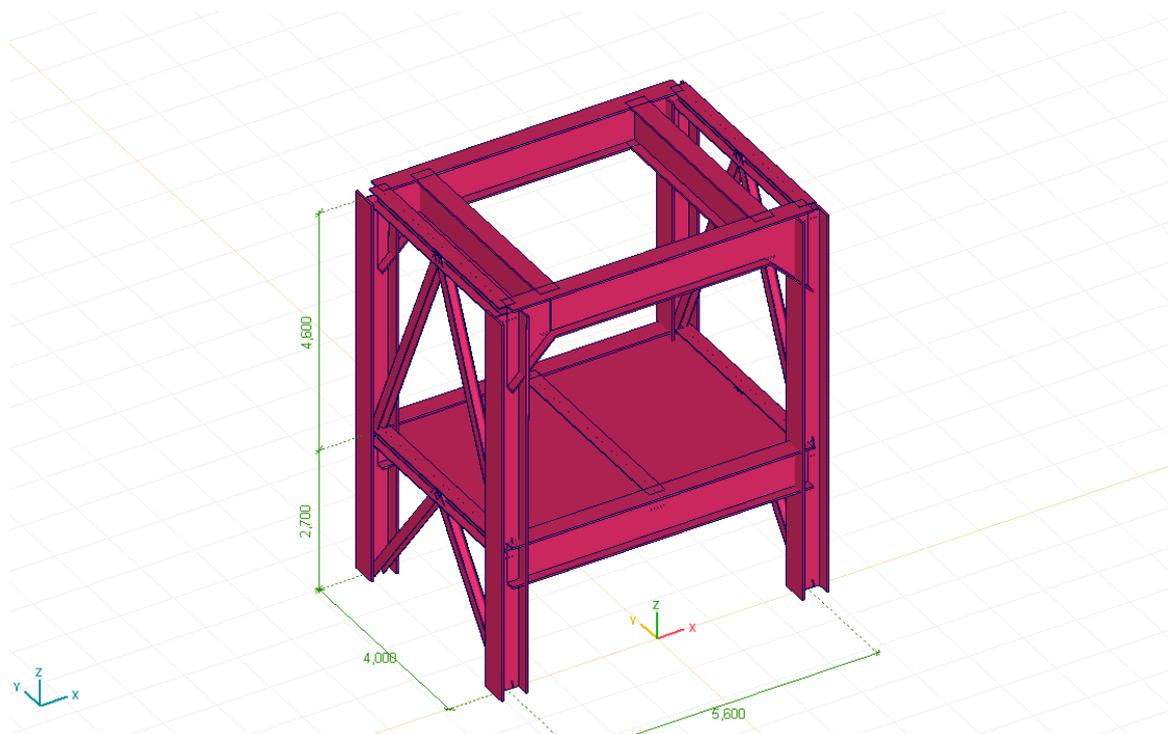
1 ELEMENTI PRESSO-FLESSI IN ACCIAIO

1.1 Premessa

Con riferimento all'esempio di progetto presentato nel numero 5 di "faresismica" ("elementi presso-flessi in acciaio") viene presentato nel seguito un esempio pratico di calcolo di una colonna presso-flessa appartenente ad una struttura a torre di tipo industriale che supporta un carico di impianto di grande massa sulla sommità.

La colonna è prevista di tipo **scatolare** (box section) ed il calcolo è eseguito col programma automatico "**CARGEO-plus**" con riferimento alla norma EN 1993-1-1 e, per quanto riguarda il calcolo in condizioni sismiche, alla norma EN 1998-1 e NTC 2008. Viene inoltre eseguita la verifica di resistenza in condizioni di incendio per una classe REI 45 in base alla norma EN 1993-1-2.

La struttura, analizzata in condizioni sismiche, presenta un comportamento statico diverso nei due piani ovvero "moment resisting frame" nel piano trasversale e "V concentric bracing" nel piano longitudinale. A differenza di quanto esposto nell'esempio del numero 5 di "faresismica" e illustrato nella sottostante figura, le 4 colonne della torre sono di tipo chiuso composte saldate con **sezione scatolare rettangolare**.



Si assumono le stesse sollecitazioni di progetto conseguenti all'analisi sismica lineare eseguita per la torre dell'esempio di cui sopra.

Per la verifica di resistenza al fuoco si considera una combinazione eccezionale comprendente gli effetti dei carichi permanenti e di impianto al 100% dei loro valori caratteristici.

1.2 Calcolo di verifica della colonna presso-flessa

Per un elemento "COLONNA" le sollecitazioni sismiche (N,M,V) devono essere ricavate da una combinazione che è la somma degli effetti prodotti dal carico permanente (o massa sismica) e dell'azione **sismica orizzontale** opportunamente maggiorati (item 6.6.2 – 6.6.3 EN 1998-1; item 7.5.4 NTC 2008):

$$N_{Ed} = N_{Ed,G} + 1,1 \cdot \gamma_{0v} \cdot \Omega \cdot N_{Ed,E} \leq N_{pl,Rd}$$

$$M_{Ed} = M_{Ed,G} + 1,1 \cdot \gamma_{0v} \cdot \Omega \cdot M_{Ed,E}$$

$$V_{Ed} = V_{Ed,G} + 1,1 \cdot \gamma_{0v} \cdot \Omega \cdot V_{Ed,E}$$

γ_{0v} è il coefficiente di sicurezza per il materiale che può essere definito (in accordo con NTC 2008) in funzione della classe di resistenza del materiale oppure (in accordo con EN 1998-1) indipendentemente dal materiale e univocamente posto uguale a **1,25**

Ω è il fattore di sovraresistenza che per un **elemento di telaio resistente a momento** (moment resisting frame) è dato dalla seguente espressione:

$$\Omega = \min [M_{pl,Rd,i} / M_{Ed,i} ; q] \text{ dove } q = 4 \text{ per bassa duttilità}$$

Si assume $\Omega = q = 4$

La schermata seguente illustra il calcolo delle sollecitazioni di progetto della colonna in condizioni sismiche. **E' bene sottolineare che tali sollecitazioni sono utilizzate per la verifica di resistenza della sezione dell'elemento mentre per la verifica di stabilità si devono usare le massime sollecitazioni lungo l'asta calcolate per la combinazione sismica di progetto senza maggiorazioni dell'effetto sismico.**

SECONDO EN 1998-1 (it. 6.6.2 - 6.6.3) e NTC 2008 (it. 7.5.4) - per telai resistenti a momento

elemento COLONNA

$$N_{Ed} = N_{Ed,G} + 1,1 \cdot \gamma_{0v} \cdot \Omega \cdot N_{Ed,E} \leq N_{pl,Rd}$$

$$M_{Ed} = M_{Ed,G} + 1,1 \cdot \gamma_{0v} \cdot \Omega \cdot M_{Ed,E}$$

$$V_{Ed} = V_{Ed,G} + 1,1 \cdot \gamma_{0v} \cdot \Omega \cdot V_{Ed,E}$$

TRAVE di telaio resistente a momento

$$N_{Ed} \leq 0,15 \cdot N_{pl,Rd} = 0$$

$$M_{Ed} \leq M_{pl,Rd} = 0$$

$$V_{Ed} = V_{Ed,G} + V_{Ed,M} \leq 0,5 \cdot V_{pl,Rd} = 0$$

$$V_{Ed,M} = (M_{pl,Rd,A} + M_{pl,Rd,B}) / L = 0$$

$$N_{Ed} \leq \min [N_{1,y,Rd} ; N_{2,y,Rd}] = 0$$

$\Omega = \min [E_{pl,Rd,i} / E_{Ed,i} ; q] = 4,00 \leq q$

$\Omega = \min [1,5 \cdot E_{p,link,i} / E_{Ed,i} ; q] =$

$\Omega = \min. \text{ tra tutte le zone dissipat.}$

$E = M$

$N_{Ed,G} =$	300,4	kN	$N_{Ed,E} =$	665,98	kN
$M_{Ed,G} =$	17592	kNcm	$M_{Ed,E} =$	34516	kNcm
$V_{Ed,G} =$	59,34	kN	$V_{Ed,E} =$	76,53	kN

per la verifica a taglio

$$V_{Ed} \leq 0,5 \cdot V_{pl,Rd} = 635 \text{ kN}$$

$$V_{Ed} = 136 \text{ kN}$$

$N_{Ed} = 3670 \text{ kN}$

$M_{Ed} = 192242 \text{ kNcm}$

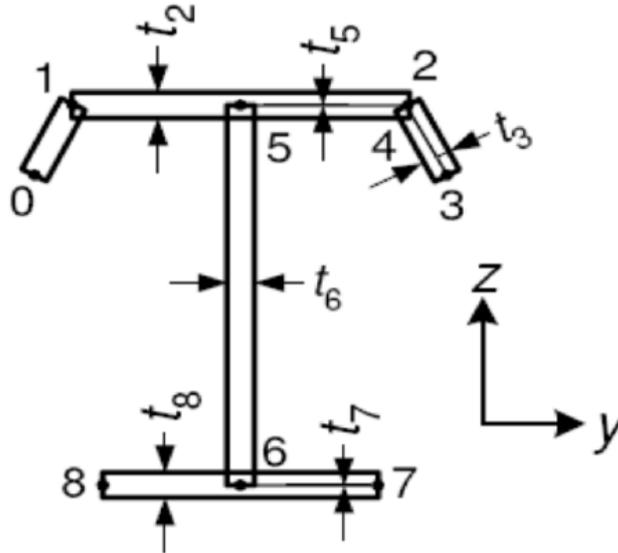
$V_{Ed} = 446 \text{ kN}$

dati di input del progetto

La sezione composta saldata è descritta attraverso le coordinate nodali delle singole parti che la compongono tenendo presente la nota sotto-riportata che deve essere rispettata per la **corretta valutazione delle caratteristiche geometriche.**

CALCOLO DEL C. T. secondo EN 1993-1-3 Annex C

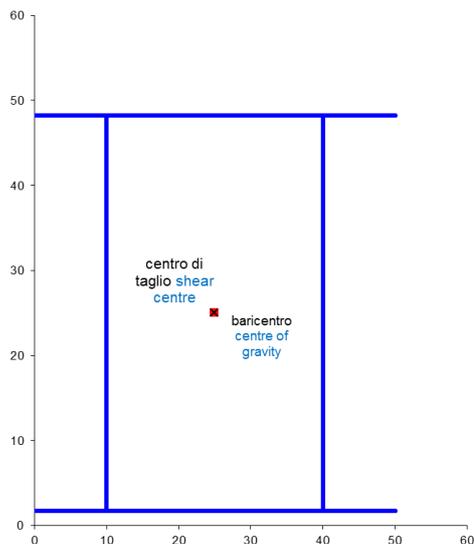
Per il calcolo del centro di taglio la numerazione dei nodi è destrorsa e crescente con il nodo 0 posizionato all'estremità libera del primo piatto
Per sezioni aperte o per parti sporgenti, la numerazione dei nodi e ripercorsa all'indietro ma con spessore delle parti già definite posto = 0



La tabella dei dati di input si presenta come di seguito rappresentato:

H = cm	50	coordinate dei nodi				geometria della sezione					
B = cm	50	nodo i		nodo j		LUNGH.	DIST. g-z	DIST. g-y	ROTAZ.	AREA	
ELEMENTI	SPESSORE	y	z	y	z	l	y _g	z _g	α	A	
i	s = cm	cm	cm	cm	cm	cm	cm	cm	°deg	cm ²	
1	3,5	0	1,75	10	1,75	10	5	1,75	0	35	
2	1,5	10	1,75	10	48,25	46,5	10	25	90	69,75	
3	3,5	10	48,25	0	48,25	10	5	48,25	180	35	
4		0	48,25	10	48,25	10	5	48,25	0	0	
5	3,5	10	48,25	40	48,25	30	25	48,25	0	105	
6	3,5	40	48,25	50	48,25	10	45	48,25	0	35	
7		50	48,25	40	48,25	10	45	48,25	180	0	
8	1,5	40	48,25	40	1,75	46,5	40	25	-90	69,75	
9	3,5	40	1,75	50	1,75	10	45	1,75	0	35	
10		50	1,75	40	1,75	10	45	1,75	180	0	
11	3,5	40	1,75	10	1,75	30	25	1,75	180	105	
12						0	0	0	0	0	
13						0	0	0	0	0	
14						0	0	0	0	0	
15						0	0	0	0	0	
16						0	0	0	0	0	
17						0	0	0	0	0	
18						0	0	0	0	0	
19						0	0	0	0	0	
20						0	0	0	0	0	
8 elementi		per sezioni chiuse definire per ultimo il lato di chiusura								TOTALE	489,500
s _{max} =		3,5 cm		s _{min} =		1,5 cm					

La sezione è automaticamente disegnata:



Il programma riconosce automaticamente la sezione chiusa o aperta e ne calcola le caratteristiche torsionali e le superfici esterne del contorno che possono essere esposte al fuoco in una verifica in condizioni di incendio con protezione in aderenza. Tali caratteristiche possono essere modificate dall'operatore per condizioni non standard di esposizione o per calcolo esterno al programma.

SEZIONE CHIUSA

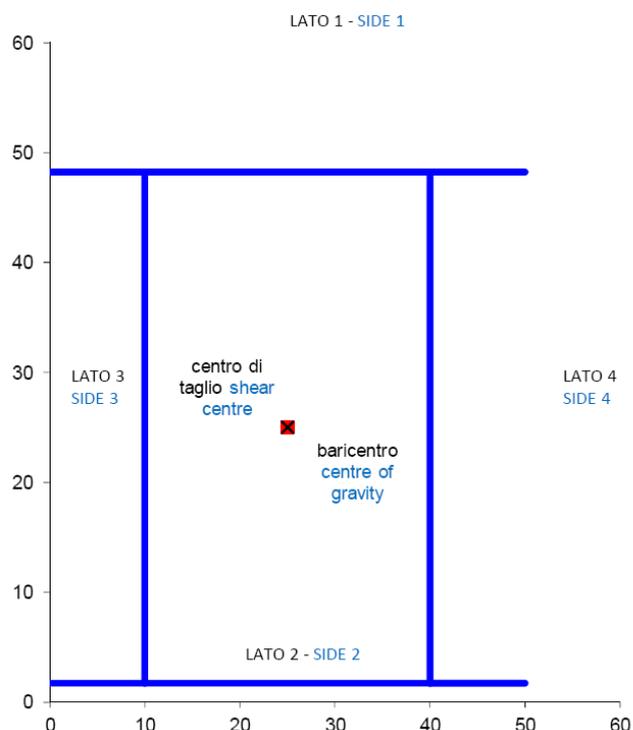
Area della sezione chiusa : **1395,000** cm²
 " " " input : cm²

Perimetro sezione chiusa : **153,000** cm
 " " " input : cm

Lunghezza contorno esterno : **247,000** cm
 " " " input : cm

Lato non esposto al fuoco : 0

Lunghezza contorno esposto : **247,000** cm
 " " " " input : cm



Momenti di inerzia, fattore di distorsione per sezioni aperte e moduli di resistenza elastici e plastici nei due piani di flessione sono automaticamente calcolati mentre, per il

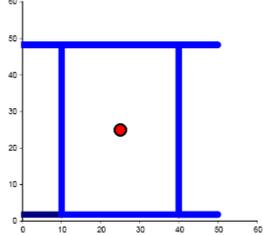
calcolo della posizione dell'asse neutro plastico della sezione nei due piani principali, deve essere definito da input lo spessore totale delle parti "tagliate" dagli assi baricentrici come risulta dal seguente foglio di calcolo che è parte del programma .

COORDINATE DEL BARICENTRO :		COORDINATE CENTRO DI TAGLIO :		SEZIONE CHIUSA
$y_G =$	25,00 cm	$y_C =$	25,00 cm	
$z_G =$	25,00 cm	$z_C =$	25,00 cm	

MOMENTI DI INERZIA DELLA SEZIONE :				SEZIONE CHIUSA
$J_y =$	214333 cm ⁴	$J_z =$	104304 cm ⁴	
Momento di inerzia torsionale $J_t =$	98355,1 cm ⁴			
Costante di distorsione $J_w =$	0 cm ⁶			

LIVELLI DI CALCOLO CARATTERISTICHE RESISTENZIALI :

LIV. 0 = BORDI DEL PROFILO SUGLI ASSI DI RIFERIMENTO
 LIV. 1 : 5 = LIVELLI DEFINITI DA INPUT LUNGO GLI ASSI Y E Z
 LIV. 6 = LIVELLO BARICENTRICO
 LIV. 7 = DIMENSIONI MASSIME DEL PROFILO
 LIV. 8 = LIVELLO ASSE NEUTRO PLASTICO PER FLESSIONE

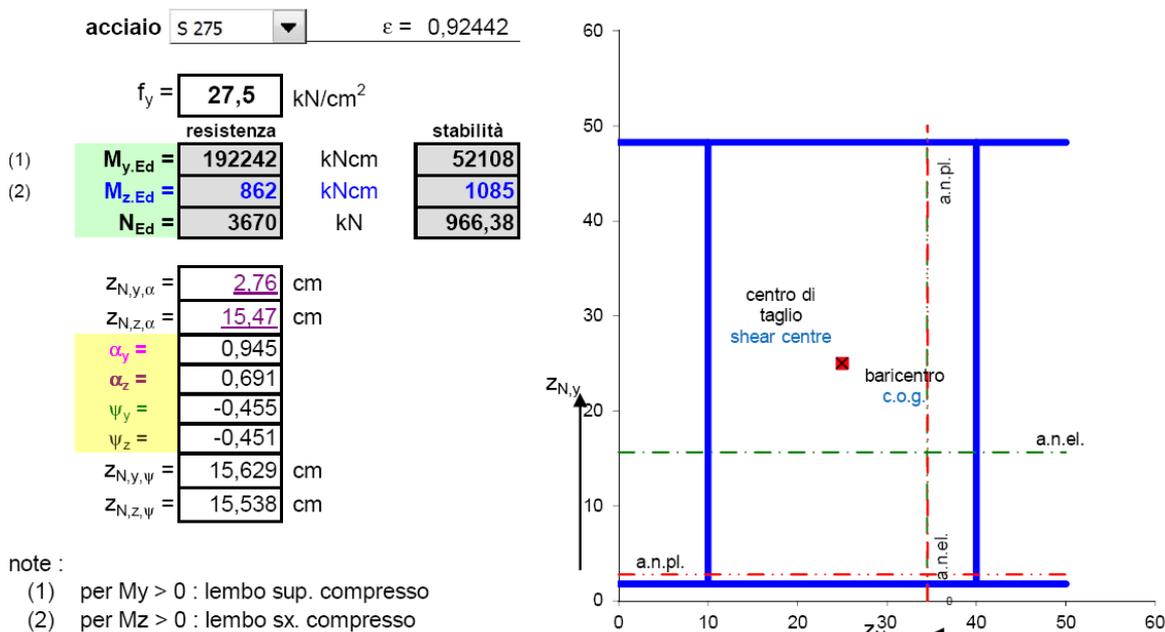


MODULI DI RESISTENZA E COEFFICIENTI DI TAGLIO :

LIV.	hz cm	by cm	Wy cm ³	Wpl.y cm ³	kTz cm ⁻²	hy cm	bz cm	Wz cm ³	Wpl.z cm ³	kTy cm ⁻²
0	0	0	8588		0,00E+00	0	0	4173		0,00E+00
1	1,75	3,50	9233,99		1,12E-03	0,00	3,50	4173,21		0,00E+00
2	0	0	8588		0,00E+00	0	0	4173		0,00E+00
3	0	0	8588		0,00E+00	0	0	4173		0,00E+00
4	0	0	8588		0,00E+00	0	0	4173		0,00E+00
5	0	0	8588		0,00E+00	0	0	4173		0,00E+00
6	25,00	3	=====		6,95E-03	25,00	7	=====		3,89E-03
7	50	0	8588		0,00E+00	50	0	4173		0,00E+00
	Zn	Ac	At	Wpl.y	k / I	Yn	Ac	At	Wpl.z	
8	25,00	244,80	= 244,70	9759	0	25,00	244,80	= 244,70	6468	

MOMENTI STATICI BARICENTRICI :							COSTANTI SETTORIALI cm ⁵	
	LIV. 1	LEV. 2	LEV. 3	LEV. 4	LEV. 5	LEV. 6	J_{yw}	J_{zw}
M. STAT. Y $S_y =$ cm ³	844,38	0,00	0,00	0,00	0,00	4474,17	-6020123	8763870
M. STAT. Z $S_z =$ cm ³	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	2840,00		

Le sollecitazioni di progetto (e il tipo di acciaio) sono inserite nel foglio di calcolo relativo alla classificazione della sezione; assi neutri elastici e plastici della sezione lorda sono automaticamente calcolati e disegnati insieme alla sezione predefinita.



La classificazione della sezione è eseguita definendo ciascuna parte della sezione come parte “interna” o parte “sporgente”. La posizione dell’asse neutro elastico, calcolato per snervamento della fibra estrema della sezione, e la posizione dell’asse neutro plastico definiscono i valori limite del rapporto larghezza/spessore di ciascuna parte. Tali valori, calcolati per le tre classi di comportamento (plastico, parzialmente plastico, elastico) sono confrontati col rapporto larghezza/spessore di ciascuna parte e ne definiscono automaticamente la classe. La classe della sezione corrisponde al valore massimo della classe delle parti che la compongono. Per maggiori approfondimenti sulla classificazione della sezione si può fare riferimento alla trattazione da me fatta nel numero 1 di “faresismica”. La tabella di seguito riportata illustra il criterio di classificazione utilizzato dal programma.

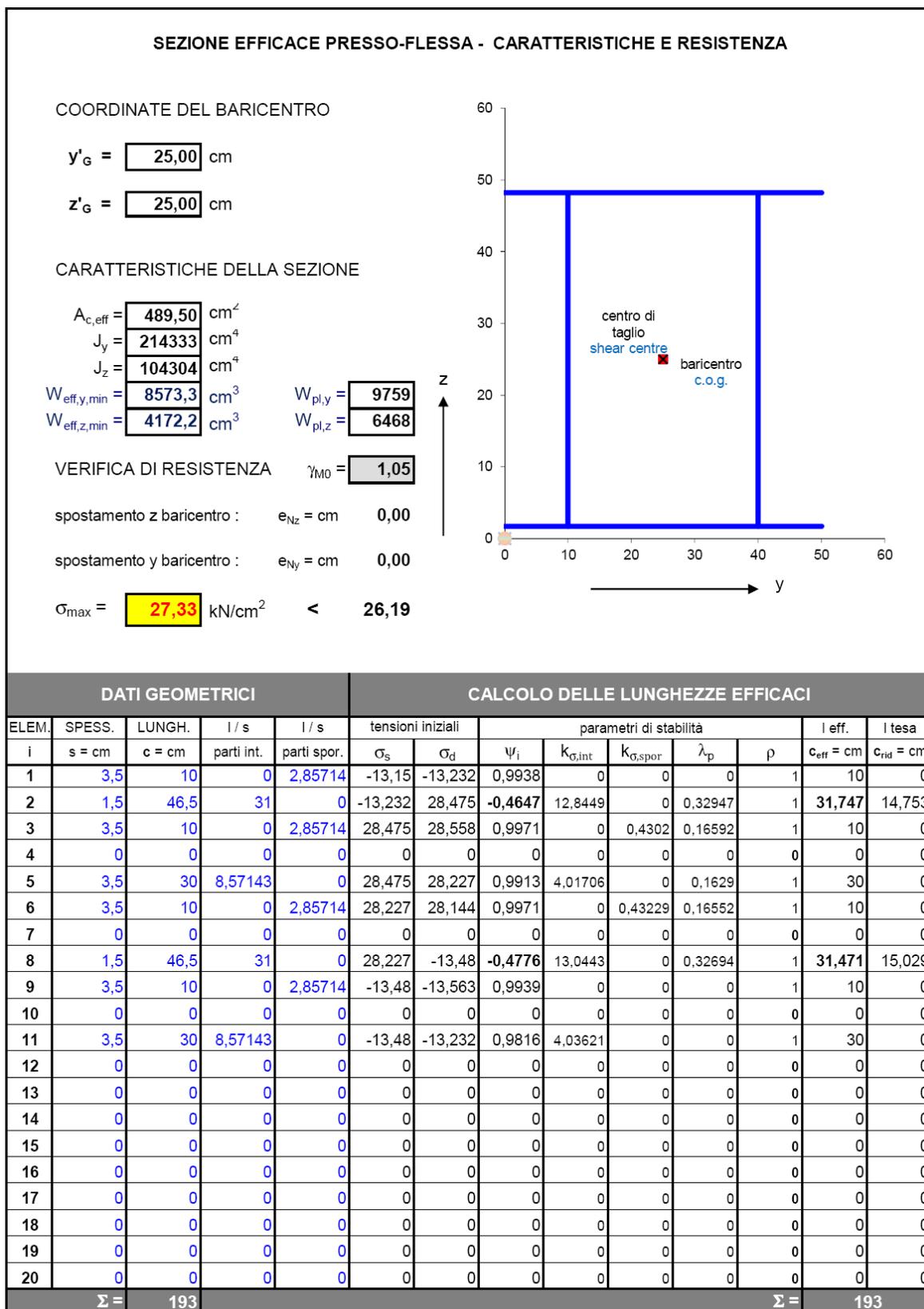
RAPPORTI LARGHEZZA/SPESSORE						CLASSIFICAZIONE DEGLI ELEMENTI							
ELEM.	SPESSORE	LUNGH.	parti interne o sporgenti	l / s	l / s	comp. elastico		comp. Plastico		classe	classe	classe	classe
i	s = cm	c = cm		parti int.	parti spor.	$\Psi_{c,y}$	$\Psi_{c,z}$	$\alpha_{c,y}$	$\alpha_{c,z}$	1	2	3	classe elem.
1	3,5	10	sporgente ▼	0	2,857143	0	0,7098	0	1	8,3197	9,2442	14,404	1
2	1,5	46,5	interna ▼	31	0	-0,425	1	0,9783	1	30,506	35,128	38,825	2
3	3,5	10	sporgente ▼	0	2,857143	1	0,7098	1	1	8,3197	9,2442	12,73	1
4	0	10	sporgente ▼	0	0	0	0	0	0	8,3197	9,2442	25,311	1
5	3,5	30	interna ▼	8,571429	0	1	-0,226	1	0,8177	30,506	35,128	38,825	1
6	3,5	10	sporgente ▼	0	2,857143	1	0	1	0	8,3197	9,2442	12,73	1
7	0	10	sporgente ▼	0	0	0	0	0	0	8,3197	9,2442	25,311	1
8	1,5	46,5	interna ▼	31	0	-0,425	0	0,9783	0	31,238	35,972	57,948	1
9	3,5	10	sporgente ▼	0	2,857143	0	0	0	0	8,3197	9,2442	25,311	1
10	0	10	sporgente ▼	0	0	0	0	0	0	8,3197	9,2442	25,311	1
11	3,5	30	interna ▼	8,571429	0	0	-0,226	0	0,8177	38,013	43,773	57,948	1
12	0	0	interna ▼	0	0	0	0	0	0	33,279	38,363	57,948	1
13	0	0	sporgente ▼	0	0	0	0	0	0	8,3197	9,2442	25,311	1
14	0	0	sporgente ▼	0	0	0	0	0	0	8,3197	9,2442	25,311	1
15	0	0	interna ▼	0	0	0	0	0	0	33,279	38,363	57,948	1
16	0	0	sporgente ▼	0	0	0	0	0	0	8,3197	9,2442	25,311	1
17	0	0	sporgente ▼	0	0	0	0	0	0	8,3197	9,2442	25,311	1
18	0	0	sporgente ▼	0	0	0	0	0	0	8,3197	9,2442	25,311	1
19	0	0	sporgente ▼	0	0	0	0	0	0	8,3197	9,2442	25,311	1
20	0	0	sporgente ▼	0	0	0	0	0	0	8,3197	9,2442	25,311	1
classe della sezione												2	

Nell'esempio qui riportato la sezione è di classe 2 come individuato dall'elemento 2 ovvero dalla prima anima della sezione che ha un rapporto larghezza/spessore (l/s) pari a 31 maggiore del rapporto limite per il comportamento plastico della classe 1 che è 30,506 ma minore del rapporto limite per il comportamento parzialmente plastico della classe 2 che è 35,128.

Per sezioni di classe 4 viene calcolata e disegnata la sezione efficace sia per il caso di uniforme compressione che per il caso di sola flessione.

La sezione efficace può essere quindi la sezione lorda interamente reagente con comportamento plastico o elastico (classe 1, 2 o 3) oppure la sezione parzializzata (classe 4). In base alle caratteristiche geometriche della sezione lorda plastica o lorda elastica o parzializzata elastica viene eseguita la verifica di resistenza come di seguito rappresentato.

1.3 Verifica di resistenza



Il foglio sopra riportato evidenzia (in rosso) che la verifica di resistenza non è soddisfatta. E'

sufficiente riferirsi alla norma EN 1993-1-1 modificando il coefficiente di sicurezza da 1,05 a 1,00 per soddisfare la verifica:

VERIFICA DI RESISTENZA		$\gamma_{M0} =$	1
spostamento z baricentro :	$e_{Nz} =$ cm		0,00
spostamento y baricentro :	$e_{Ny} =$ cm		0,00
$\sigma_{max} =$	27,33 kN/cm ²	$<$	27,50

La verifica di resistenza è eseguita in assenza di taglio ovvero, in presenza di taglio qualora quest'ultimo non superi il 50% della resistenza di progetto a taglio.

Il seguente criterio è utilizzato dal programma per la verifica di resistenza:

EN 1993-1-1: 2005 (E)

(2) The following criterion should be met:

$$\frac{N_{Ed}}{A_{eff} f_y / \gamma_{M0}} + \frac{M_{y,Ed} + N_{Ed} e_{Ny}}{W_{eff,y,min} f_y / \gamma_{M0}} + \frac{M_{z,Ed} + N_{Ed} e_{Nz}}{W_{eff,z,min} f_y / \gamma_{M0}} \leq 1 \quad (6.44)$$

where A_{eff} is the effective area of the cross-section when subjected to uniform compression

$W_{eff,min}$ is the effective section modulus (corresponding to the fibre with the maximum elastic stress) of the cross-section when subjected only to moment about the relevant axis

e_N is the shift of the relevant centroidal axis when the cross-section is subjected to compression only, see 6.2.2.5(4)

1.4 Verifica di stabilità

Deve essere definita la lunghezza L dell'elemento tra i vincoli torsionali nonchè se si tratta di vincolo pienamente efficace (effettivo) o parzialmente efficace.

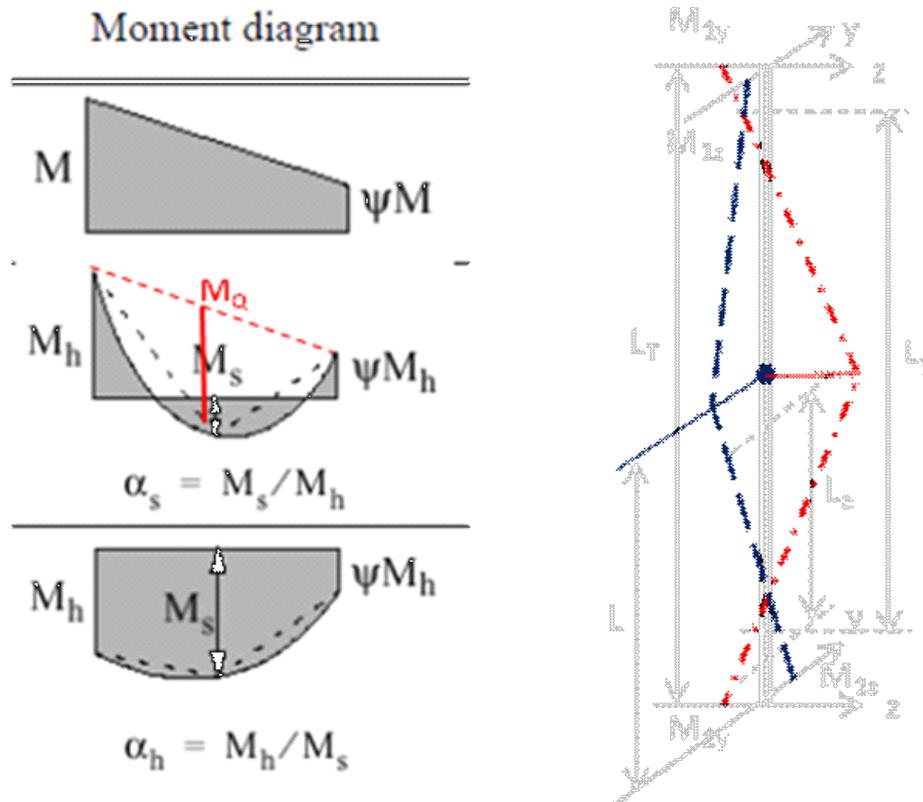
Anche le lunghezze libere di inflessione nei due piani devono essere predefinite insieme ai fattori di variazione della lunghezza (k e k_w) per l'instabilità laterale e a svergolamento delle estremità.

I momenti alle estremità dell'elemento, come anche l'eventuale momento intermedio, si riferiscono alla combinazione sismica di progetto **senza alcuna maggiorazione**.

VERIFICA DI STABILITA' PER EFFETTO COMBINATO MOMENTO - FORZA ASSIALE			
Distanza effettiva tra i vincoli torsionali :	$L = 460$ cm	vincolo effettivo	
Lunghezza libera nel piano principale :	$L_y = 460$ cm		
Momenti principali di estremità [+;-]	$M_{1y} = 52108$	$M_{2y} = -18884$	kNcm
Momenti laterali di estremità (+;-)	$M_{1z} = -4382$	$M_{2z} = 4362$	kNcm
(1) Mom. per carichi trasv. nel piano principale	$ M_{Oy} = 0$	$\Delta M_y = 70992$	kNcm
(1) Mom. per carichi trasv. nel piano laterale	$ M_{Oz} = 0$	$\Delta M_z = 8744$	kNcm
Diagramma del momento flettente (*):	$(l,p,t,q)_y = I$	$(l,p,t,q)_z = I$	
Fattore di lunghezza effettiva k (0,5-0,7-1)	$k = 0,5$	rotazione z-z impedita delle estremità	
Fattore di lunghezza effettiva k_w (0,5-0,7-1)	$k_w = 0,5$	distorsione impedita delle estremità	
Fattore di distribuzione momenti estremi :	$\psi_y = -0,36$	$\psi_z = -1,00$	$-1 < \psi < 1$
Max. spostamento dell'elemento :	$ \delta x_y =$	$ \delta x_z =$	cm
		$M_{zEd\ max} = 1085$	kNcm

nota (1) : momento calcolato per trave semplicemente appoggiata

Schemi e diagrammi dei momenti lungo l'asta sono di seguito rappresentati:



Il carico trasversale può essere applicato a livello baricentrico, a livello del centro di taglio o

sull'estradosso della sezione con conseguenze sul calcolo del momento critico elastico secondo EN.

Il momento critico elastico secondo NTC 2008, applicabile solo a sezioni a I a doppia simmetria con carico baricentrico e con rotazioni e distorsioni libere alle estremità, è dato dalla seguente espressione

$$M_{cr} = \psi \cdot \frac{\pi}{L_{cr}} \cdot \sqrt{EJ_y \cdot GJ_T} \cdot \sqrt{1 + \left(\frac{\pi}{L_{cr}}\right)^2 \cdot \frac{EJ_{\omega}}{GJ_T}}$$

Il momento critico secondo ENV 1993-1-1 Appendix F – item F1.3 è dato, per sezione a doppia simmetria, dalla seguente espressione:

$$M_{cr} = C_1 \frac{\pi^2 E I_z}{(kL)^2} \left\{ \sqrt{\left(\frac{k}{k_w}\right)^2 \frac{I_w}{I_z} + \frac{(kL)^2 G I_t}{\pi^2 E I_z} + (C_2 z_g)^2} - C_2 z_g \right\}$$

La schermata che segue riporta il calcolo del Momento critico secondo EC3:

Coeff. di forma (*):	C1 = <input type="text" value="3,093"/>	C2 = <input type="text" value="0,00"/>	C3 = <input type="text" value="1,546"/>
(*) Fatt. di mom. unif. equival. nel piano princip.	$\beta_{My} =$ <input type="text" value="2,054"/>	<i>diagramma lineare</i>	
(*) Fatt. di mom. unif. equival. nel piano princip.	$\beta_{Mz} =$ <input type="text" value="2,497"/>	<i>diagramma lineare</i>	
$\beta_w = W_{calc}/W_{pl,y}$	$\beta_w =$ <input type="text" value="1,00"/>	<i>per sez. di classe 2</i>	
$z_j = z_g - 0,5 \cdot \int_A (y^2 + z^2) \cdot z \, dA / J_y$	$z_j =$ <input type="text" value="0,00"/>	cm	$\beta_f =$ <input type="text" value="0,5"/>
$I_w =$ costante di distorsione :	$I_w =$ <input type="text" value="0"/>	cm ⁶	<i>per sezione chiusa</i>
$z_g =$ punto di applicazione del carico	<input type="text" value="centro di taglio"/>		
Momento critico elastico :	$M_{cr} =$ <input type="text" value="55729320"/>	kNcm	EN 1993-1-1

La schermata successiva illustra il calcolo di tutti i parametri adimensionali per la verifica di stabilità a presso-flessione e flesso-torsione in accordo con le seguenti espressioni della norma EN 1993-1-1 e NTC 2008

$$\frac{N_{Ed}}{\chi_y N_{Rk}} + k_{yy} \frac{M_{y,Ed} + \Delta M_{y,Ed}}{\chi_{LT} \frac{M_{y,Rk}}{\gamma_{M1}}} + k_{yz} \frac{M_{z,Ed} + \Delta M_{z,Ed}}{\gamma_{M1}} \leq 1$$

$$\frac{N_{Ed}}{\chi_z N_{Rk}} + k_{zy} \frac{M_{y,Ed} + \Delta M_{y,Ed}}{\chi_{LT} \frac{M_{y,Rk}}{\gamma_{M1}}} + k_{zz} \frac{M_{z,Ed} + \Delta M_{z,Ed}}{\gamma_{M1}} \leq 1$$

Lunghezza libera nel piano laterale :	$L_z =$	460	cm	EC3	
Snellezze effettive per presso-flessione :	$\lambda_y =$	22		$\lambda_z =$	32
Snellezze adimensionali corrispondenti :	$\bar{\lambda}_y =$	0,253		$\bar{\lambda}_z =$	0,363
Snellezza per l'instabilità flessio-torsionale :	$\lambda_{LT} =$	6		$\lambda_0 =$	10,595
Snellezze adimensionali corrispondenti :	$\bar{\lambda}_{LT} =$	0,069		$\bar{\lambda}_{LT,0} =$	0,2
Rapporto altezza / larghezza sezione :	$h/b =$	1		$\bar{\lambda}_0 =$	0,122
Coeff. di imperfezione per presso-flessione :	$\alpha_y =$	0,34		$\alpha_z =$	0,76
$\phi = 0,5 \cdot [1 + \alpha \cdot (\bar{\lambda} - 0,2)] + \bar{\lambda}^2$	$\phi_y =$	0,541		$\phi_z =$	0,628
Coeff. di imperfezione per flessio-torsione :	$\alpha_{LT} =$	0,76	<i>per profilo saldato</i>		
$\phi_{LT} = 0,5 \cdot [1 + \alpha_{LT} \cdot (\bar{\lambda}_{LT} - \bar{\lambda}_{LT,0})] + \beta \cdot \bar{\lambda}_{LT}^2$	$\phi_{LT} =$	0,453		$\beta =$	1
Coeff. di riduzione per presso-flessione :	$\chi_y =$	0,981		$\chi_z =$	0,877
Coeff. di riduzione per flessio-torsione :	$\chi_{LT} =$	1,000		$\chi_{min} =$	0,877
$\mu_y =$	0,164	$k_y =$	0,988	$k_{yy} =$	0,462
$\mu_z =$	0,497	$k_z =$	0,959	$k_{zy} =$	0,277
$\mu_{LT} =$	-0,038	$k_{LT} =$	1,000	$k_{zz} =$	0,421
VERIFICA SECONDO EN 1993-1-1 - METODO 2					
<i>fattore di correzione per distribuzione del momento tra i vincoli</i>					
$f = 1 - 0,5 \cdot (1 - k_c) \cdot [1 - 2,0 \cdot (\bar{\lambda}_{LT} - 0,8)^2]$		$f =$		1,000	
$k_c = 0,690$		$\chi_{LT,mod} = \chi_{LT} / f =$		1,000	
				$\gamma_{M1} =$	1,05
				$f_d = f_y / \gamma_{M1} =$	26,19 kN/cm ²
VERIFICA DI STABILITA' PER PRESSO-FLESSIONE					
ENV 1993	$[N_{Ed} / (\chi_{min} \cdot A) + k_y \cdot (M_{y,Ed} + N_{Ed} \cdot e_{Ny}) / W_y + k_z \cdot (M_{z,Ed} + N_{Ed} \cdot e_{Nz}) / W_z] / f_d =$				
EN 1993-1-1	$[N_{Ed} / (\chi_y \cdot A) + k_{yy} \cdot (M_{y,Ed} + N_{Ed} \cdot e_{Ny}) / (\chi_{LT} \cdot W_y) + k_{yz} \cdot (M_{z,Ed} + N_{Ed} \cdot e_{Nz}) / W_z] / f_d =$				
	0,173 < 1				
VERIFICA DI STABILITA' PER FLESSIO-TORSIONE					
ENV 1993	$[N_{Ed} / (\chi_z \cdot A) + k_{LT} \cdot (M_{y,Ed} + N_{Ed} \cdot e_{Ny}) / (\chi_{LT} \cdot W_y) + k_z \cdot (M_{z,Ed} + N_{Ed} \cdot e_{Nz}) / W_z] / f_d =$				
EN 1993-1-1	$[N_{Ed} / (\chi_z \cdot A) + k_{zy} \cdot (M_{y,Ed} + N_{Ed} \cdot e_{Ny}) / (\chi_{LT} \cdot W_y) + k_{zz} \cdot (M_{z,Ed} + N_{Ed} \cdot e_{Nz}) / W_z] / f_d =$				
	0,145 < 1				

In grigio chiaro e neretto sono riportati parametri e criteri di verifica secondo la versione sperimentale della EN 1993 (ENV 1993-1-1).

Il calcolo è eseguito in base al metodo 2 della EN 1993-1-1 adottato anche dalle NTC 2008 i cui parametri di interazione k dei momenti sono calcolati con le stesse espressioni riportate nell'esempio del numero 5 di "faresismica".

I valori bassi dei rapporti di resistenza per l'instabilità sono dovuti al fatto che le sollecitazioni sismiche non sono incrementate dei fattori di sicurezza e sovraresistenza oltre al fatto che la sezione è torsorigida e con bassi valori della snellezza λ .

1.5 Verifica di resistenza al fuoco

Viene di seguito riportata la verifica di resistenza al fuoco della colonna nel caso di **assenza di protezione** ricercando il tempo massimo di resistenza ad un incendio standard da gas.

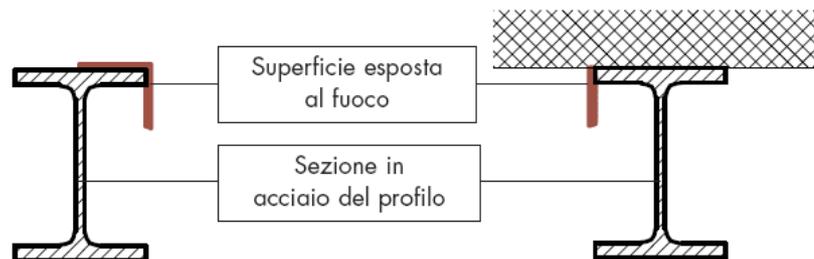
Le sollecitazioni in condizione di incendio sono ricavate da una **combinazione eccezionale** in cui si è considerato l'effetto combinato di tutti i carichi permanenti e di impianto che comprendono anche le azioni termiche di lunga durata escludendo quindi gli effetti prodotti dal sovraccarico accidentale (modesto nel caso in esame), dal sisma o dal vento.

La verifica è eseguita sia nel **dominio delle temperature** che nel **dominio delle resistenze**.

Si nota che per una classe di resistenza **REI 45** la verifica di resistenza al fuoco "standard" è soddisfatta sia nel dominio delle temperature risultando la temperatura dell'acciaio, al tempo $t = 45$ min, minore nella temperatura critica ($766^{\circ}\text{C} < 832^{\circ}\text{C}$), sia nel dominio delle resistenze risultando il rapporto tensionale per pressoflessione < 1 ($0,608 < 1$).

Entrambe le verifiche sono soddisfatte fino ad un tempo di esposizione al fuoco di 50 min. con una temperatura dell'acciaio di 820°C ed un rapporto tensionale pari a $0,904 < 1$.

La superficie esposta al fuoco è individuata dal rettangolo che incornicia la sezione della colonna come rappresentato nella figura di sinistra qui di seguito riprodotta.



La classe della sezione in condizione di incendio è determinata attraverso la riduzione del fattore γ , riferito alla temperatura ambiente di 20°C , moltiplicato per 0,85. Nel caso in esame rimane uguale a 2.

VERIFICA IN CONDIZIONE DI INCENDIO - item 4.2.3.5 EN 1993-1-2			
PROFILO SEZIONE CHIUSA		SOLLECITAZIONI PER LA CONDIZIONE DI INCENDIO	
elemento non protetto	▼	fattore di riduzione delle sollecitazioni $\eta_{fi,max} =$	
nessuna protezione	▼	Momento principale $M_{y,fi,Ed} =$ kNcm	17592 17592
4 lati esposti	▼	Momento laterale $M_{z,fi,Ed} =$ kNcm	1085 1085
	▼	Compressione $N_{fi,Ed} =$ kN	300,4 300,4
EFFETTO DELLA COMPRESSIONE :			
$N_{b,fi,Rd} = \chi_{fi} \cdot \beta_A \cdot A \cdot k_{y\theta} \cdot f_{yd} =$		1556 kN	$f_{y\theta} =$ 4,16 kN/cm ² $\gamma_{M,fi} =$ 1
$N_{b,Rd,t=0} = \chi_{min} \cdot \beta_A \cdot A \cdot f_{yd} =$		11245 kN	
grado di utilizzo $\mu_0 =$		0,098	REI R 45 classe 2
fattore di sezione A_p / V o $A_m / V =$		41	$f_y =$ 27,50 kN/cm ²
caratteristiche della protezione		$\beta_A =$ 1	spess. min $t =$ cm 4,6
spessore protezione $d_p =$ mm		$A_{tot} =$ cm ² 489,50	$A_{eff} =$ cm ² 489,50
peso specifico $\rho_p =$ kg / m ³	0	$i_{min} =$ cm 14,60	
conducibilità termica $\lambda_p =$ W/m°C	0	$\lambda_{max} =$ 32	per classe 2 tempo t=0
calore specifico $C_p =$ J/kg°C	0	$\epsilon =$ 0,7857538	per lo = cm 460
snellezza adim. alla temp. di prog. $\bar{\lambda}_\theta =$	0,43832378	$\bar{\lambda}_{20^\circ C} =$ 0,3630364	per acciaio S 275 in cond. di fuoco
fattore di riduz. di f_y alla T di prog. $k_{y,\theta} =$	0,15	$\alpha =$ 0,6008706	
fattore di riduz. di E alla T di prog. $k_{E,\theta} =$	0,10	$\phi_\theta =$ 0,7277518	
curva standard per fuoco da gas		$\chi_{fi} =$ 0,76412	
$\theta_g = 20 + 345 \cdot \log_{10}(8 \cdot t + 1)$	$\theta_{a,t} =$ °C	766	$N_{Ed} / N_{b,Rd} =$ 0,193
temperatura critica del dominio $\theta_{a,cr} =$ °C		832	
EFFETTO DELLA FLESSIONE :			
$M_{fi,t,Rd,y} = W_y / K_y \cdot f_{y\theta} / \gamma_{M,fi} / k =$		51882 kNcm	
$M_{fi,t,Rd,z} = W_z / K_z \cdot f_{y\theta} / \gamma_{M,fi} / k =$		37427 kNcm	
$M_{b,fi,t,Rd} = W_y \cdot \chi_{LT} / K_{LT} \cdot f_{y\theta} / \gamma_{M,fi} / k =$		45573 kNcm	
fattore di riduz. per esposizione : $k_1 =$ 1		asse (z-z) asse (y-y)	
fattore di riduz. per vincoli estr. : $k_2 =$ 0,85		$W_{pl} =$ 6467,5 9759,2 cm ³	
fattore di riduz. totale $k = k_1 \cdot k_2 =$ 0,85		$i =$ 14,60 20,93 cm	
		$\lambda =$ 32 22	per lo = cm 460
		$\bar{\lambda}_\theta =$ 0,4383238 0,3057745	$\bar{\lambda}_{20^\circ C} =$ 0,363036 0,253254
		$\bar{\lambda}_{LT,\theta} =$ 0,083798484	$\bar{\lambda}_{LT,20^\circ C} =$ 0,069405087
		$\phi_\theta =$ 0,7277518 0,6386145	
		$\phi_{LT,\theta} =$ 0,528687115	
		$\chi_{fi} =$ 0,76412 0,8338432	≤ 1
		$\chi_{LT,fi} =$ 0,95175476	
		$\psi =$ -1,00 -0,36	rapporto mom. di estremità asta
		$\beta_M =$ 2,4968051 2,0536808	
		$\mu =$ 0,8 0,4498519	$\leq 0,8$
		$\mu_{LT} =$ 0,014161359	$\leq 0,9$
		$K =$ 0,8455166 0,9203953	≤ 3
		$K_{LT} =$ 0,997265382	≤ 1
		$M_{Ed} / M_{fi,t,Rd} =$ 0,029 0,339	
		$M_{Ed} / M_{b,fi,Rd} =$ 0,386	
EFFETTO COMBINATO PRESSO-FLESSIONE :			
$N_{fi,Ed} / N_{b,fi,Rd} + M_{y,fi,Ed} / M_{fi,t,Rd,y} + M_{z,fi,Ed} / M_{fi,t,Rd,z} =$		0,561	< 1
$N_{fi,Ed} / N_{b,fi,Rd} + M_{y,fi,Ed} / M_{b,fi,t,Rd} + M_{z,fi,Ed} / M_{fi,t,Rd,z} =$		0,608	< 1

