

fare sismica  **APPUNTI**

Lamiere grecate semplici in acciaio

Domenico Leone



Lamiere grecate semplici in acciaio

Parte 1

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	Lamiere grecate semplici in acciaio	4
1	Esempio di calcolo completo	5

1 Lamiere grecate semplici in acciaio

L'argomento qui trattato è estratto dal libro "Lamiere grecate e pannelli coibentati" da me scritto ed edito da STADATA s.r.l. e si riferisce ad un esempio di calcolo eseguito sia manualmente sia con l'uso del programma da me elaborato e denominato "ColdformEC3"

..... omissis.....

1.1 Generalità

Sono oggetto di questo capitolo le sezioni sottili ottenute da lamiera protetta piegata a freddo con forma di trapezoidale (greca) irrigidita o no da pieghe localizzate lungo i lati, uniformemente caricate ed eventualmente esposte al fuoco con o senza protezioni termiche.

..... omissis.....

1.2 la resistenza al fuoco

Le sollecitazioni di progetto per la verifica della resistenza al fuoco sono date da una combinazione eccezionale delle azioni con riferimento alla categoria dell'ambiente. Possono essere anche definite a partire dalle sollecitazioni ottenute da una combinazione fondamentale (EN 1990) moltiplicando queste ultime per un fattore (η_{fi}) di riduzione non inferiore a 0,65 (nota 2 del cap. 2.4.2 (3) della EN 1993-1-2 e della EN 1999-1-2)

$$\eta_{fi} = \frac{G_k + \psi_{fi} Q_{k,1}}{\gamma_G G_k + \gamma_{Q,1} Q_{k,1}}$$

..... omissis.....

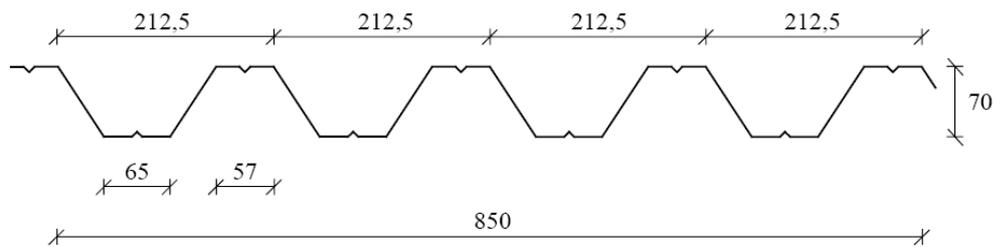
1.1 Esempio di calcolo completo

Viene riportato di seguito un esempio di calcolo di lamiera grecata in acciaio inossidabile per una copertura esposta al fuoco, continua su due campate, utilizzando il programma di calcolo automatico "ColdformEC3".

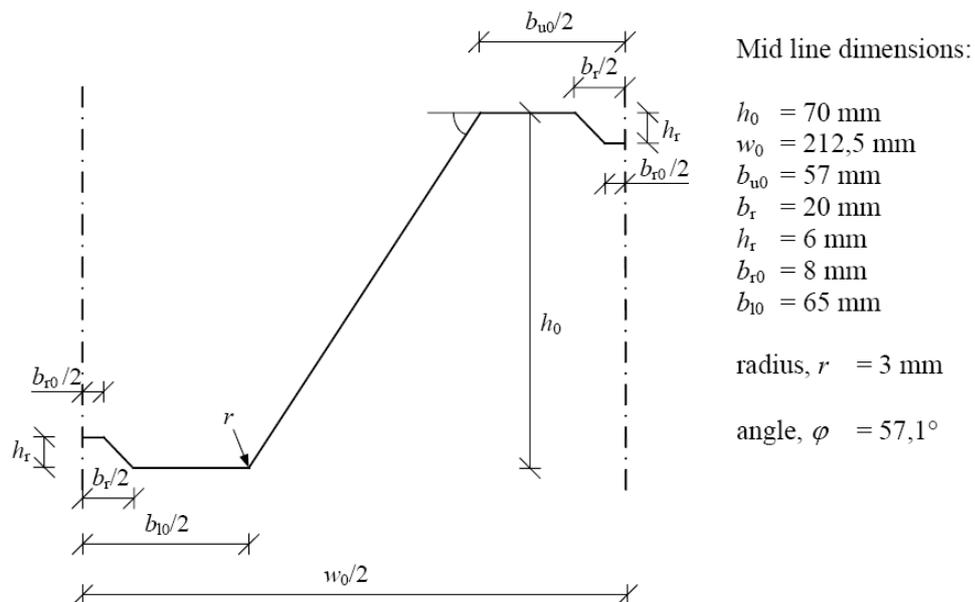
L'esempio proposto proviene da un calcolo manuale eseguito da SBI (Swedish Institute of steel construction) con sola verifica in condizioni normali nella sezione di appoggio intermedio e senza calcolo iterativo della sezione efficace.

Lo spessore della lamiera è 0,6 mm mentre il tipo di acciaio inossidabile scelto è 1.4401 incrudito al livello CP500 (snervamento nominale $f_y = 400 \text{ N/mm}^2$).

La sezione della lamiera grecata è la seguente: Fig. 1.27



Con il seguente dettaglio della greca: Fig. 1.28



Dati

Campata	$L = 3,5 \text{ m}$
Carico	$q = 1,4 \text{ kN/m}^2$
Peso proprio	$g = 0,07 \text{ kN/m}^2$
Spessore della lamiera	$t = 0,6 \text{ mm}$
Larghezza degli appoggi	$s_s = 100 \text{ mm}$
Tensione di snervamento	$f_y = 0,8 \times 500 = 400 \text{ N/mm}^2$
Modulo di elasticità	$E = 200\,000 \text{ N/mm}^2$

Coeff. parziali di sicurezza
divisori della resistenza

$$\gamma_{M0} = 1,1$$

$$\gamma_{M1} = 1,1$$

moltiplicatori dei carichi

$$\gamma_G = 1,35 \text{ (carichi permanenti)}$$

$$\gamma_Q = 1,5 \text{ (carichi variabili)}$$

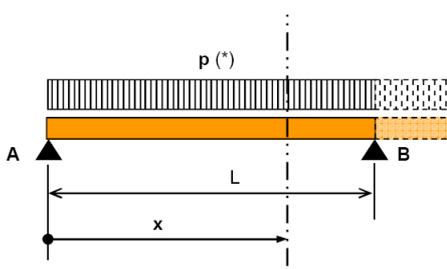
Applicabilità della norma EN 1993-1-3: rapporti larghezza/spessore

$$\max(b_{10}/t, b_{u0}/t) = b_{10}/t = 108$$

$$h_0/t = 117$$

Dati di progetto senza protezione termica con il programma ColdformEC3:

SCHEMA DI CALCOLO
SEZIONE RESISTENTE COSTITUITA DA SINGOLA GRECA IRRIGIDITA



$p(*)$

A L B

x

$p(*) = \text{carico uniforme comprensivo del peso proprio, dei carichi permanenti portati e del carico variabile}$

solo verifica in condizioni normali - T = 20 °C

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

S.L.U.
 $\gamma_G = 1,35$ $\gamma_Q = 1,5$ $\psi = 1$

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

TIPO DI ACCIAIO (al carbonio o inossidabile)	inossidabile		
MODULO DI ELASTICITA' E =	200000	200000	N/mm ²
MOMENTO DI INERZIA (S.L.S.) / m	$I_{y,eff} = 54,90$	sez. efficace	cm ⁴
DISTANZA TRA GLI APPOGGI	L = 3,50	costante	m
CARICO PERMANENTE / m	g = 0,077	/ m larghezza	kN/m p.p. = 0,077 kN/m
CARICO VARIABILE UNIFORME / m	q = 1,400	/ m larghezza	kN/m
FRECCIA AMMISSIBILE	L / f _a = 300	pari a 11,67	mm
SCHEMA STATICO	elemento	continuo	3 appoggi
ASCISSA DI RIFERIMENTO	X =	CAMPATA 1,313	APPOGGIO 3,5
		max M _{Ed}	max V _{Ed}

Calcolo sollecitazioni con il programma ColdformEC3 nel caso in cui non sia prevista alcuna protezione termica (carico permanente = peso sola lamiera):

SOLLECITAZIONI PER LO STATO LIMITE ULTIMO					
REAZIONI - MOMENTI - TAGLI			TOTALI		u.m.
REAZIONE APPOGGIO A	trave continua su 3 appoggi	$R_A =$	2,89		kN
REAZIONE APPOGGIO B		$R_B =$	9,64		kN
SOLLECITAZIONI NELLA SEZIONE DI RIFERIMENTO			SEZ. 1	SEZ. 2	
MOMENTO FLETTENTE IN X		$M_y =$	189,83	-337,48	kNcm
TAGLIO A SX. DELLA SEZ. X	trave continua su 3 appoggi	$T_{sx} =$	0,00	4,82	kN
TAGLIO A DX. DELLA SEZ. X		$T_{dx} =$	0,00	4,82	kN
SOLLECITAZIONI PER LO STATO LIMITE DI SERVIZIO					
REAZIONI - MOMENTI - TAGLI			TOTALI		u.m.
REAZIONE APPOGGIO A	trave continua su 3 appoggi	$R_A =$	1,94		kN
REAZIONE APPOGGIO B		$R_B =$	6,46		kN
SOLLECITAZIONI NELLA SEZIONE DI RIFERIMENTO			SEZ. 1	SEZ. 2	
MOMENTO FLETTENTE IN X		$M_y =$	127,22	-226,17	kNcm
TAGLIO A SX. DELLA SEZ. X	trave continua su 3 appoggi	$T_{sx} =$	0,00	3,23	kN
TAGLIO A DX. DELLA SEZ. X		$T_{dx} =$	0,00	3,23	kN

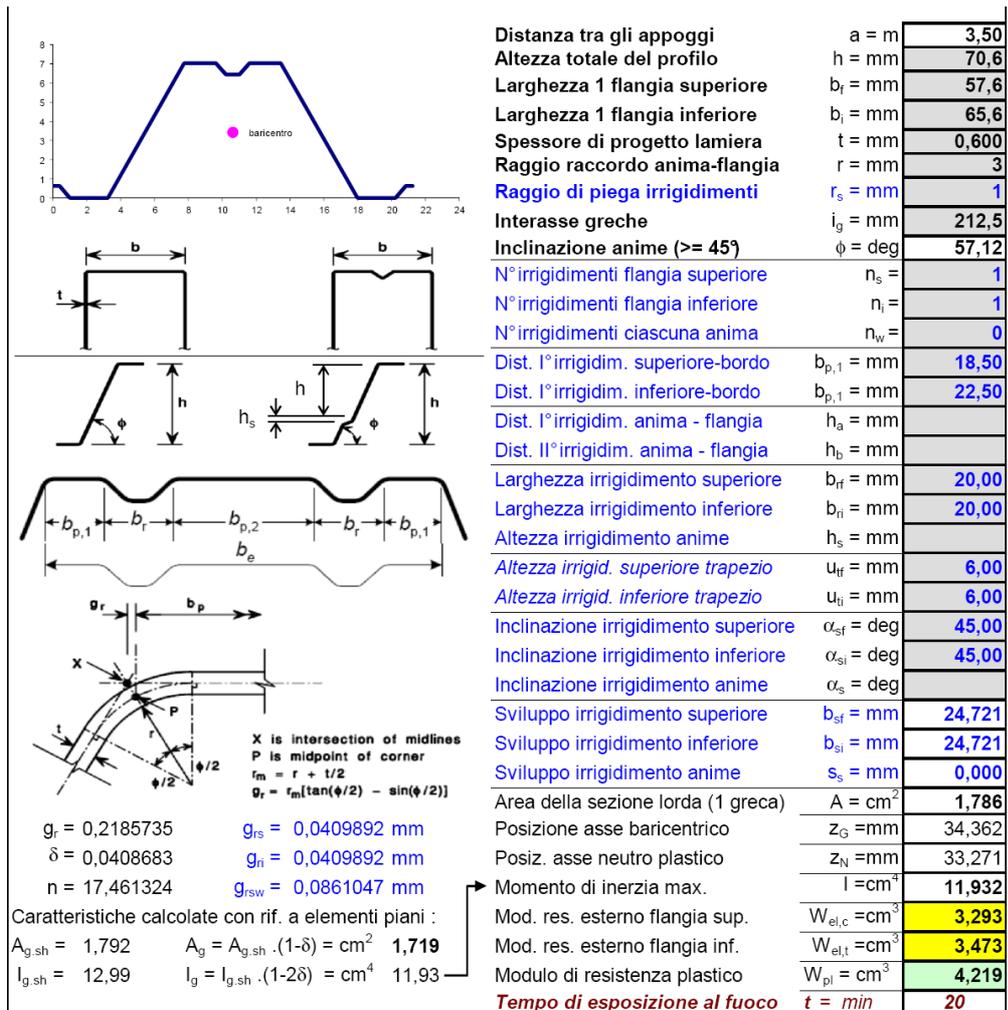
Di seguito è riprodotta la parte del foglio di calcolo che riassume i dati di progetto per la situazione normale e per la verifica di resistenza al fuoco nel caso in cui sia prevista come protezione termica una malta di cemento e vermiculite ad alta densità dello spessore di 13 mm applicata in aderenza su 3 lati esposti al fuoco. Le sollecitazioni sono maggiorate per effetto del peso della protezione. E' richiesta una resistenza al fuoco della durata di 20 minuti.

La temperatura della lamiera è di 563 °C ed è evidenziata in rosso poiché supera la temperatura critica della sezione di classe 4 che è 350 °C.

La verifica nel dominio delle temperature non è soddisfatta e si procederà con la verifica nel dominio delle resistenze.

LAMIERA GRECATA - VERIFICA SECONDO EN 1993-1-3 per classe strutturale III e EN 1991-1-2									
TIPO RFCS stainless steel valorization project					APPOGGI SENZA ELEMENTI DI IRRIGIDIMENTO DELLE ANIME				
MATERIALE	$f_{yD} = \text{N/mm}^2$	400	$f_{vD} = \text{N/mm}^2$	424,6	$f_{yE} = \text{N/mm}^2$	154	$\epsilon = 0,75$		
inox austenitico	$\theta_{a,cr} = \text{°C}$	350	$\theta_{a,t} = \text{°C}$	563	$c_a = \text{J/kgK}$	720	$\lambda_a = \text{W/mK}$	35,27	
IRRIG. SUPERIORE TRAPEZIO	IRRIG. INFERIORE TRAPEZIO	SEZIONE PROTETTA		N° 3 lati esposti					
PROTEZ. TERMICA	IN ADERENZA LUNGO IL CONTORNO	$\rho_p \text{ (kg/m}^3\text{)}$	$\lambda_p \text{ (W/mK)}$	$c_p \text{ (J/kgK)}$	SPESS. (mm)	13,00			
	cemento e vermic. ad alta densità	550	0,12	1100	REI	minuti			
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	$M_{Ed,c} =$	204,13	$M_{Ed,a} =$	-362,91	kNcm	$M_{Ed,c,fi} =$	101,64	$M_{Ed,a,fi} =$	-180,69
kN	$V_{Ed,c} =$	0,00	$F_{Ed,a} =$	10,37	kN	$V_{Ed,c,fi} =$	0,00	$F_{Ed,a,fi} =$	5,16

Le caratteristiche geometriche della sezione interamente resistente sono automaticamente calcolate e la sezione è riprodotta in scala come illustrato nella seguente parte del foglio di calcolo del programma ColdformEC3.



Si può notare come l'area della sezione compresa nell'interasse delle greche sia calcolata in tre modi diversi:

$A_{g,sh}$ è calcolata considerando elementi piani collegati nei punti di intersezione

A_g è calcolata tenendo conto del fattore di riduzione δ per la presenza dei raccordi curvi

A è calcolata con riferimento al punto medio **P** dei gomiti (valore attendibile)

Il momento di inerzia **I** è calcolato con riferimento a elementi piani collegati nei punti di intersezione ed è poi ridotto del fattore **(1-2.δ)** (EN 1993-1-3 item 5.1 (4))

La seguente parte del programma ColdformEC3 esegue il calcolo iterativo dei coefficienti di riduzione ρ e χ_d per le parti compresse della sezione sull'appoggio intermedio.

AREA EFFICACE DELLE PARTI COMPRESSE ALL'APPOGGIO - EN 1993-1-3 & EN 1993-1-5			
Lunghezza del pannello tra gli appoggi	a = mm	3500	
Area efficace irrigidimento flangia inferiore	$A_{s,1} = \text{cm}^2$	0,245	II° step 0,251 III° step 0,251
Area efficace con spessore ridotto irrigidim.	$A_{s,1,rid} = \text{cm}^3$	0,209	→ 0,212 → 0,213
Area efficace irrigidimento anime inferiore	$A_{sa,1} = \text{cm}^2$	0,000	
Mom. di Inerzia irrigidimento flangia inferiore	$I_{s,1} = \text{cm}^4$	0,015	0,015 0,015
Mom. di Inerzia irrigidimento anime	$I_{sa,1} = \text{cm}^4$	0,000	
	$b_o = \text{mm}$	65,00	$L_e / 50 = 35 \text{ mm} > b_o/2$
	$s_w = \text{mm}$	83,35	effetto 'shear lag' trascurabile
Fattore di riduzione per la flangia compressa :			
$A_{c,eff} = \rho_c \cdot A_{c,eff,loc} + \sum b_{edge,eff} \cdot t =$	0,315 cm ²	$\rho_c = 1,00000$	$\alpha_o = 1,2715325$
$A_{c,eff,loc} = A_{s,eff} + \sum \rho_{loc} \cdot b_{c,loc} \cdot t =$	0,251 cm ²	$A_c = \text{cm}^2$ 0,283	$\kappa = 0,0236142$
$A_{s,eff} = n_s \cdot A_{s(i,w),1}$			$\beta = 1$
$b_{c,loc} = b_{s,1(2),eff}$	$b_{s1,eff} = \rho_{s,1} \cdot b_{p,1} = 16,07 \text{ mm}$	I° step 16,07 mm	II° step 17,07 mm III° step 17,122
$\rho_{loc} = \rho_{s,1(2)}$	$b_{s2,eff} = \rho_{s,2} \cdot b_{p,2} = 0,00 \text{ mm}$	II° step 0,00 mm	III° step 0,000
	$b_{s,eff} = \rho_s \cdot b_p = 16,07 \text{ mm}$	I° step 16,07 mm	II° step 17,07 mm III° step 17,122
$\chi_d =$ fattore di riduzione per gli irrigidimenti :			
flangia		$\rho_c' = 0,7336817$	$\chi_d' = 0,85376$
anime		$\rho_c'' = 0,727533$	$\chi_d'' = 0,8469615$
interazione		$\rho_c''' = 0,7272191$	$\chi_d''' = 0,8466117$
$\lambda_{p,1}' = 0,8826198$	$\lambda_{p,1}'' = 0$	$\lambda_{p,1}''' = 0,815533$	$\lambda_{p,1}'''' = 0,8122795$
$\rho_{s,1}' = 0,7142103$	$\rho_{s,1}'' = 1$	$\rho_{s,1}''' = 0,7586769$	$\rho_{s,1}'''' = 0,7609599$
$\lambda_{p,2}' = 0$	$\lambda_{p,2}'' = 0$	$\lambda_{p,2}''' = 0$	$\lambda_{p,2}'''' = 0$
$\rho_{s,2}' = 1$	$\rho_{s,2}'' = 1$	$\rho_{s,2}''' = 1$	$\rho_{s,2}'''' = 1$
$\bar{\lambda}_d = (f_y / \sigma_{cr,c})^{0,5}$	$\bar{\lambda}_d = 1,1707775$	$\bar{\lambda}_d = 0,8523375$	$\bar{\lambda}_d = 0,8617406$
$\bar{\lambda}_d = (f_y / \sigma_{cr,s})^{0,5}$	$\bar{\lambda}_d = 0$	$\bar{\lambda}_d = 0$	$\bar{\lambda}_d = 0$
$\sigma_{cr,c} = k_{\sigma,p} \cdot \pi^2 \cdot E \cdot t^2 / [12 \cdot (1-\nu^2) \cdot b^2]$	$k_{\sigma,p,flangia} = 4$	$k_{\sigma,p,anima} = 22,352$	$\sigma_{cr,c} = 0,000 \text{ N/mm}^2$
$\sigma_{cr,s} = 4,2 \cdot k_w \cdot E / A_{s,1} \cdot [I_{s,1} \cdot t^3 / L_s^3]^{0,5}$	$\sigma_{cr,s} = 550,601$	$\sigma_{cr,sa} = 0,000$	$\sigma_{cr,s} = 291,817 \text{ N/mm}^2$
$\sigma_{cr,sa} = 1,05 \cdot k_f \cdot E / A_{sa} \cdot [I_{w,1} \cdot t^3 \cdot s]^{0,5} / A_w$	$\sigma_{cr,mod} = 0,000$	$\sigma_{cr,mod} = 0,000$	$\sigma_{cr,sa} = 538,046 \text{ N/mm}^2$
$\sigma_{cr,mod} = \sigma_{cr,s} / [1 + (\beta_s \cdot \sigma_{cr,s} / \sigma_{cr,sa})^{4,0,25}]$	$\sigma_{cr,s} = 0,000$	$\sigma_{cr,s} = 0,000$	$\sigma_{cr,mod} = 0,000$
$\sigma_{cr,s} = 1,8 \cdot E / [I_{s,1} \cdot t / (b_o^3 \cdot b_e^2)]^{0,5} + 3,6 \cdot E \cdot t^2 / b_o^2$	$\sigma_{cr,s} = 0,000$	$\sigma_{cr,s} = 0,000$	$\sigma_{cr,s} = 0,000$
raggio di inerzia irrigid. flangia	$i_s = 0,25 \text{ mm}$	I° step 0,247 mm	III° step 0,247
raggio di inerzia irrigid. anime	$i_{sa} = 0,00 \text{ mm}$	II° step 0,00 mm	III° step 0,000
posiz. baricentro irrigid. flangia	$Z_{G,s} = 2,43 \text{ mm}$	I° step 2,369 mm	III° step 2,366

I valori sono confrontati col calcolo manuale di riferimento nella seguente tabella.

Calcolo col programma ColdformEC3	Calcolo manuale (non iterativo)
$\varepsilon = \sqrt{\frac{235}{f_y} \frac{E}{210000}} \quad \varepsilon = 0,75$	$\varepsilon = \sqrt{\frac{235}{f_y} \frac{E}{210000}} \quad \varepsilon = 0,75$
$\bar{\lambda}_p = \frac{b_p / t}{28,4\varepsilon\sqrt{k_\sigma}} \quad \lambda_p = 0,883$	$\bar{\lambda}_p = \frac{b_p / t}{28,4\varepsilon\sqrt{k_\sigma}} \quad \lambda_p = 0,883$
<p>alla terza iterazione $\lambda_p = 0,812$</p>	
<p>sezione efficace della flangia :</p>	<p>sezione efficace della flangia :</p>
<p>fattore riduzione larghezza flangia prima iterazione</p>	<p>fattore riduzione larghezza flangia</p>
$\rho = \frac{0,772}{\bar{\lambda}_p} - \frac{0,125}{\bar{\lambda}_p^2} \quad \rho = 0,714$	$\rho = \frac{0,772}{\bar{\lambda}_p} - \frac{0,125}{\bar{\lambda}_p^2} \quad \rho = 0,714$
<p>terza iterazione $\rho = 0,761$</p>	
<p>Larghezza efficace flangia prima iterazione</p>	<p>Larghezza efficace flangia</p>
$b_{\text{eff},1} = \rho b_p \quad b_{\text{eff},1} = 16,1 \text{ mm}$	$b_{\text{eff},1} = \rho b_p \quad b_{\text{eff},1} = 16,1 \text{ mm}$
<p>terza iterazione $b_{\text{eff},1} = 17,1 \text{ mm}$</p>	
<p>Area efficace dell'irrigidimento prima iterazione $A_s = 24,5 \text{ mm}^2$</p>	<p>Area efficace dell'irrigidimento $A_s = 24,62 \text{ mm}^2$</p>
<p>terza iterazione $A_s = 25,1 \text{ mm}^2$</p>	
<p>Momento di inerzia prima iterazione $I_s = 152,5 \text{ mm}^4$</p>	<p>Momento di inerzia $I_s = 159,1 \text{ mm}^4$</p>
<p>terza iterazione $I_s = 153,3 \text{ mm}^4$</p>	
<p>lunghezza di instabilità l_b : $l_b = 248 \text{ mm}$</p>	<p>lunghezza di instabilità l_b : $l_b = 251 \text{ mm}$</p>

parametro di instabilità k_w :

$$k_w = 1,373$$

tensione critica dell'irrigidimento

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

prima iterazione

$$\sigma_{cr,s} = 550,6 \text{ N/mm}^2$$

terza iterazione

$$\sigma_{cr,s} = 538,05 \text{ N/mm}^2$$

$$\bar{\lambda}_d = \sqrt{\frac{f_y}{\sigma_{cr,s}}}$$

prima iterazione

$$\lambda_d = 0,852$$

terza iterazione

$$\lambda_d = 0,862$$

Fattore di riduzione χ_d :

prima iterazione

$$\chi_d = 0,854$$

terza iterazione

$$\chi_d = 0,847$$

distanza baricentro da flangia compr.

$$e_c = 36,09 \text{ mm (I}^\circ \text{ step)}$$

$$e_c = 37,96 \text{ mm (II}^\circ \text{ step)}$$

sezione efficace dell'anima :

$$\psi = -0,939$$

$$k_{\bar{\eta}} = 22,35$$

$$b_{pw} = 83,35 \text{ mm}$$

$$\bar{\lambda}_d = \sqrt{\frac{f_y}{\sigma_{cr,s}}} \quad \lambda_p = 1,171$$

$$S_{eff,1} = 12,52 \text{ mm}$$

parametro di instabilità k_w :

$$k_w = 1,37$$

tensione critica dell'irrigidimento

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

$$\sigma_{cr,s} = 557,5 \text{ N/mm}^2$$

$$\bar{\lambda}_d = \sqrt{\frac{f_y}{\sigma_{cr,s}}}$$

$$\lambda_d = 0,85$$

Fattore di riduzione χ_d :

$$\chi_d = 0,86$$

distanza baricentro da flangia compr.

$$e_c = 36,3 \text{ mm}$$

sezione efficace dell'anima :

$$\psi = -0,929$$

$$k_{\bar{\eta}} = 22,1$$

$$b_{pw} = 83,4 \text{ mm}$$

$$\bar{\lambda}_p = \frac{b_{p,w} / t}{28,4 \varepsilon \sqrt{k_\sigma}} : \quad \lambda_p = 1,391$$

$$S_{eff,1} = 8,47 \text{ mm}$$

$s_{\text{eff},2} = 18,78 \text{ mm}$ Caratteristiche della sezione efficace $A_{\text{eff}} = 148,5 \text{ mm}^2$ $I_{\text{eff}} = 102110 \text{ mm}^4$ $W_{\text{eff},\text{sup}} = 3158 \text{ mm}^3$ $W_{\text{eff},\text{inf}} = 2669 \text{ mm}^3$ $W_{\text{eff},\text{min}} = 2669 \text{ mm}^3$ Verifica di resistenza a flessione $M_{\text{c,Rd}} = W_{\text{eff},\text{min}} f_y / \gamma_{\text{Mc}} = \mathbf{457 \text{ kNcm/m}}$ $M_{\text{Ed}} / M_{\text{c,Rd}} = 0,74$ Interazione momento-reazione $F_{\text{Ed}} = \frac{5}{4} qL = 9,63 \text{ kN}$ $R_{\text{w,Rd}} = 20,9 \text{ kN}$ $\frac{M_{\text{Ed}}}{M_{\text{c,Rd}}} + \frac{F_{\text{Ed}}}{R_{\text{w,Rd}}} = \mathbf{1,20}$ Deformazione allo S.L.S. $\delta = 10,97 \text{ mm}$ Ascissa $x = 1,474 \text{ m}$	$s_{\text{eff},2} = 12,7 \text{ mm}$ Caratteristiche della sezione efficace $A_{\text{eff}} = 141,6 \text{ mm}^2$ $I_{\text{eff}} = 103420 \text{ mm}^4$ $W_{\text{eff},\text{sup}} = 3447 \text{ mm}^3$ $W_{\text{eff},\text{inf}} = 2585 \text{ mm}^3$ $W_{\text{eff},\text{min}} = 2585 \text{ mm}^3$ Verifica di resistenza a flessione $M_{\text{c,Rd}} = W_{\text{eff},\text{min}} f_y / \gamma_{\text{Mc}} = \mathbf{442 \text{ kNcm/m}}$ $M_{\text{Ed}} / M_{\text{c,Rd}} = 0,76$ Interazione momento-reazione $F_{\text{Ed}} = \frac{5}{4} qL = 9,63 \text{ kN}$ $R_{\text{w,Rd}} = 20,9 \text{ kN}$ $\frac{M_{\text{Ed}}}{M_{\text{c,Rd}}} + \frac{F_{\text{Ed}}}{R_{\text{w,Rd}}} = \mathbf{1,22}$ Deformazione allo S.L.S. $\delta = 10,4 \text{ mm}$ Ascissa $x = 1,47 \text{ m}$
---	--

Il calcolo delle caratteristiche geometriche della sezione efficace nella sezione di appoggio intermedio sono riassunti nella seguente parte del programma ColdformEC3.

CALCOLO DEL MODULO DI RESISTENZA EFFICACE ALL'APPOGGIO							
5.5.3.4.2 1) calcolo dell'area efficace ($A_{c,eff}$) della flangia compressa:							
$\bar{\lambda}_d = (f_{y0} / \sigma_{cr,s})^{0,5}$	$\bar{\lambda}_d =$	0,8622245 (III° step)	tensione critica irrigid.	$\sigma_{cr,s} =$	538,05		
$\bar{\lambda}_{p,red} = \bar{\lambda}_p \cdot (\chi_d'')^{0,5}$	$\bar{\lambda}_{p,red} =$	0,8122795 (III° step)	spostamento verticale	$\delta =$ mm	1,446		
fattore di rid. flangia	$\rho_c =$	1	rigidezza molla per u.l.	$k = 1 / \delta =$	0,691		
Area efficace iniz. irrigid.	$A_{s,1} =$	0,244743 cm ²	fattore di riduz. res. irrigid.	$\chi_d' =$	0,854		
Area efficace flangia	$A_{c,eff} =$	0,315275 cm ²	" " (III° step)	$\chi_d''' =$	0,847		
2) caratteristiche geometriche della sezione ridotta:							
Area sez. ridotta	$A_r' =$	1,620 cm ²	lunghezza di instab.	$l_b =$ mm	248,029		
Posizione baricentro	$z_G' =$	36,392 mm	parametro di instab.	$k_w =$	1,373		
Momento di inerzia	$I_r' =$	10,821 cm ⁴	sviluppo flangia irrigid.	$b_e =$ mm	69,721		
Modulo di res. superiore	$W_{y,t} =$	3,163 cm ³	Modulo di res. irrigidim.	$W_{y,s} =$ cm ³	3,21		
Modulo di res. inferiore	$W_{y,c} =$	2,973 cm ³	tens. di compr. irrigid.	$\sigma_{com,Ed} =$	223,11		
			Area efficace irrigidim.	$A_{s,1,red} =$ cm ²	0,244743		
3) tensione nella flangia compressa:							
			dist. bar. flangia compr.	$e'_c =$ mm	36,092		
$\sigma_{com,Ed} =$	241,18105	$\sigma_{com,Ed,fi} =$	0	N/mm ²			
			$s_{eff,0} =$ mm	12,520219	$s_{eff,0,fi} =$ mm	0	
5.5.3.4.3 4) calcolo della larghezza efficace delle anime ($s_{eff,w}$):							
			4 bis) controllo larghezze efficaci:				
valori iniziali step 1	parte inferiore	$s_{eff,1} =$	12,520	mm	$s_{eff,1} =$	12,520	mm
	parte lato inf. II° irrigid.	$s_{eff,2} =$	0,000	mm	$s_{eff,2} =$	0,000	mm
	parte lato sup. II° irrigid.	$s_{eff,3} =$	0,000	mm	$s_{eff,3} =$	0,000	mm
	parte lato inf. I° irrigid.	$s_{eff,4} =$	0,000	mm	$s_{eff,4} =$	0,000	mm
	parte lato sup. I° irrigid.	$s_{eff,5} =$	0,000	mm	$s_{eff,5} =$	0,000	mm
	parte lato asse neutro	$s_{eff,n} =$	18,780	mm	$s_{eff,n} =$	18,780	mm
5) calcolo dei moduli di resistenza efficaci e del fattore di adattamento per la resistenza al fuoco:							
Area sez. ridotta	$A_r'' = A_{c,eff} =$	1,485	cm ²	dist. bar. flangia compr.	$e'_c =$ mm	37,963	
Posizione baricentro	$z_G'' =$	38,263	mm	fatt. di riduz. irrigid. anima	$\chi_d''' =$	1,000	
Momento di inerzia	$I_r'' =$	10,211	cm ⁴	Area effc. irrigid. anima	$A_{sa,red} =$ cm ²	0,000	
6.1.4.1 Modulo di res. superiore	$W_{eff,t} =$	3,158	cm ³	per la resistenza al fuoco	$h_e =$ mm		
Modulo di res. inferiore	$W_{eff,c} =$	2,669	cm ³		$K = K_1 \cdot K_2 =$		
6.1.4.2 Mod. resist. parz. plast.	$W_{pp,eff} =$		cm ³				

Il foglio individua le 5 fasi sequenziali di calcolo delle parti efficaci compresse:

1 -Calcolo dell'area efficace della flangia compressa con i parametri provenienti dal calcolo iterativo precedentemente illustrato

2 -Calcolo delle caratteristiche geometriche della sezione ridotta (sola flangia compressa efficace) e dei parametri relativi agli irrigidimenti (W_{ys} , $\sigma_{com,Ed}$, $A_{s,1,red}$)

3 -Calcolo della tensione nella flangia compressa ($\sigma_{com,Ed}$) e della larghezza efficace iniziale dell'anima ($s_{eff,0}$) anche per la condizione di incendio

4 -Calcolo della larghezza efficace delle anime ($s_{eff,1}$ e $s_{eff,2}$ che nell'esempio precedente coincide con $s_{eff,n}$) con i parametri provenienti dal calcolo iterativo precedentemente illustrato

5 -Calcolo delle caratteristiche della sezione efficace

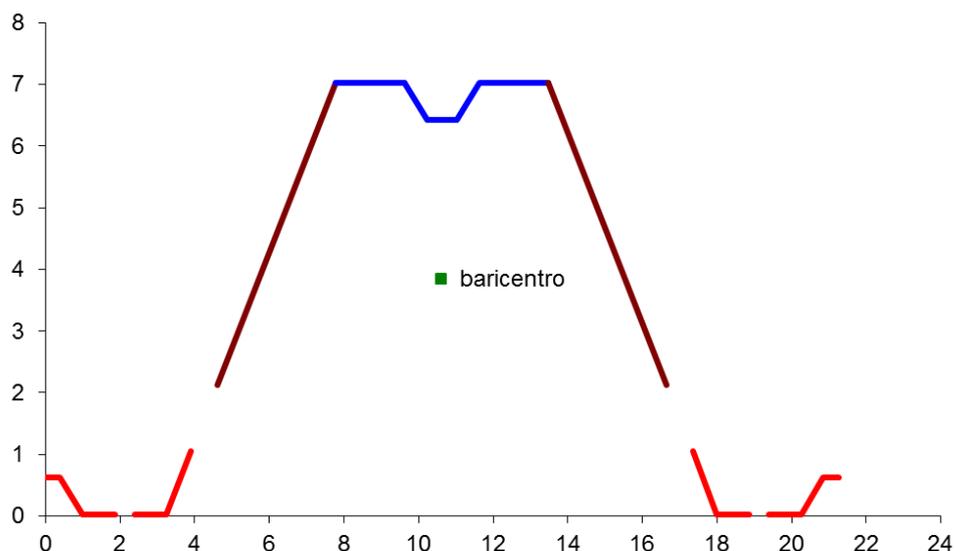
Nella seguente parte del foglio di calcolo è infine riassunta la verifica di resistenza per flessione, taglio, interazione momento-taglio, effetto locale della reazione di appoggio e interazione momento-reazione nella sezione di appoggio sia al lembo teso che al lembo compresso del profilo.

VERIFICA DI RESISTENZA ALL'APPOGGIO					
		normale	fuoco		
Area resistente a taglio :		$A_v = 2 \cdot h_w / \sin \phi \cdot t$	= cm ²	1,000	
Limite di resistenza a taglio :		$V_{w,Rd} = A_v \cdot f_{bv} / \gamma_{Mo}$	= kN	5,33	
$\phi_w = 57,120218$	$g_{rw} = \text{mm}$	0,2185735	$s_w = \text{mm}$	82,915	$f_{bv} = \text{N/mm}^2$
sviluppo anima : $s_d = \text{mm}$		82,915	$s_p = \text{mm}$	83,047	$\bar{\lambda}_w =$
$V_{Ed} = 1,024$	kN < 50% $V_{w,Rd}$	incremento	$R_i = (1 - M_{t,Rd} / M_{pl,Rd}) \cdot (2 \cdot V_{Ed} / V_{w,Rd} - 1)^2$	=	0,00
$F_{Ed} = 2,049$	kN	$I_a = 100$	mm	resistenza delle anime all'appoggio	$R_{w,Rd} = \text{kN}$
Rapporto tensioni : $\psi = -0,939494$		>= -3	$f_{yb} / \gamma_{Mo} = 363,64$	$f_{yb} / \gamma_{M,fi} = 400,00$	N/mm ²
Rapp. Moduli efficaci		0,845147	< 1	normale fuoco	
$W_{eff} = W_{el}$ → classe 3		snellezza dell'elemento $\lambda = 0,8622245$			
$W_{eff} < W_{el}$ → classe 4		snellezza elastica $\lambda_{el} = 0,65$			
classe della sezione		4			
		$r = \lambda / \lambda_{el}$ grado di utilizzo a t = 0 : $\mu_o = 1,000$			
LEMBO COMPR	normale	$M_{c,Rd} = f_{yb} / \gamma_{Mo} \cdot W_{eff,c}$	$M_{Ed} / M_{c,Rd} = 0,739$	< 1	
	fuoco	$M_{fi,\theta,Rd} = f_{yb} / \gamma_{M,fi} / k \cdot W_{eff,c}$	$M_{Ed,fi} / M_{fi,\theta,Rd} =$	< 1	
LEMBO TESO	normale	$M_{t,Rd} = f_{yb} / \gamma_{Mo} \cdot W_{eff,t}$	$M_{Ed} / M_{t,Rd} = 0,625$	< 1	
	fuoco	$M_{fi,\theta,Rd} = f_{yb} / \gamma_{M,fi} / k \cdot W_{eff,t}$	$M_{Ed,fi} / M_{fi,\theta,Rd} =$	< 1	
$(M_{Ed} / M_{Rd})_{max} + R_i = 0,739$		<= 1	$(M_{Ed,fi} / M_{V,Rd,fi})_{max} + R_i =$		<= 1
$(M_{Ed} / M_{Rd})_{max} + F_{Ed} / R_{w,Rd} = 1,200$		<= 1,25	$(M_{Ed,fi} / M_{fi,\theta,Rd})_{max} + F_{Ed,fi} / R_{w,Rd,fi} =$		<= 1,25

Analogo procedimento di calcolo è effettuato dal programma nella sezione in campata e, per brevità, si riporta solo il risultato della verifica di resistenza:

VERIFICA DI RESISTENZA IN CAMPATA					
		normale	fuoco		
Area resistente a taglio :		$A_v = 2 \cdot h_w / \sin \phi \cdot t$	= cm ²	1,000	
Limite di resistenza a taglio :		$V_{w,Rd} = A_v \cdot f_{bv} / \gamma_{Mo}$	= kN	5,33	
$\phi_w = 57,120218$	$g_{rw} = \text{mm}$	0,2185735	$s_w = \text{mm}$	82,915	$f_{bv} = \text{N/mm}^2$
sviluppo anima : $s_d = \text{mm}$		82,915	$s_p = \text{mm}$	83,047	$\bar{\lambda}_w =$
$V_{Ed} = 0,000$	kN < 50% $V_{w,Rd}$	incremento	$R_i = (1 - M_{t,Rd} / M_{pl,Rd}) \cdot (2 \cdot V_{Ed} / V_{w,Rd} - 1)^2$	=	0,00
Rapporto tensioni : $\psi = -0,895655$		>= -3	$\gamma_{Mo} = 1,10$	$\gamma_{M,fi} = 1,00$	N/mm ²
Rapp. Moduli efficaci		0,8833993	< 1	$f_{yb} / \gamma_{Mo} = 363,64$	$f_{yb} / \gamma_{M,fi} = 400,00$
$W_{eff} = W_{el}$ → classe 3		snellezza dell'elemento $\lambda = 0,763686$			
$W_{eff} < W_{el}$ → classe 4		snellezza elastica $\lambda_{el} = 0,65$			
classe della sezione		4			
		$r = \lambda / \lambda_{el}$ grado di utilizzo a t = 0 : $\mu_o = 1,000$			
LEMBO COMPR	normale	$M_{c,Rd} = f_{yb} / \gamma_{Mo} \cdot W_{eff,c}$	$M_{Ed} / M_{c,Rd} = 0,369$	< 1	
	fuoco	$M_{fi,\theta,Rd} = f_{yb} / \gamma_{M,fi} / k \cdot W_{eff,c}$	$M_{Ed,fi} / M_{fi,\theta,Rd} =$	< 1	
LEMBO TESO	normale	$M_{t,Rd} = f_{yb} / \gamma_{Mo} \cdot W_{eff,t}$	$M_{Ed} / M_{t,Rd} = 0,326$	< 1	
	fuoco	$M_{fi,\theta,Rd} = f_{yb} / \gamma_{M,fi} / k \cdot W_{eff,t}$	$M_{Ed,fi} / M_{fi,\theta,Rd} =$	< 1	
$(M_{Ed} / M_{Rd})_{max} + R_i = 0,369$		< 1	$(M_{Ed,fi} / M_{V,Rd,fi})_{max} + R_i =$		< 1

Di seguito è riportata la sezione efficace del profilo sull'appoggio intermedio compresa nell'interasse tra le greche così come viene disegnata dal programma.



La colorazione dal blu al rosso indica il passaggio dalla zona tesa alla zona compressa; le parti non disegnate sono inefficaci ai fini della resistenza a flessione.

La verifica di deformazione per la combinazione allo S.L.S. è soddisfatta come risulta dalla parte di foglio di calcolo di seguito riprodotta.

Area sez. ridotta	$A_v'' = A_{\text{eff}}$	1,658	cm ²	dist. bar. flangia compr.	$e''_c = \text{mm}$	36,971
Posizione baricentro	$z_g'' =$	33,329	mm	fatt. di riduz. irrig. anima	$\chi_d''' =$	1,000
Momento di inerzia eff.	$I_r'' = I_{g(\text{eff})}$	11,424	cm ⁴	Area eff. irrigid. anima	$A_{\text{sa,red}} = \text{cm}^2$	0,000
6.1.4.1 Modulo di res. superiore	$W_{\text{eff,c}} =$	3,065	cm ³	per acciaio inox		
Modulo di res. inferiore	$W_{\text{eff,t}} =$	3,428	cm ³	$\sigma_{1,\text{Ed,ser}} =$	156,80	N/mm ²
6.1.4.2 Mod. resist. parz. plast.	$W_{\text{pp,eff}} =$	0,000	cm ³	$\sigma_{2,\text{Ed,ser}} =$	140,21	N/mm ²
6) interpolazione tra sezione efficace e sezione lorda				$n =$	7	
7.1 (3)	$I_{\text{fic}} = I_{\text{gr}} - \frac{\sigma_{\text{gr}}}{\sigma} (I_{\text{gr}} - I(\sigma)_{\text{eff}})$			$E_{\text{s,ser}} =$	199277	N/mm ²
	$I_{\text{gr}} =$	11,932	cm ⁴	momento di inerzia della sezione lorda		
	$I_{\sigma(\text{eff})} =$	11,424	cm ⁴	momento di inerzia della sezione efficace (vedi nota in calce)		
	$\sigma_{\text{gr}} =$	82,10	N/mm ²	tensione di compressione max della sezione lorda per lo S.L.S.		
	$\sigma =$	156,80	N/mm ²	tensione max in valore assoluto nella lunghezza dell'elemento per lo S.L.S.		
	$I_{\text{fic}} =$	11,666	cm ⁴			
VERIFICA DI DEFORMAZIONE						
Freccia massima	$f_{\text{max}} =$	10,973	mm	$= L / 319$	$< L / 300 =$	mm11,666667
Distanza da "A"	$x_A =$	1,474	m	campata di estremità		

Per la verifica di resistenza in condizioni di incendio si ipotizza una protezione in aderenza costituita da cemento vermiculite ad alta densità dello spessore di 13 mm applicata su 3 lati esposti al fuoco. E' richiesta la verifica nel dominio delle resistenze per una esposizione al fuoco di 20 minuti. I parametri della curva di incendio standard sono calcolati automaticamente ed evidenziati in un foglio di calcolo del programma ColdformEC3.

dati per temperatura di progetto :	curva standard per fuoco da gas :	$\theta_g = 20 + 345 \cdot \log_{10}(8 \cdot t + 1)$
temperatura di progetto del gas :	$\theta_g = \text{°C } 781,4$	flusso di calore netto : $h_{\text{net}} = \text{W/m}^2 \text{ } 0$
increm. di temperatura per $\Delta t = 5\text{sec}$	acciaio : $\Delta\theta_{\text{a,t}} = \text{°C } 1,52$	gas : $\Delta\theta_{\text{g,t}} = \text{°C } 0,62$

Con le sollecitazioni precedentemente calcolate (e riprodotte) per la combinazione eccezionale in

condizioni di incendio e con riferimento al criterio di calcolo di cui al punto 1.2.2 del presente testo si riportano di seguito i risultati delle verifiche con brevi commenti:

Verifica di resistenza in corrispondenza dell'appoggio intermedio:

5) calcolo dei moduli di resistenza efficaci e del fattore di adattamento per la resistenza al fuoco :						
Area sez. ridotta	$A_v = A_{eff}$	1,472	cm ²	dist. bar. flangia compr.	$e''_c = mm$	38,150
Posizione baricentro	$z_G'' =$	38,450	mm	fatt. di riduz. irrig. anima	$\chi_d'' =$	1,000
Momento di inerzia	$I_r'' =$	10,151	cm ⁴	Area eff. irrigid. anima	$A_{sa,red} = cm^2$	0,000
6.1.4.1 Modulo di res. superiore	$W_{eff,t} =$	3,157	cm ³	per la resistenza al fuoco	$h_e = mm$	82,91
Modulo di res. inferiore	$W_{eff,c} =$	2,640	cm ³		$K = K_1, K_2 =$	0,7225
6.1.4.2 Mod. resist. parz. plast.	$W_{pp,eff} =$		cm ³			
VERIFICA DI RESISTENZA ALL'APPOGGIO						
				normale	fuoco	
Area resistente a taglio :	$A_v = 2 \cdot h_w / \sin \phi \cdot t$	=	cm ²	1,000	1,000	
Limite di resistenza a taglio :	$V_{w,Rd} = A_v \cdot f_{dv} / \gamma_{Mo}$	=	kN	5,33	2,45	
$\phi_w = 57,120218$	$g_{rw} = mm$	0,2185735	$s_w = mm$	82,915	$f_{dv} = N/mm^2$	58,61
sviluppo anima : $s_d = mm$	82,915	$s_p = mm$	83,047	$\bar{\lambda}_w =$	2,1383	2,0537
$V_{Ed} = 1,102$ kN < 50%	$V_{w,Rd}$	incremento	$R_i = (1 - M_{f,Rd} / M_{pl,Rd}) \cdot (2 \cdot V_{Ed} / V_{w,Rd})^2$	0,00	0,00	
$F_{Ed} = 2,203$ kN	$I_a = 100$ mm	resistenza delle anime all'appoggio	$R_{w,Rd} = kN$	4,444	1,966	
Rapporto tensioni : $\psi = -0,939494$	≥ -3	$f_{yb} / \gamma_{Mo} = 363,64$	$f_{ye} / \gamma_{M,fi} = 154,47$	N/mm ²		
Rapp. Moduli efficaci	0,8361548	< 1		normale	fuoco	
$W_{eff} = W_{el}$	→ classe 3	snellezza dell'elemento	$\lambda = 0,8622245$	0,7339379		
$W_{eff} < W_{el}$	→ classe 4	snellezza elastica	$\lambda_{el} = 0,65$	0,65		
classe della sezione	4	$r = \lambda / \lambda_{el}$	grado di utilizzo a $t = 0 : \mu_0 = 0,842$			
LEMBO COMPR	normale	$M_{c,Rd} = f_{yb} / \gamma_{Mo} \cdot W_{eff,c}$	$M_{Ed} / M_{c,Rd} = 0,803$	< 1		
	fuoco	$M_{fi,0,Rd} = f_{ye} / \gamma_{M,fi} / k \cdot W_{eff,c}$	$M_{Ed,fi} / M_{fi,0,Rd} = 0,680$	< 1		
LEMBO TESO	normale	$M_{t,Rd} = f_{yb} / \gamma_{Mo} \cdot W_{eff,t}$	$M_{Ed} / M_{t,Rd} = 0,672$	< 1		
	fuoco	$M_{fi,0,Rd} = f_{ye} / \gamma_{M,fi} / k \cdot W_{eff,t}$	$M_{Ed,fi} / M_{fi,0,Rd} = 0,569$	< 1		
		$(M_{Ed} / M_{Rd})_{max} + R_i = 0,803$	≤ 1	$(M_{Ed,fi} / M_{V,Rd,fi})_{max} + R_i = 0,680$	≤ 1	
		$(M_{Ed} / M_{Rd})_{max} + F_{Ed} / R_{w,Rd} = 1,299$	$\leq 1,25$	$(M_{Ed,fi} / M_{fi,0,Rd})_{max} + F_{Ed,fi} / R_{w,Rd,fi} = 1,238$	$\leq 1,25$	

La verifica di resistenza al fuoco nelle condizioni prima espone è soddisfatta ma, il maggior carico permanente dovuto al materiale isolante applicato alla lamiera grecata non consente di soddisfare la verifica combinata momento-reazione in condizioni normali e neppure la limitazione di freccia.

VERIFICA DI DEFORMAZIONE			
Freccia massima	$f_{max} = 11,960$ mm	= L / 293	< L / 300 = mm11,66667
Distanza da "A"	$x_A = 1,474$ m	campata di estremità	
5.5.3.4.2 Flanges with intermediate stiffeners		5.5.3.4.3 Webs with up to two intermediate stiffeners	
(12) The effective section properties of the stiffeners at serviceability limit states should be based on the design thickness t .			

E' quindi necessario rivedere il progetto e, senza modificare la geometria, è necessario limitare il carico di esercizio a **1,3 kN/m²**. Di seguito le verifiche corrette nella sezione di appoggio. Verifiche di resistenza in corrispondenza dell'appoggio intermedio in condizioni normali e di esposizione al fuoco:

LEMBO COMPR	normale	$M_{c,Rd} = f_{yb} / \gamma_{Mo} \cdot W_{eff,c}$	$M_{Ed} / M_{c,Rd} = 0,745$	< 1	
	fuoco	$M_{fi,0,Rd} = f_{ye} / \gamma_{M,fi} / k \cdot W_{eff,c}$	$M_{Ed,fi} / M_{fi,0,Rd} = 0,634$	< 1	
LEMBO TESO	normale	$M_{t,Rd} = f_{yb} / \gamma_{Mo} \cdot W_{eff,t}$	$M_{Ed} / M_{t,Rd} = 0,629$	< 1	
	fuoco	$M_{fi,0,Rd} = f_{ye} / \gamma_{M,fi} / k \cdot W_{eff,t}$	$M_{Ed,fi} / M_{fi,0,Rd} = 0,535$	< 1	
		$(M_{Ed} / M_{Rd})_{max} + R_i = 0,745$	≤ 1	$(M_{Ed,fi} / M_{V,Rd,fi})_{max} + R_i = 0,634$	≤ 1
		$(M_{Ed} / M_{Rd})_{max} + F_{Ed} / R_{w,Rd} = 1,210$	$\leq 1,25$	$(M_{Ed,fi} / M_{fi,0,Rd})_{max} + F_{Ed,fi} / R_{w,Rd,fi} = 1,159$	$\leq 1,25$

Verifica di deformazione per la lamiera protetta:

VERIFICA DI DEFORMAZIONE			
Freccia massima	$f_{max} =$	<input type="text" value="11,154"/>	mm = L / 314 < L / 300 = mm11,666667
Distanza da "A"	$x_A =$	<input type="text" value="1,474"/>	m campata di estremità
5.5.3.4.2 Flanges with intermediate stiffeners		5.5.3.4.3 Webs with up to two intermediate stiffeners	
(12) The effective section properties of the stiffeners at serviceability limit states should be based on the design thickness t .			

Commenti all'esempio di calcolo:

L'esempio presentato è un caso di validazione del programma anche se il calcolo manuale, per ovvie ragioni, segue un percorso semplificato e limitato a poche verifiche essenziali. Dal confronto traspare una buona coincidenza tra il calcolo manuale e quello automatico eseguito col programma ColdformEC3 tenendo conto che nel calcolo automatico si è considerata la geometria del profilo proposto riferita all'asse medio della lamiera. Vanno evidenziati e giustificati i seguenti punti di conflitto:

nel calcolo manuale, la geometria della sezione non tiene conto del raggio di piega degli irrigidimenti. Una variazione da valori compresi tra lo spessore della lamiera e 3 volte lo spessore della stessa produce risultati sensibilmente diversi nella verifica. Il calcolo automatico è eseguito assumendo un raggio di piega degli irrigidimenti pari a 1 mm.

Il procedimento iterativo del calcolo della sezione efficace utilizzato dal programma automatico produce un risultato più corretto

Nel calcolo automatico della freccia viene tenuto in conto un momento di inerzia del profilo mediato tra quello della sezione lorda e quello della sezione efficace (EN 1993-1-3 § 7.1 (3)) calcolato in base ad una tensione massima (di trazione o compressione) ricercata nella sezione più sollecitata (nell'esempio la sezione di appoggio). Nel calcolo manuale il momento di inerzia è quello della sola sezione efficace.

Nel calcolo manuale dell'inerzia per il calcolo della freccia $\sigma_{com,Ed,ser}$ è dato da

$$\sigma_{com,Ed,ser} = \frac{M_{Ed,ser}}{W_{eff,min}} = 186 \text{ N/mm}^2$$

Il modulo di resistenza $W_{eff,min}$ è conservativamente approssimato a quello allo SLU.

Nel calcolo automatico $W_{eff,min}$ è riferito alla sezione con la sola flangia compressa efficace e la tensione di compressione per lo S.L.S. vale:

$$\sigma_{com,Ed,ser} = 153 \text{ N/mm}^2 \text{ meno conservativo ma ottimizzante.}$$

A completamento del capitolo sulle lamiere grecate si riporta, nella seconda parte di questo articolo, il calcolo completo della lamiera oggetto di verifica eseguito col programma "ColdformEC3".