

fare sismica  **APPUNTI**

**Progetto di un arcareccio
di copertura in profilo
piegato a freddo**

Domenico Leone



Progetto di un arcareccio di copertura in profilo piegato a freddo

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 Italimpianti 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.

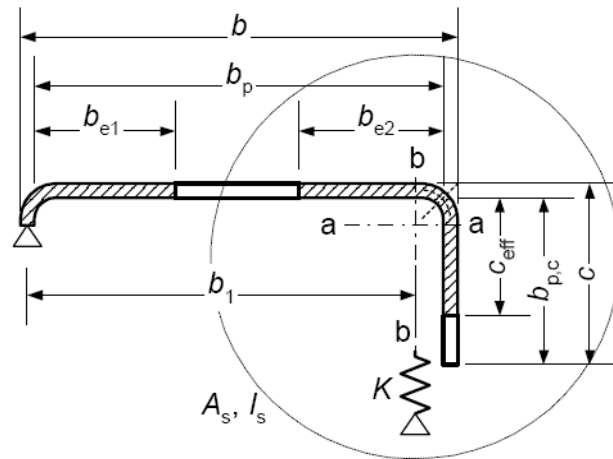
S.T.A. DATA srl
Corso Raffaello, 12 - 10126 Torino
tel. 011 6699345 www.stadata.com

Indice

Parte I	Prefazione	4
1	<i>Progetto di un arcareccio di copertura in profilo piegato a freddo</i>	5
	<i>Alcune considerazioni sul calcolo della sezione efficace</i>	10

1 Prefazione

In questo articolo si vuole presentare il criterio di calcolo di elementi di copertura (arcarecci) realizzati con profili sottili piegati a freddo in base alla norma EN 1993-1-3 utilizzando il programma di calcolo automatico "CZformEC3" da me realizzato e distribuito da STADATA.



$$b/t \leq 60$$

a) single edge fold

$$C_{\text{eff}} = \rho \cdot b_{p,c}$$

ρ è calcolato in base alla EN 1993-1-5 assumendo $\psi = 1$ e k_{σ} come segue:

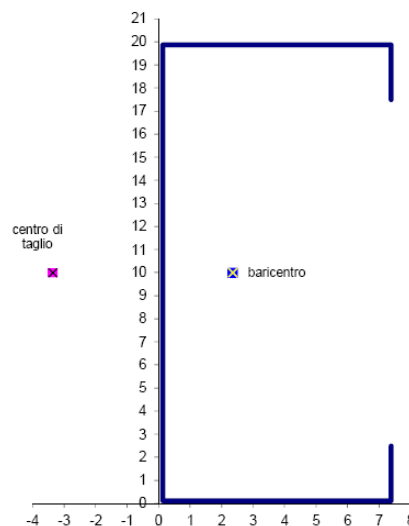
- if $b_{p,c}/b_p \leq 0,35$:

$$k_{\sigma} = 0,5$$

- if $0,35 < b_{p,c}/b_p \leq 0,6$:

$$k_{\sigma} = 0,5 + 0,83 \sqrt[3]{(b_{p,c}/b_p - 0,35)^2}$$

Il profilo è disegnato in scala dal programma:



Il progetto prevede anche la verifica di resistenza al fuoco della sezione protetta per una classe REI = 30 min. Il tempo di resistenza al fuoco richiede sicuramente una protezione termica che viene realizzata con cemento vermiculite ad alta densità applicato in aderenza su 3 lati. Lo spessore della protezione è di 14 mm.

Il peso proprio della copertura è **30 daN/m²** e corrisponde a **60 daN/m** lungo l'arcareccio comprensivo del peso proprio della lamiera e della sua protezione termica. Tenendo conto anche del peso proprio dell'arcareccio e della sua protezione termica il carico permanente lungo l'arcareccio vale **72,4 daN/m**.

Il carico variabile, generato dal peso della neve, è **175 daN/m²** ovvero **350 daN/m** lungo l'arcareccio. Il carico della neve è considerato **“sovraccarico frequente”** per costruzione a “quota superiore a 1000 m”

Nella seguente parte del primo foglio di calcolo sono rappresentati i dati di input al progetto iniziale con le combinazioni di carico sia per lo S.L.U. che per lo S.L.S. in condizioni normali e in condizioni di incendio standard.

SCHEMA DI CALCOLO
SEZIONE RESISTENTE COSTITUITA DA PROFILO SAGOMATO A FREDDO IRIGIDITO O NO

p^* = carico uniforme compressivo del peso proprio, dei carichi permanenti portati e del carico variabile
 $q_{h,Ed}$ = carico laterale equivalente = $k_h \cdot p = 1,09$ kN/m

verifica in condizioni normali e di res. al fuoco

G = carico permanente uniforme
 Q = sovraccarico frequente
 $S_{Ed} = \gamma_G \cdot G + \gamma_Q \cdot [\psi \cdot Q]$

S.L.U.
 $\gamma_G = 1,3$ $\gamma_Q = 1,5$ $\psi = 1$

S.L.S.
 $\gamma_G = 1$ $\gamma_Q = 1$ $\psi = 1$

fattore di comb. per azioni variabili:
 $\eta_{fi} = 0,40$ neve >1000 $\Psi_{fi} = 0,5$

fattore di adattamento $k = k1 \cdot k2$:
 $k1 = 0,85$ $k2 = 1$

MODULO DI ELASTICITA'	E =	210000	78343	N/mm ²
MOMENTO DI INERZIA (S.L.S.)	$I_{y,eff}$ =	551,48	sez. efficace	cm ⁴
DISTANZA TRA GLI APPOGGI (m)	L =	4,00	sostegno laterale intermedio ?	S
CARICO PERMANENTE / m	g =	0,724	p.p. = 0,724	p.g. = 0,600
CARICO VARIABILE UNIFORME / m	q =	3,500		kN/m
FRECCIA AMMISSIBILE	L / f_a =	250	pari a 16,00	mm
ANGOLO DI INCLINAZIONE PROFILO	$\theta =$ °	10		
SCHEMA STATICO	elemento	appoggiato		
ASCISSA DI RIFERIMENTO	X =	CAMPATA	APPOGGIO	
		2,000	4,000	m
		max M_{Ed}	max V_{Ed}	

Nella fase iniziale del progetto si considera la flangia superiore del profilo non vincolata alla lamiera grecata (“N” alla domanda “vincolo flangia sup.?”). Inoltre il profilo viene considerato vincolato torsionalmente sugli appoggi (“S” alla domanda “vincolo di appoggio?”) e provvisto di pendino di falda intermedio (“S” alla domanda “sostegno laterale intermedio?”). La freccia limite è assunta pari a $L/250$.

Le sollecitazioni sono automaticamente calcolate sia in campata che sugli appoggi sia per lo S.L.U. che per lo S.L.S. nella condizione normale e nella condizione di incendio.

La seguente parte del primo foglio di calcolo riporta le sollecitazioni calcolate nelle sezioni in campata e sugli appoggi per flessione nel piano principale e nel piano laterale:

SOLLECITAZIONI PER LO STATO LIMITE ULTIMO						
REAZIONI - MOMENTI - TAGLI	SOLLECITAZIONI PRINCIPALI		SOLLECITAZIONI LATERALI		u.m.	
REAZIONE APPOGGIO A	$R_{Av} =$	12,19	$R_{Al} =$	0,81	2,69	kN
REAZIONE APPOGGIO B	$R_{Bv} =$	12,19	$R_{Bl} =$	0,81		kN
SEZIONE DI RIFERIMENTO		SEZ. 1	SEZ. 2	SEZ. 1	SEZ. 2	
MOMENTO FLETTENTE IN X	$M_y =$	1219,43	0,00	$M_z =$	-53,75	0,00
TAGLIO A SX. DELLA SEZ. X	$T_{sx} =$	0,00	12,19	$T_{sx} =$	1,34	0,81
TAGLIO A DX. DELLA SEZ. X	$T_{dx} =$	0,00	12,19	$T_{dx} =$	1,34	0,81
SOLLECITAZIONI PER LO STATO LIMITE DI SERVIZIO						
REAZIONI - MOMENTI - TAGLI	SOLLECITAZIONI PRINCIPALI		SOLLECITAZIONI LATERALI		u.m.	
REAZIONE APPOGGIO A	$R_{Av} =$	8,32	$R_{Al} =$	0,55	1,83	kN
REAZIONE APPOGGIO B	$R_{Bv} =$	8,32	$R_{Bl} =$	0,55		kN
SEZIONE DI RIFERIMENTO		SEZ. 1	SEZ. 2	SEZ. 1	SEZ. 2	
MOMENTO FLETTENTE IN X	$M_y =$	831,97	0,00	$M_z =$	-36,67	0,00
TAGLIO A SX. DELLA SEZ. X	$T_{sx} =$	0,00	8,32	$T_{sx} =$	0,92	0,55
TAGLIO A DX. DELLA SEZ. X	$T_{dx} =$	0,00	8,32	$T_{dx} =$	0,92	0,55
SOLLECITAZIONI PER LO STATO LIMITE DI RESISTENZA AL FUOCO						
REAZIONI - MOMENTI - TAGLI	SOLLECITAZIONI PRINCIPALI		SOLLECITAZIONI LATERALI		u.m.	
REAZIONE APPOGGIO A	$RAv =$	4,87	$RAI =$	0,46	1,55	kN
REAZIONE APPOGGIO B	$RBv =$	4,87	$RBI =$	0,46		kN
SEZIONE DI RIFERIMENTO		SEZ. 1	SEZ. 2	SEZ. 1	SEZ. 2	
MOMENTO FLETTENTE IN X	$M_y =$	487,28	0,00	$M_z =$	-30,96	0,00
TAGLIO A SX. DELLA SEZ. X	$T_{sx} =$	0,00	4,87	$T_{sx} =$	0,77	0,46
TAGLIO A DX. DELLA SEZ. X	$T_{dx} =$	0,00	4,87	$T_{dx} =$	0,77	0,46

Nella seguente parte del secondo foglio di calcolo sono riportate le caratteristiche del materiale del profilo e del rivestimento refrattario; sono inoltre presentate le sollecitazioni di progetto per la condizione normale e per la condizione di incendio:

PROFILO PIEGATO A FREDDO - VERIFICA SECONDO EN 1993-1-3 e EN 1991-1-2							
CON VERIFICA DI RESISTENZA AL FUOCO				SEZIONE A "C" CON BORDI IRRIGIDITI			
MATERIALE	$f_{yb} = \text{N/mm}^2$	235	$f_{va} = \text{N/mm}^2$	246,4	$f_{y\theta} = \text{N/mm}^2$	82	$\varepsilon = 1,00$
S 235 - EN 10025	$\theta_{a,cr} = ^\circ\text{C}$	350	$\theta_{a,t} = ^\circ\text{C}$	578	$c_a = \text{J/kgK}$	736	$\lambda_a = \text{W/mK}$
							34,74
NESSUN IRRIGIDIMENTO FLANGE	NESSUN IRRIGIDIM. ANIMA		SEZIONE PROTETTA		N° 3 lati esposti		
PROTEZ. TERMICA	IN ADERENZA LUNGO IL CONTORNO		ρ_p (kg/m ³)	λ_p (W/mK)	c_p (J/kgK)	SPESS. (mm)	14,00
	cemento e vermic. ad alta densità		550	0,12	1100	REI	R 30
S.L.U.	SOLLECITAZIONI IN CONDIZIONI NORMALI			S.L.U.	SOLLECITAZIONI PER RESISTENZA AL FUOCO		
u.m./m	SEZIONE IN CAMPATA		SEZIONE ALL'APPOGGIO	u.m./m	SEZIONE IN CAMPATA		SEZIONE ALL'APPOGGIO
kNcm	$M_{y,Ed.c} =$	1219,43	$M_{y,Ed.a} =$	0,00	kNcm	$M_{y,Ed.c.fi} =$	487,28
kN	$V_{z,Ed.c} =$	0,00	$V_{z,Ed.a} =$	12,19	kN	$V_{z,Ed.c.fi} =$	0,00
kNcm	$M_{z,Ed.c} =$	-53,75	$M_{z,Ed.a} =$	0,00	kNcm	$M_{z,Ed.c.fi} =$	-30,96
kN	$V_{y,Ed.c} =$	1,34	$V_{y,Ed.a} =$	0,81	kN	$V_{y,Ed.c.fi} =$	0,77
							0,46

Si nota che la temperatura critica del profilo di acciaio è 350°C ; tale valore è il limite imposto dalla norma per sezioni di classe 4 come più avanti dimostrato. La temperatura al tempo t del profilo è 578°C che non soddisfa la verifica nel dominio delle temperature ($> 350^\circ\text{C}$). E' quindi richiesta la verifica nel dominio delle resistenze per sollecitazioni conseguenti alla combinazione per incendio standard.

Di seguito si riportano i dati fondamentali per la verifica di resistenza al fuoco in base alla curva standard di incendio da gas.

dati per temperatura di progetto : curva standard per fuoco da gas : $\theta_g = 20 + 345 \cdot \log_{10}(8.t + 1)$	
temperatura di progetto : $\theta_g = \text{°C } 841,8$	flusso di calore netto : $h_{net} = W/m^2 \ 0$
$\Delta\theta_{a,t}$ per $\Delta t = 5\text{sec}$ acciaio : $\Delta\theta_{a,t} = \text{°C } 0,99$	gas : $\Delta\theta_{g,t} = \text{°C } 0,42$

Viene quindi eseguito il calcolo della sezione efficace attraverso i 5 step di seguito riportati ovvero partendo dalla ricerca della sezione efficace della flangia compressa, passando per la definizione della sezione efficace dell'anima e calcolando infine le caratteristiche geometriche della sezione parzializzata per flessione nel piano principale.

CALCOLO DEL MODULO DI RESISTENZA EFFICACE IN CAMPATA				
5.5.3.3 1) calcolo dell'area efficace ($A_{c,eff}$) della flangia compressa:				
$\bar{\lambda}_d = (f_{yb} / \sigma_{cr,s})^{0,5}$	$\bar{\lambda}_d = 0,500158$	tensione critica irrigid.	$\sigma_{cr,s} = 0,00$	
$\bar{\lambda}_{d,red} = (f_{yb} / \sigma_{cr,s,red})^{0,5}$	$\bar{\lambda}_{d,red} = 0,4998174$ (III° step)	spostamento verticale	$\delta = \text{mm } 0,000$	
fattore di riduz. flangia	$\rho_c = 1$ (III° step)	rigidezza molla per u.l.	$k = 1 / \delta = 0,000$	
Area eff. irrigid. flangia	$A_{s,1} = 0,000$ cm ²	dist. anima-bordo effic.	$b_1 = \text{mm } 61,097$	
Area efficace flangia	$A_{c,eff} = 2,296$ cm ²	rigidezza molla bordo	$k_c = 0,890$	
2) caratteristiche geometriche della sezione ridotta:				
Area sez. ridotta	$A_r' = 9,210$ cm ²	lunghezza di instabilità	$l_b = \text{mm } 0,000$	
Posizione baricentro	$z_G' = 99,398$ mm	parametro di instabilità	$k_w = 1,000$	
Momento di inerzia	$I_r' = 551,418$ cm ⁴	sviluppo flangia irrigidita	$b_e = \text{mm } 93,75$	
Modulo di res. superiore	$W_{y,c} = 54,812$ cm ³	Modulo di res. irrigidim.	$W_{y,s} = \text{cm}^3 \ 55,49$	
Modulo di res. inferiore	$W_{y,t} = 55,476$ cm ³	tens. di compr. irrigid.	$\sigma_{com,Ed} = 219,75$	
		Area efficace irrigidim.	$A_{s,1,red} = \text{cm}^2 \ 0$	
3) tensione nella flangia compressa :				
$\sigma_{com,Ed} = 222,47484$	$\sigma_{com,Ed,fi} = 88,90082$ N/mm ²	dist. bar. flangia compr.	$e'_c = \text{mm } 99,372$	
		$s_{eff,0} = \text{mm } 56,056148$	$s_{eff,0,fi} = \text{mm } 55,500436$	
5.5.3.4.3 4) calcolo della larghezza efficace dell'anima ($s_{eff,w}$):				
valori iniziali step 1	parte superiore	$s_{eff,1} = 56,056$ mm	4 bis) controllo larghezze efficaci :	
	parte lato sup. I° irrigid.	$s_{eff,2} = 0,000$ mm		
	parte lato inf. I° irrigid.	$s_{eff,3} = 0,000$ mm		
	parte lato sup. II° irrigid.	$s_{eff,4} = 0,000$ mm		
	parte lato inf. II° irrigid.	$s_{eff,5} = 0,000$ mm		
	parte lato asse neutro	$s_{eff,n} = 84,084$ mm		
				larghezze efficaci
				parti compresse
				$s_{eff,1} = 39,749$ mm
				$s_{eff,2} = 0,000$ mm
		$s_{eff,3} = 0,000$ mm		
		$s_{eff,4} = 0,000$ mm		
		$s_{eff,5} = 0,000$ mm		
		$s_{eff,n} = 59,623$ mm		
5) calcolo dei moduli di resistenza efficaci e del fattore di sezione per la resistenza al fuoco :				
Area sez. ridotta	$A_r'' = A_{eff} = 9,210$ cm ²	dist. bar. flangia compr.	$e''_c = \text{mm } 99,372$	
Posizione baricentro	$z_G'' = 99,398$ mm	fatt. di riduz. irrig. anima	$\chi_{d''1} = 1,000$	
Momento di inerzia	$I_r'' = 551,418$ cm ⁴	Area effic. irrigid. anima	$A_{sa,red} = \text{cm}^2 \ 0,000$	
6.1.4.1 Modulo di res. superiore	$W_{eff,c} = 54,812$ cm ³	per la resistenza al fuoco	$A_m / V = m^{-1} \ 715,5$	
Modulo di res. inferiore	$W_{eff,t} = 55,476$ cm ³		$k_{sh} = 0$	
6.1.4.2 Mod. resist. parz. plast.	$W_{pp,eff} =$ cm ³			

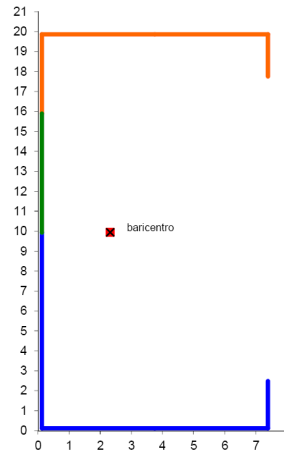
1.1.1 Alcune considerazioni sul calcolo della sezione efficace

- Il calcolo della sezione efficace della flangia compressa evidenzia un fattore di riduzione $\rho = 1$ ovvero l'intera sezione piana non irrigidita della flangia è efficace.
- Il bordo irrigidente della flangia (piega singola) ha una lunghezza efficace di **21,21 mm** preliminarmente calcolata per compressione uniforme contro una lunghezza reale di **25 mm**. Lo sviluppo della flangia compressa irrigidita è quindi **93,75 mm**
- La tensione di compressione nella flangia compressa della sezione ridotta consente di calcolare la lunghezza efficace iniziale della parte superiore dell'anima compressa $s_{\text{eff},0} = 0,76 \cdot t \cdot [E / (\gamma_{M0} \cdot \sigma_{\text{com.Ed}})]^{0,5} = 56,056 \text{ mm}$; la lunghezza efficace iniziale della parte di anima vicino all'asse neutro è data da $s_{\text{eff},n} = 1,5 \cdot s_{\text{eff},0}$. Poiché tali lunghezze sono maggiori di quelle effettive l'intera sezione dell'anima compressa è efficace; viene quindi eseguita la riduzione delle parti di anima collaboranti da una parte con la flangia superiore e dall'altra, verso l'asse neutro, con la parte tesa dell'anima. Tali lunghezze efficaci sono riportate al passo 4bis del procedimento sopra illustrato.
- La sezione efficace del profilo per flessione nel piano principale prevede la sola riduzione della lunghezza efficace dell'irrigidimento di bordo compresso. I moduli di resistenza calcolati al passo 5 sono quindi di poco inferiori a quelli calcolati per la sezione lorda.

A scopo informativo si riporta di seguito il calcolo iterativo eseguito dal programma CZformEC3 per il calcolo dei fattori di riduzione ρ delle parti piane e χ_d degli irrigidimenti di flangia e anima.

fattore di riduzione :		irrigidimenti flangia :		$\chi_{d,s} = 1,00000$	bordo :	$\chi_{d,c} = 0,99304$	
		irrigidimenti anima :		$\chi_{d,sa} = 1,00000$	sbalzo :	$\chi_{d,e} = 1,00000$	
N° 3 passi di iterazione	flangia sup.	$\rho_c' = 1$	$\chi_d' = 1$	$\lambda_{p,1}' = 0,500158$	$\rho_{s,1}' = 1$		
		$\rho_c'' = 1$	$\chi_d'' = 1$	$\lambda_{p,2}' = 0,500158$	$\rho_{s,2}' = 1$		
		$\rho_c''' = 1$	$\chi_d''' = 1$	$\lambda_{p,1}'' = 0,500158$	$\rho_{s,1}'' = 1$		
	anime	$\rho_c' = 1$	$\chi_d' = 0,9930435$	$\lambda_{p,2}'' = 0,500158$	$\rho_{s,2}'' = 1$		
		$\chi_d' = 1$	$\chi_d'' = 0,9930435$	$\lambda_{p,1}''' = 0,500158$	$\rho_{s,1}''' = 1$		
	$s_1, s_2 = \text{mm}$	0	0,00000	$\lambda_{p,2}''' = 0,500158$	$\rho_{s,2}''' = 1$		
	parti non irrigidite	flangia	$\bar{\lambda}_d' = 0,4998174$	$\bar{\lambda}_d'' = 0,4998174$	$\bar{\lambda}_d''' = 0,4998174$		
		anime	$\bar{\lambda}_d' = 0,5892717$				
	parti irrigidite	flangia	$\bar{\lambda}_d' = 0$	$\bar{\lambda}_d'' = 0$	$\bar{\lambda}_d''' = 0$		
		anime	$\bar{\lambda}_d' = 0$				
bordo irrigidito	bordo	$\bar{\lambda}_d' = 0,6596909$	$\bar{\lambda}_d'' = 0,6596909$	$\bar{\lambda}_d''' = 0,6596909$			
parti non irrigidite	$\sigma_{cr,c} = k_{\sigma,p} \cdot \pi^2 \cdot E \cdot t^2 / [12 \cdot (1-\nu^2) \cdot b^2]$	flangia	$\sigma_{cr,c} = 940,687$	flangia	I° step	III° step	
$k_{\sigma,p,flangia} = 4$	$k_{\sigma,p,anima} = 23,568$	anime	$\sigma_{cr,ca} = 676,763$	anime			
parti irrigidite	$\sigma_{cr,s} = 2 \cdot (k \cdot E \cdot I_s)^{0,5} / A_s$	flangia	$\sigma_{cr,s} = 0,000$	flangia			
	$\sigma_{cr,sa} = 1,05 \cdot k_f \cdot E / A_{sa} \cdot [I_{sa,1} \cdot t^3 \cdot s_i]^{0,5} / A_w$	anime	$\sigma_{cr,sa} = 0,000$	anime			
	$\sigma_{cr,sb} = 2 \cdot (k_c \cdot E \cdot I_{sb})^{0,5} / A_{sb}$	bordo	$\sigma_{cr,sb} = 539,992$	bordo			

Si nota che il solo fattore di riduzione < 1 è quello relativo all'irrigidimento di bordo: il valore $\chi_d = 0,993$ è ottenuto già alla prima iterazione. La sezione efficace è automaticamente disegnata in scala:



In base alle caratteristiche della sezione efficace viene eseguita la verifica di resistenza della sezione in campata soggetta a taglio e flessione nel piano principale sia per la condizione normale che per la condizione di incendio. Il calcolo è eseguito in campo elastico poichè lo snervamento è raggiunto prima al lembo compresso come risulta dal rapporto dei moduli di resistenza della sezione efficace che genera un valore di $\psi < 1$.

SEZIONE IN CAMPATA - EFFETTI DELLA SOLA FLESSIONE PRINCIPALE E TAGLIO				normale	fuoco			
Area resistente a taglio :		$A_v = h_w / \text{sen } \phi \cdot t$		= cm ²	4,859	4,859		
Limite di resistenza a taglio :		$V_{w,Rd} = A_v \cdot f_{bv} / \gamma_{Mo}$		= kN	57,66	21,88		
$\phi_w =$	90,00	$g_{rw} =$ mm	2,5569578	$s_w =$ mm	192,426	$f_{bv} =$ N/mm ²	124,59	45,02
$k_r =$	5,340	$s_d =$ mm	192,426	$s_p =$ mm	-5,114	$\bar{\lambda}_w =$	0,9054	0,8770
$V_{Ed} =$	0,000 kN	< 50%	$V_{w,Rd}$	incremento	$R_i = (1 - M_{f,Rd} / M_{pl,Rd}) \cdot (2 \cdot V_{Ed} / V_{w,Rd} - 1)^2 =$		0,00	0,00
Rapporto tensioni : $\psi =$		-0,98789		≥ -3	$\gamma_{Mo} =$	1,05	$\gamma_{M,fi} =$	1,00
Rapp. Moduli efficaci		0,9880384			$f_{yb} / \gamma_{Mo} =$	223,81	$f_{ye} / \gamma_{M,fi} =$	82,25
								N/mm ²
$W_{eff} = W_{el} \rightarrow$		classe 3			snellezza dell'elemento	$\lambda =$	0,4998174	0,484132
$W_{eff} < W_{el} \rightarrow$		classe 4			snellezza elastica	$\lambda_{el} =$	0,8732747	0,873275
classe della sezione		4			$r = \lambda / \lambda_{el}$	grado di utilizzo a $t = 0$: $\mu_o =$		0,397
LEMBO COMPR	normale	$M_{y,c,Rd} =$	$f_{yb} / \gamma_{Mo} \cdot W_{eff,c}$	$M_{y,Ed} / M_{y,c,Rd} =$	0,994	< 1		
	fuoco	$M_{y,fi,Rd} =$	$f_{ye} / \gamma_{M,fi} / k \cdot W_{eff,c}$	$M_{y,Ed,fi} / M_{y,fi,Rd} =$	0,919	< 1		
LEMBO TESO	normale	$M_{y,t,Rd} =$	$f_{yb} / \gamma_{Mo} \cdot W_{eff,t}$	$M_{y,Ed} / M_{y,t,Rd} =$	0,982	< 1		
	fuoco	$M_{y,fi,Rd} =$	$f_{ye} / \gamma_{M,fi} / k \cdot W_{eff,t}$	$M_{y,Ed,fi} / M_{y,fi,Rd} =$	0,908	< 1		
$(M_{Ed} / M_{Rd})_{max} + R_i =$		0,994		< 1	$(M_{Ed,fi} / M_{V,Rd,fi})_{max} + R_i =$	0,919	< 1	

La verifica di resistenza sugli appoggi riguarda l'interazione momento (nullo)-reazione con il seguente risultato per le due condizioni di progetto, normale e incendio, e per una larghezza di 10 mm dell'appoggio.

SEZIONE ALL'APPOGGIO - EFFETTI DELLA FLESSIONE PRINCIPALE, TAGLIO E REAZIONE											
Area resistente a taglio :					$A_v = h_w / \sin \phi \cdot t$	= cm ²	normale	fuoco			
Limite di resistenza a taglio :					$V_{w,Rd} = A_v \cdot f_{bv} / \gamma_{Mo}$	= kN	4,859	4,859	57,66	21,88	
$\phi_w =$	90,00	$g_{fw} =$	mm	2,5569578	$s_w =$	mm	192,426	$f_{bv} =$	N/mm ²	124,59	45,02
$k_r =$	5,340	$s_d =$	mm	192,426	$s_p =$	mm	192,426	$\bar{\lambda}_w =$		0,9054	0,8770
$V_{Ed} =$	12,194	kN	< 50%	$V_{w,Rd}$	incremento	$R_i = (1 - M_{f,Rd} / M_{pl,Rd}) \cdot (2 \cdot V_{Ed} / V_{w,Rd} - 1)^2 =$	0,00	0,00	0,00	0,00	
$F_{Ed} =$	12,194	kN	$I_s =$	10	mm	resistenza dell'anima all'appoggio	$R_{w,Rd} =$	kN	15,00	5,51	
Rapporto tensioni : $\psi =$					-0,9878903	>= -3	$f_{yb} / \gamma_{Mo} =$	223,81	$f_{ye} / \gamma_{M,fi} =$	82,25	N/mm ²
Rapp. Moduli efficaci					1,0121064		snellezza dell'elemento $\lambda =$		0,4998174	0,4841321	
$W_{eff} = W_{el} \rightarrow$					classe 3		snellezza elastica $\lambda_{el} =$		0,8732747	0,8732747	
$W_{eff} < W_{el} \rightarrow$					classe 4		$r = \lambda / \lambda_{el}$		grado di utilizzo a $t = 0 : \mu_0 =$		0,000
classe della sezione					4						
LEMBO COMPR	normale	$M_{y,c,Rd} =$	$f_{yb} / \gamma_{Mo} \cdot W_{eff,c}$	$M_{y,Ed} / M_{y,c,Rd} =$	0,000	< 1					
	fuoco	$M_{y,fi,Rd} =$	$f_{yb} / \gamma_{M,fi} / k \cdot W_{eff,c}$	$M_{y,Ed,fi} / M_{y,fi,Rd} =$	0,000	< 1					
LEMBO TESO	normale	$M_{y,t,Rd} =$	$f_{yb} / \gamma_{Mo} \cdot W_{pp,eff}$	$M_{y,Ed} / M_{y,t,Rd} =$	0,000	< 1					
	fuoco	$M_{y,fi,Rd} =$	$f_{yb} / \gamma_{M,fi} / k \cdot W_{pp,eff}$	$M_{y,Ed,fi} / M_{y,fi,Rd} =$	0,000	< 1					
$(M_{Ed} / M_{Rd})_{max} + R_i =$					0,000	< 1	$(M_{Ed,fi} / M_{v,Rd,fi})_{max} + R_i =$				
$(M_{Ed} / M_{Rd})_{max} + F_{Ed} / R_{w,Rd} =$					0,813	<= 1,25	$(M_{Ed,fi} / M_{fi,0,Rd})_{max} + F_{Ed,fi} / R_{w,Rd,fi} =$				
							0,884 <= 1,25				

Analogo calcolo è eseguito per la **flessione laterale** tenendo conto che, avendo considerato il profilo non solidarizzato alla lamiera grecata di copertura, questo risulta soggetto ad uno stato di flessione-torsione. La torsione si trasforma in sollecitazioni parallele alle due flange generando una flessione laterale locale della flangia compressa libera che si somma alla flessione laterale generale.

Considerando la lamiera grecata comunque fissata al profilo ogni 2 greche ma con fissaggio non "garantito" ovvero con viti di diametro minore di 6,3 mm e rondelle non a norma, devono essere definite le caratteristiche principali della lamiera grecata per ottenere una minima riduzione dell'effetto torcente ovvero

flangia minore della lamiera grecata sul profilo ?	(S o N)	S
larghezza della flangia collegata al profilo	$b_T =$ mm	50
interasse greche lamiera grecata	$b_R =$ mm	150
collegamento lamiera-profilo su fondo greca ?	(S o N)	S
passo dei collegamenti (b_R o $2 \cdot b_R$)	$e =$ mm	300

Tali caratteristiche consentono il calcolo del momento flettente laterale che sollecita la flangia compressa "libera" del profilo

CALCOLO DEI PARAMETRI E DEL MOMENTO FLETTENTE LATERALE PER TORSIONE :					
$C_D =$	7101,18	Nm/m	$b_{mod} =$	36,27	mm >= 25 mm
$R =$	0,12586	$K_{R,m} =$	0,95629	$K_{R,e} =$	0
			$M_{fz,Ed} = K_R \cdot M_{0,fz,Ed}$		
$M_{0,fz,Ed} =$	sez. 1		sez. 2		
	-54,63	kNcm	0,00	kNcm	
$M_{fz,Ed} =$	sez. 1		sez. 2		
	-52,24	kNcm	0,00	kNcm	

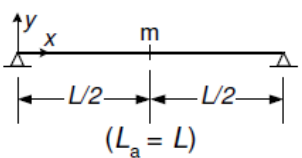
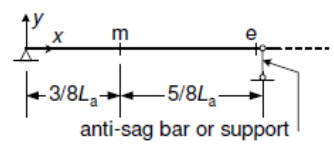
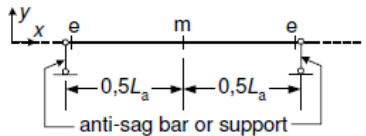
Si può notare che rispetto al momento laterale locale della sezione libera (sez 1 nel punto di aggancio del pendino in campata) pari a **54,63 kNcm**, il momento laterale locale ridotto per il parziale ritegno della lamiera grecata è pari a **52,24 kNcm**. E' evidente che a favore di sicurezza o quando non sono note le caratteristiche della lamiera grecata ed il tipo di fissaggio realizzato si può

tenere in conto il valore massimo del momento flettente laterale locale.

I valori del momento flettente laterale locale massimo ed il fattore di riduzione per l'ancoraggio normativo del profilo alla lamiera grecata sono riportati nella seguente tabella estratta dalla norma EN 1993-1-3.

Il fattore di riduzione κ_R richiede la conoscenza delle informazioni sul collegamento profilo-lamiera sopra riportate.

Table 10.1: Values of initial moment $M_{0,z,Ed}$ and correction factor κ_R

System	Location	$M_{0,z,Ed}$	κ_R
 <p style="text-align: center;">$(L_a = L)$</p>	m	$\frac{1}{8} q_{h,Ed} L_a^2$	$\kappa_R = \frac{1 - 0,0225R}{1 + 1,013R}$
 <p style="text-align: center;">anti-sag bar or support</p>	m	$\frac{9}{128} q_{h,Ed} L_a^2$	$\kappa_R = \frac{1 - 0,0141R}{1 + 0,416R}$
	e	$-\frac{1}{8} q_{h,Ed} L_a^2$	$\kappa_R = \frac{1 + 0,0314R}{1 + 0,396R}$
 <p style="text-align: center;">anti-sag bar or support</p>	m	$\frac{1}{24} q_{h,Ed} L_a^2$	$\kappa_R = \frac{1 - 0,0125R}{1 + 0,198R}$
	e	$-\frac{1}{12} q_{h,Ed} L_a^2$	$\kappa_R = \frac{1 + 0,0178R}{1 + 0,191R}$

Il caso in esame rientra nella seconda tipologia per la locazione “e” ovvero in corrispondenza del pendino intermedio (*anti-sag bar*) dove il momento principale è massimo.

Nel calcolo della sezione efficace per flessione laterale è importante definire come è ruotato il profilo rispetto all'asse verticale poiché la parte compressa potrebbe essere l'anima oppure gli irrigidimenti di bordo. Nell'ipotesi che il montaggio possa avvenire (per ragioni pratiche di appoggio sui riscontri di estremità) con l'anima (schiena del profilo a C) rivolta verso il basso, il pendino intermedio genera un comportamento statico laterale di trave su 3 appoggi portando in compressione l'anima del profilo e generando quindi la parzializzazione che si nota nella seguente figura.

La posizione indicata non è ottimale però dal punto di vista della durabilità poiché depositi e condense che si raccolgono facilmente nell'incavo tra anima e flangia inferiore possono generare corrosione della lamiera più facilmente che se il profilo fosse ruotato di 180° intorno al suo asse verticale.

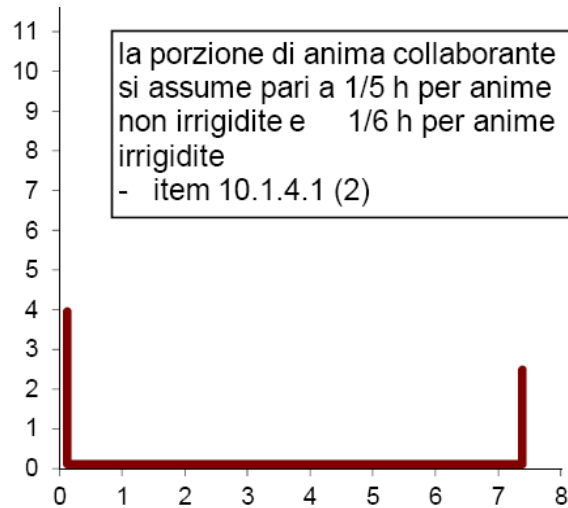


Nel dubbio di posizionamento reale il programma CZformEC3 considera la situazione staticamente peggiore ovvero quella che genera la massima parzializzazione della sezione. Tralasciando il calcolo della sezione efficace per flessione laterale si riporta di seguito la verifica di resistenza che tiene conto anche della flessione laterale locale della flangia compressa.

SEZIONE IN CAMPATA - EFFETTI DELLA SOLA FLESSIONE LATERALE E TAGLIO					
flangia superiore libera - si considera l'effetto combinato per torsione e flessione laterale				normale	fuoco
Area resistente a taglio :		$A_v = 2 \cdot h_f \cdot t$		= cm ²	3,569
Limite di resistenza a taglio :		$V_{w,Rd} = A_v \cdot f_{bv} / \gamma_{M0}$		= kN	46,33
$\phi_f =$	90,00	$g_{rf} =$ mm	2,5569578	$s_f =$ mm	67,426
$k_f =$	5,340	$s_d =$ mm	67,426	$s_p =$ mm	69,983
$V_{Ed} =$		1,344 kN	< 50% $V_{w,Rd}$	incremento $R_i = (1 - M_{f,Rd} / M_{pl,Rd}) \cdot (2 \cdot V_{Ed} / V_{w,Rd} - 1)^2 =$	0,00
Rapporto tensioni : $\psi =$		-1,598075	≥ -3	$f_{yb} / \gamma_{M0} =$	223,81
Rapp. Moduli efficaci		1,5728397		$M_{fz,Rd} =$	204,82
$W_{eff} = W_{el} \rightarrow$		classe 3		$f_{ye} / \gamma_{M,fi} =$	82,25
$W_{eff} < W_{el} \rightarrow$		classe 4		$M_{fz,Rd,fi} =$	75,28
classe della sezione		4		snellezza dell'elemento $\lambda =$	1,3938032
				snellezza elastica $\lambda_{el} =$	0,9158054
				$r = \lambda / \lambda_{el}$	1,5000000
				grado di utilizzo a $t = 0 : \mu_0 =$	0,106
LATO ANIMA	normale	$M_{z,c,Rd} = f_{yb} / \gamma_{M0} \cdot W_{eff,c}$	$M_{z,Ed} / M_{z,c,Rd} =$	0,117	< 1
	fuoco	$M_{z,fi,Rd} = f_{yb} / \gamma_{M,fi} / k \cdot W_{eff,c}$	$M_{z,Ed,fi} / M_{z,fi,Rd} =$	0,155	< 1
LATO BORDO	normale	$M_{z,t,Rd} = f_{yb} / \gamma_{M0} \cdot W_{eff,t}$	$M_{z,Ed} / M_{z,t,Rd} =$	0,183	< 1
	fuoco	$M_{z,fi,Rd} = f_{ye} / \gamma_{M,fi} / k \cdot W_{eff,t}$	$M_{z,Ed,fi} / M_{z,fi,Rd} =$	0,244	< 1
$(M_{Ed} / M_{Rd} + M_{fz,Ed} / M_{fz,Rd}) + R_i =$		0,438		< 1	
$(M_{Ed,fi} / M_{Rd,fi} + M_{fz,Ed,fi} / M_{fz,Rd,fi}) + R_i =$		0,938		< 1	

L'incremento R_i per la presenza del taglio non è considerato poiché il taglio V_{Ed} non supera il 50% della resistenza a taglio $V_{w,Rd}$.

Il momento resistente locale della flangia compressa (204,82 kNm per la condizione normale) è calcolato considerando flangia e irrigidimento di bordo uniti ad una porzione di anima secondo lo schema di seguito riportato:



Il risultato complessivo della verifica di resistenza è di seguito riportato:

VERIFICA DI RESISTENZA GLOBALE			
SEZIONE IN CAMPATA - EFFETTI DELLA FLESSIONE PRINCIPALE , LATERALE E TAGLIO			
in condizioni normali	$M_{y,Ed} / M_{y,Rd} + M_{z,Ed} / M_{z,Rd} + M_{fz,Ed} / M_{fz,Rd} + R_i =$	1,432	< 1
in condizioni di fuoco	$[M_{y,Ed} / M_{y,Rd} + M_{z,Ed} / M_{z,Rd} + M_{fz,Ed} / M_{fz,Rd} + R_i]_{fi} =$	1,857	< 1
SEZIONE ALL'APPOGGIO - EFFETTI DELLA FLESSIONE PRINCIPALE , LATERALE , TAGLIO E REAZIONE			
in condizioni normali	$M_{y,Ed} / M_{y,Rd} + M_{z,Ed} / M_{z,Rd} + M_{fz,Ed} / M_{fz,Rd} + R_i =$	0,000	< 1
in condizioni di fuoco	$[M_{y,Ed} / M_{y,Rd} + M_{z,Ed} / M_{z,Rd} + M_{fz,Ed} / M_{fz,Rd} + R_i]_{fi} =$	0,000	< 1
INTERAZIONE MOMENTO-REAZIONE VERTICALE			
in condizioni normali	$M_{y,Ed} / M_{y,Rd} + R_i + (F_{Ed}/R_{w,Rd})_v =$	0,813	< 1,25
in condizioni di fuoco	$[M_{y,Ed} / M_{y,Rd} + R_i + (F_{Ed}/R_{w,Rd})_v]_{fi} =$	0,884	< 1,25

E' evidente che la situazione di progetto considerata non consente di soddisfare le verifiche di resistenza né per la condizione normale né per la condizione di incendio. Anche la verifica di resistenza combinata per taglio e torsione non risulta soddisfatta come dimostrato dalla seguente parte di un foglio di calcolo del programma CZformEC3

VERIFICA A TAGLIO , TORSIONE E COMBINATA

$$\tau_{\text{tot,Ed}} \leq [f_{ya} / (3)^{0,5}] / \gamma_{M0}$$

$$\tau_{\text{tot,Ed}} = \tau_{V,y,Ed} + \tau_{V,z,Ed} + \tau_{t,Ed} + \tau_{w,Ed}$$

lunghezza adimensionale caratteristica della trave $k = L \cdot [G \cdot I_t / E \cdot I_w]^{0,5} = 0,0045818 < 0,5$

per $k < 0,5$ si considera l'effetto della torsione per puro ingobbamento ($\tau_{w,Ed}$ e non $\tau_{t,Ed}$)

	normale	fuoco		normale	fuoco
$\tau_{V,z,Ed} =$	2,5093782 kN/cm ²	1,0027461 kN/cm ²			
$\tau_{V,y,Ed} =$	0,2259247 kN/cm ²	0,1301351 kN/cm ²			
$\tau_{w,Ed} =$	11,913 kN/cm ²	5,0858286 kN/cm ²	per $M_t =$	52,08	22,23 kNcm
$\tau_{t,Ed} =$	1,72E-06 kN/cm ²	9,91E-07 kN/cm ²	per $\varphi =$	3,497E-07	2,014E-07
$\tau_{\text{tot,Ed}} =$	14,65 kN/cm ²	6,22 kN/cm ²			
	↓	↓			
$\tau_{\text{tot,Rd}} =$	13,55 kN/cm ²	4,74 kN/cm ²			
$[\sigma_{\text{tot,Ed}}^2 + 3 \cdot \tau_{\text{tot,Ed}}^2]^{0,5} \leq 1,1 \cdot f_{ya} / \gamma_{M0}$			$\sigma_{\text{id,Ed}} =$	25,37	10,77 kN/cm ²
				↓	↓
			$\sigma_{\text{tot,Rd}} =$	25,81	9,03 kN/cm ²

Il passaggio successivo della verifica dell'arcareccio è considerare efficace il collegamento con la lamiera grecata di copertura in modo da eliminare gli effetti della flessione laterale generale e locale.

Tale condizione è attivata nel programma CZformEC3 rispondendo "S" alla domanda "vincolo flangia sup. ?". Di seguito viene riprodotto il foglio di verifica di resistenza globale della sezione sia per flessione principale che per taglio e torsione combinati.

VERIFICA DI RESISTENZA GLOBALE				
SEZIONE IN CAMPATA - EFFETTI DELLA FLESSIONE PRINCIPALE , LATERALE E TAGLIO				
in condizioni normali	$M_{y,Ed} / M_{y,Rd} + M_{z,Ed} / M_{z,Rd} + M_{fz,Ed} / M_{fz,Rd} + R_i =$	0,994	< 1	
in condizioni di fuoco	$[M_{y,Ed} / M_{y,Rd} + M_{z,Ed} / M_{z,Rd} + M_{fz,Ed} / M_{fz,Rd} + R_i]_{fi} =$	0,919	< 1	
SEZIONE ALL'APPOGGIO - EFFETTI DELLA FLESSIONE PRINCIPALE , LATERALE , TAGLIO E REAZIONE				
in condizioni normali	$M_{y,Ed} / M_{y,Rd} + M_{z,Ed} / M_{z,Rd} + M_{fz,Ed} / M_{fz,Rd} + R_i =$	0,000	< 1	
in condizioni di fuoco	$[M_{y,Ed} / M_{y,Rd} + M_{z,Ed} / M_{z,Rd} + M_{fz,Ed} / M_{fz,Rd} + R_i]_{fi} =$	0,000	< 1	
INTERAZIONE MOMENTO-REAZIONE VERTICALE				
in condizioni normali	$M_{y,Ed} / M_{y,Rd} + R_i + (F_{Ed}/R_{w,Rd})_v =$	0,813	< 1,25	
in condizioni di fuoco	$[M_{y,Ed} / M_{y,Rd} + R_i + (F_{Ed}/R_{w,Rd})_v]_{fi} =$	0,884	< 1,25	
INTERAZIONE MOMENTO-REAZIONE LATERALE				
in condizioni normali	$M_{z,Ed} / M_{z,Rd} + R_i + (F_{Ed}/R_{w,Rd})_l =$	0,060	< 1,25	
in condizioni di fuoco	$[M_{z,Ed} / M_{z,Rd} + R_i + (F_{Ed}/R_{w,Rd})_l]_{fi} =$	0,094	< 1,25	
VERIFICA A TAGLIO , TORSIONE E COMBINATA				
$\tau_{tot,Ed} \leq [f_{ya} / (3)^{0,5}] / \gamma_{M0}$				
$\tau_{tot,Ed} = \tau_{V,y,Ed} + \tau_{V,z,Ed} + \tau_{t,Ed} + \tau_{w,Ed}$				
lunghezza adimensionale caratteristica della trave $k = L \cdot [G \cdot I_t / E \cdot I_w]^{0,5} = 0,0045818 < 0,5$				
per $k < 0,5$ si considera l'effetto della torsione per puro ingobbamento ($\tau_{w,Ed}$ e non $\tau_{t,Ed}$)				
	normale	fuoco		
$\tau_{V,z,Ed} =$	2,5093782 kN/cm ²	1,0027461 kN/cm ²		
$\tau_{V,y,Ed} =$	0,2259247 kN/cm ²	0,1301351 kN/cm ²	normale	fuoco
$\tau_{w,Ed} =$	10,068448 kN/cm ²	4,0233461 kN/cm ²	per $M_t =$	44,01 17,59 kNcm
$\tau_{t,Ed} =$	1,72E-06 kN/cm ²	9,91E-07 kN/cm ²	per $\varphi =$	3,497E-07 2,014E-07
$\tau_{tot,Ed} =$	12,80 kN/cm ²	5,16 kN/cm ²		
	↓	↓		
$\tau_{tot,Rd} =$	13,55 kN/cm ²	4,74 kN/cm ²		
$[\sigma_{tot,Ed}^2 + 3 \cdot \tau_{tot,Ed}^2]^{0,5} \leq 1,1 \cdot f_{ya} / \gamma_{M0}$			normale	fuoco
			22,18	8,93 kN/cm ²
			↓	↓
$\sigma_{tot,Rd} =$	25,81	9,03 kN/cm ²		

Solo la verifica in condizioni di incendio non è soddisfatta per l'effetto combinato taglio-torsione ma aumentando a 15 mm lo spessore del materiale isolante si ha la seguente situazione in cui la modesta variazione della tensioni della condizione normale sono dovute all'incremento di peso dello strato isolante.

VERIFICA DI RESISTENZA GLOBALE			
SEZIONE IN CAMPATA - EFFETTI DELLA FLESSIONE PRINCIPALE , LATERALE E TAGLIO			
in condizioni normali	$M_{y,Ed} / M_{y,Rd} + M_{z,Ed} / M_{z,Rd} + M_{fz,Ed} / M_{fz,Rd} + R_i =$	0,995	< 1
in condizioni di fuoco	$[M_{y,Ed} / M_{y,Rd} + M_{z,Ed} / M_{z,Rd} + M_{fz,Ed} / M_{fz,Rd} + R_i]_{fi} =$	0,790	< 1
SEZIONE ALL'APPOGGIO - EFFETTI DELLA FLESSIONE PRINCIPALE , LATERALE , TAGLIO E REAZIONE			
in condizioni normali	$M_{y,Ed} / M_{y,Rd} + M_{z,Ed} / M_{z,Rd} + M_{fz,Ed} / M_{fz,Rd} + R_i =$	0,000	< 1
in condizioni di fuoco	$[M_{y,Ed} / M_{y,Rd} + M_{z,Ed} / M_{z,Rd} + M_{fz,Ed} / M_{fz,Rd} + R_i]_{fi} =$	0,000	< 1
INTERAZIONE MOMENTO-REAZIONE VERTICALE			
in condizioni normali	$M_{y,Ed} / M_{y,Rd} + R_i + (F_{Ed}/R_{w,Rd})_v =$	0,813	< 1,25
in condizioni di fuoco	$[M_{y,Ed} / M_{y,Rd} + R_i + (F_{Ed}/R_{w,Rd})_v]_{fi} =$	0,760	< 1,25
INTERAZIONE MOMENTO-REAZIONE LATERALE			
in condizioni normali	$M_{z,Ed} / M_{z,Rd} + R_i + (F_{Ed}/R_{w,Rd})_l =$	0,060	< 1,25
in condizioni di fuoco	$[M_{z,Ed} / M_{z,Rd} + R_i + (F_{Ed}/R_{w,Rd})_l]_{fi} =$	0,081	< 1,25
VERIFICA A TAGLIO , TORSIONE E COMBINATA			
$\tau_{tot,Ed} \leq [f_{ya} / (3)^{0,5}] / \gamma_{M0}$			
$\tau_{tot,Ed} = \tau_{V,y,Ed} + \tau_{V,z,Ed} + \tau_{t,Ed} + \tau_{w,Ed}$			
lunghezza adimensionale caratteristica della trave $k = L \cdot [G \cdot I_t / E \cdot I_w]^{0,5} = 0,0045818 < 0,5$			
per $k < 0,5$ si considera l'effetto della torsione per puro ingobbamento ($\tau_{w,Ed}$ e non $\tau_{t,Ed}$)			
	normale	fuoco	
$\tau_{V,z,Ed} =$	2,5114859 kN/cm ²	1,0043674 kN/cm ²	
$\tau_{V,y,Ed} =$	0,2261144 kN/cm ²	0,1303249 kN/cm ²	normale fuoco
$\tau_{w,Ed} =$	10,076905 kN/cm ²	4,0298511 kN/cm ²	per $M_t =$ 44,05 17,62 kNcm
$\tau_{t,Ed} =$	1,722E-06 kN/cm ²	9,924E-07 kN/cm ²	per $\varphi =$ 3,5E-07 2,017E-07
$\tau_{tot,Ed} =$	12,81 kN/cm ²	5,16 kN/cm ²	
	↓	↓	
$\tau_{tot,Rd} =$	13,55 kN/cm ²	5,52 kN/cm ²	
$[\sigma_{tot,Ed}^2 + 3 \cdot \tau_{tot,Ed}^2]^{0,5} \leq 1,1 \cdot f_{ya} / \gamma_{M0}$			normale fuoco
			$\sigma_{id,Ed} =$ 22,20 8,95 kN/cm ²
			↓ ↓
			$\sigma_{tot,Rd} =$ 25,81 10,52 kN/cm ²

La verifica di deformazione risulta soddisfatta come dimostrato dal seguente foglio di calcolo in cui si evidenzia il ricalcolo della sezione efficace poichè la tensione di compressione nella flangia, resa efficace, deve essere calcolata per lo S.L.S.. L'inerzia di riferimento è ottenuta per interpolazione

tra sezione efficace e sezione lorda.

CALCOLO DEL MOMENTO DI INERZIA DELLA SEZIONE EFFICACE PER LO STATO LIMITE DI SERVIZIO						
5.5.3.4.2 1) calcolo dell'area efficace ($A_{c,eff}$) della flangia compressa:						
$\bar{\lambda}_p = (f_{yb} / \sigma_{cr,s})^{0,5}$	$\bar{\lambda}_p =$	0,500158	tensione critica irrigid.	$\sigma_{cr,s} =$	0,00	
$\bar{\lambda}_d = (f_{yb} / \sigma_{cr,s,rid})^{0,5}$	$\bar{\lambda}_{p,red} =$	0,4998174 (III° step)	spostamento verticale	$\delta =$ mm	0,000	
fattore di riduz. flangia	$\rho_c =$	1 (III° step)	rigidezza molla per u.I.	$k = 1 / \delta =$	0,000	
Area eff. irrigid. flangia	$A_{s,1} =$	0 cm ²	dist. anima-bordo eff.	$b_1 =$ mm	44,477	
Area efficace flangia	$A_{c,eff} =$	2,2964878 cm ²	rigidezza molla bordo	$k_c =$	1,794	
2) caratteristiche geometriche della sezione ridotta:						
Area sez. ridotta	$A_r' =$	9,210 cm ²	lunghezza di instab.	$l_D =$ mm	0,000	
Posizione baricentro	$z_G' =$	99,398 mm	parametro di instab.	$k_w =$	1,000	
Momento di inerzia	$I_r' =$	551,418 cm ⁴	sviluppo flangia irrig.	$b_e =$ mm	95,67	
Modulo di res. superiore	$W_{y,c} =$	54,812 cm ³	Modulo di res. irrigidim.	$W_{y,s} =$ cm ³	55,49	
Modulo di res. inferiore	$W_{y,t} =$	55,476 cm ³	tens. di compr. irrigid.	$\sigma_{com.Ed} =$	150,07	
			Area efficace irrigidim.	$A_{s,1,red} =$ cm ²	0	
3) tensione nella flangia compressa per S.L.S.:						
	$\sigma_{com.Ed,ser} =$	151,929 N/mm ²	dist. bar. flangia compr.	$e'_c =$ mm	99,372	
			largh. efficace iniziale	$s_{eff,0} =$ mm	67,833336	
5.5.3.4.3 4) calcolo della larghezza efficace delle anime ($s_{eff,w}$):						
valori iniziali step 1	parte superiore	$s_{eff,1} =$	67,833 mm	} larghezze efficaci parti compresse	$s_{eff,1} =$	39,749 mm
	parte lato sup. I° irrigid.	$s_{eff,2} =$	0,000 mm		$s_{eff,2} =$	0,000 mm
	parte lato inf. I° irrigid.	$s_{eff,3} =$	0,000 mm		$s_{eff,3} =$	0,000 mm
	parte lato sup. II° irrigid.	$s_{eff,4} =$	0,000 mm		$s_{eff,4} =$	0,000 mm
	parte lato inf. II° irrigid.	$s_{eff,5} =$	0,000 mm		$s_{eff,5} =$	0,000 mm
	parte lato asse neutro	$s_{eff,n} =$	101,760 mm		$s_{eff,n} =$	59,623 mm
4 bis) controllo larghezze efficaci:						
5) calcolo dei moduli di resistenza efficaci						
Area sez. ridotta	$A_r' = A_{eff} =$	9,210 cm ²	dist. bar. flangia compr.	$e''_c =$ mm	100,802	
Posizione baricentro	$z_G'' =$	99,398 mm	fatt. di riduz. irrig. anima	$\chi_d''' =$	1,000	
Momento di inerzia	$I_r'' =$	551,418 cm ⁴	Area eff. irrigid. anima	$A_{s,1,red} =$ cm ²	0,000	
8.1.4.1 Modulo di res. superiore	$W_{eff,c} =$	54,812 cm ³				
8.1.4.2 Modulo di res. inferiore	$W_{eff,t} =$	55,476 cm ³				
8.1.4.2 Mod. resist. parz. plast.	$W_{sp,eff} =$					
6) interpolazione tra sezione efficace e sezione lorda						
7.1 (3)	$I_{fic} = I_{gr} - \frac{\sigma_{gr}}{\sigma} (I_{gr} - I(\sigma)_{eff})$					
	$I_{gr} =$	555,698 cm ⁴	momento di inerzia della sezione lorda			
	$I_{\sigma(eff)} =$	551,418 cm ⁴	momento di inerzia della sezione efficace			
	$\sigma_{gr} =$	149,86 N/mm ²	tensione di compressione max della sezione lorda per lo S.L.S.			
	$\sigma =$	151,93 N/mm ²	tensione di compressione max della sezione efficace per lo S.L.S.			
	$I_{fic} =$	551,476 cm ⁴				
VERIFICA DI DEFORMAZIONE						
Freccia massima	$f_{max} =$	12,169 mm	= L / 329	< L / 250 = mm	16	
Distanza da "A"	$y_A =$	2,000 m				