



**LAMIERE GRECATE IN ACCIAIO
PIEGATO A FREDDO
COLLABORANTI PER SOLETTE
IN C.A.**

Domenico Leone



LAMIERE GRECATE IN ACCIAIO PIEGATO A FREDDO COLLABORANTI PER SOLETTE IN C.A.

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.

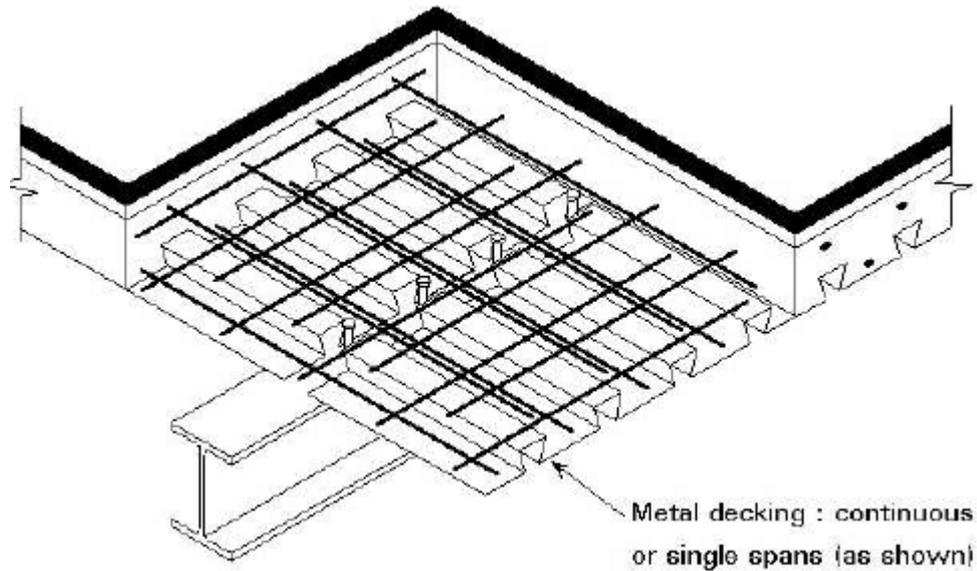
La presente pubblicazione è tutelata dalla legge sul diritto d'autore e non può essere divulgata senza il permesso scritto dell'autore.

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

Indice

Parte I	Lamiere Grecate in acciaio piegato a freddo collaboranti per solette in C.A.	4
1	Generalità	5
2	Esempio di progetto	9
	Verifica della lamiera grecata in fase di getto	12
	Verifica della soletta collaborante in fase finale	15

1 Lamiere Grecate in acciaio piegato a freddo collaboranti per solette in C.A.

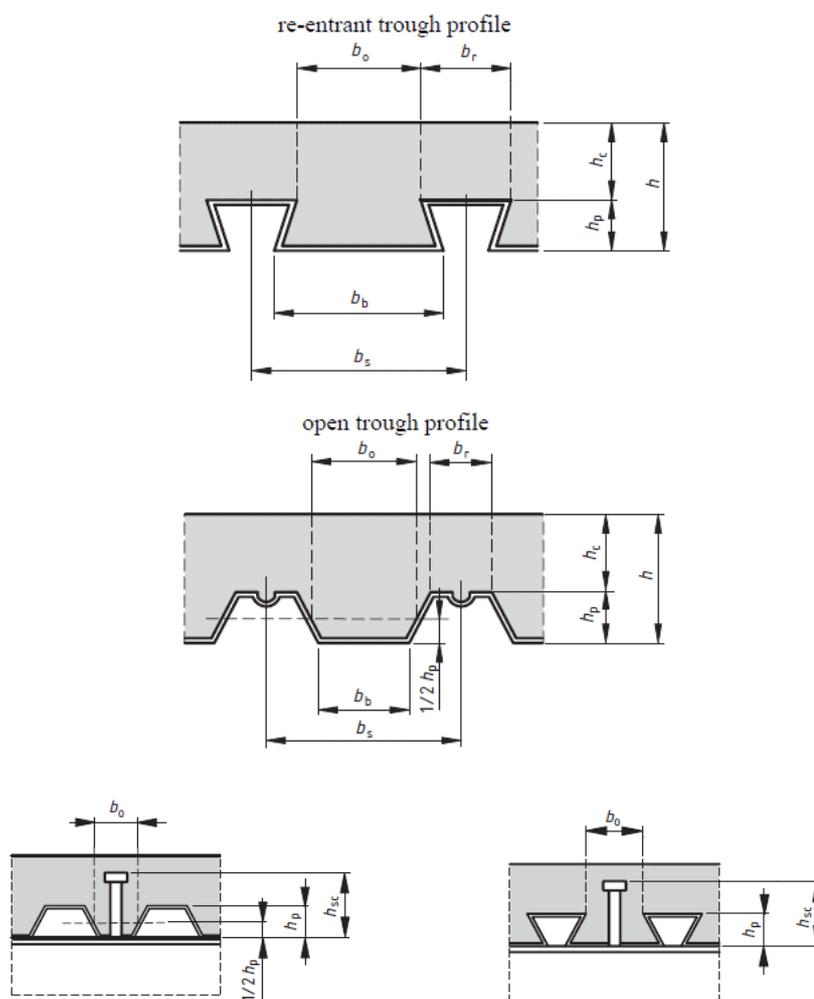


In questa comunicazione vengono presentate le peculiarità del programma di calcolo automatico di lamiere grecate per solette collaboranti denominato "ColdFormEc4"; viene illustrata la sua applicazione con riferimento ad un caso reale di solaio progettato anche in condizioni di incendio standard.

1.1 Generalità

In generale il programma esegue la verifica di sezioni miste costituite da soletta in C.A. gettata su lamiera grecata irrigidita o no resa collaborante agli effetti del taglio longitudinale sia per mezzo di “dentellature” o “imbutiture” sia per effetto dell’attrito tra le superfici di contatto dei due materiali (ma solo per profili di forma rientrante) sia con l’ausilio di **pioli elettrosaldati sulle travi di appoggio**.

Gli schemi analizzati sono di seguito rappresentati.



Il programma “ColdFormEC4” è strutturato in due versioni “**Industry**” e “**Professional**”; la prima versione è dedicata principalmente ai produttori di lamiere grecate poiché, attraverso un input agevolato e limitato, consente l’elaborazione automatica di tabelle standard di portata sia della lamiera in fase di getto che della lamiera collaborante in fase finale.

La versione “Professional”, di seguito applicata ad un caso reale, consente di eseguire il calcolo di verifica di solai specifici in forma di relazione finale particolarmente utile per i progettisti che devono certificare l’idoneità della soletta collaborante alle situazioni di impiego richieste dalla committenza non ultima la **resistenza la fuoco**.

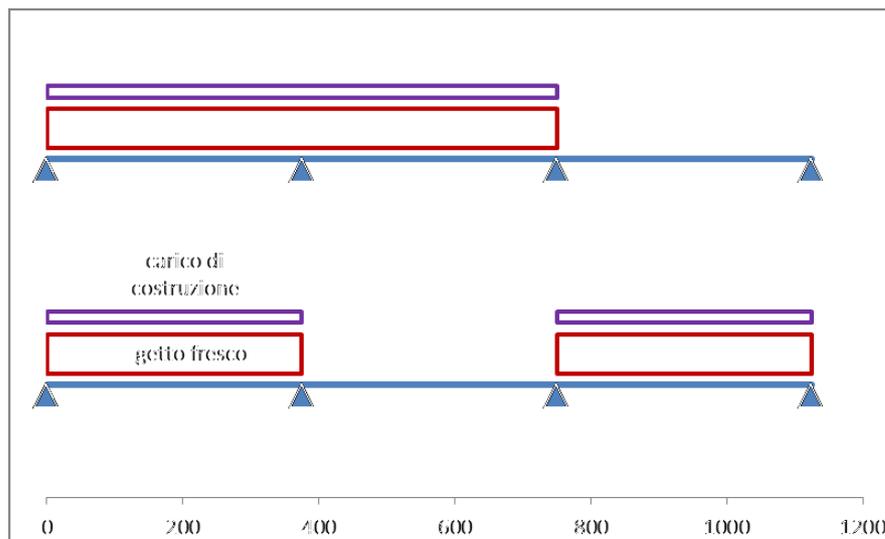
La sezione mista è esaminata nelle due fasi di realizzazione della soletta ovvero:

- a) nella fase iniziale di “getto” in cui la parte resistente è costituita dalla sola lamiera grecata che può essere resa **continua con supporti provvisori intermedi equidistanti**
- b) nella fase finale di “soletta mista” considerata come una serie di **elementi semplicemente appoggiati (item 9.4.2 (5) – EN 1994-1-1)** in cui la lamiera grecata è collaborante con la soletta in C.A. e sopporta oltre ai carichi permanenti “portati” anche il sovraccarico di progetto.

E’ possibile eseguire la verifica allo S.L.S. di solette continue su più appoggi tenendo conto delle caratteristiche della sezione fessurata e conseguentemente di un valore mediato dell’inerzia omogeneizzata.

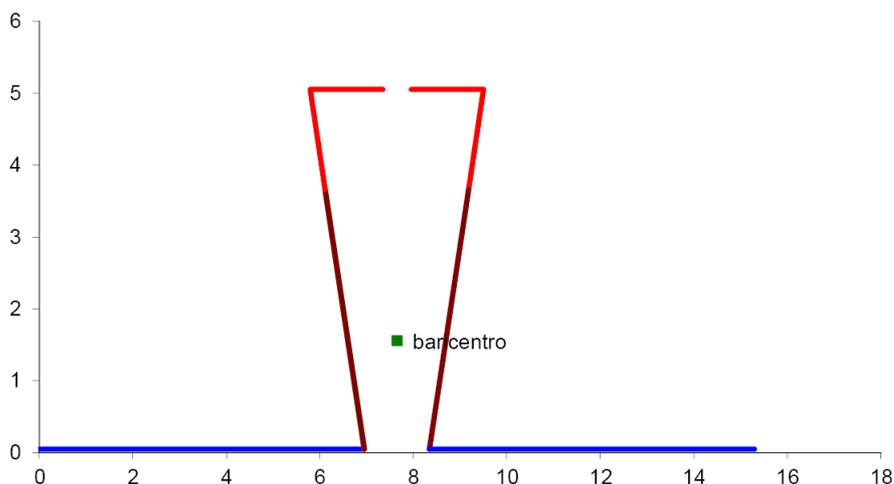
Ciò consente un migliore sfruttamento della sezione dal punto di vista della deformazione ammessa.

Il calcolo delle sollecitazioni in fase di “getto” è eseguito in base ad un carico uniformemente distribuito che tiene conto sia dell’effetto di accumulo del calcestruzzo “bagnato” (carico di costruzione) sia dell’incremento di spessore della “gettata” dovuto alla freccia iniziale. Per lamiere continue su più appoggi, il carico è disposto automaticamente nella posizione più sfavorevole sia per le sollecitazioni in campata che sugli appoggi e viene graficizzato nella scala reale come di seguito rappresentato.



Come già accennato in precedenza, è prevista la possibilità di verifica delle solette in condizione di incendio sia in assenza di protezioni termiche sia in presenza di queste, raccolte in una banca dati per differenti tipologie e caratteristiche. L’esempio che segue riporta la verifica in condizioni di incendio di una soletta non protetta.

Il programma consente la visualizzazione istantanea della sezione del profilo (completo di irrigidimenti delle flange e delle anime se previsti) man mano che la geometria viene definita. Anche le sezioni parzializzate in campata e all’appoggio, **durante la fase di getto**, sono automaticamente “disegnate” con colorazione variabile dal blu al rosso passando dalle parti tese alle parti compresse.



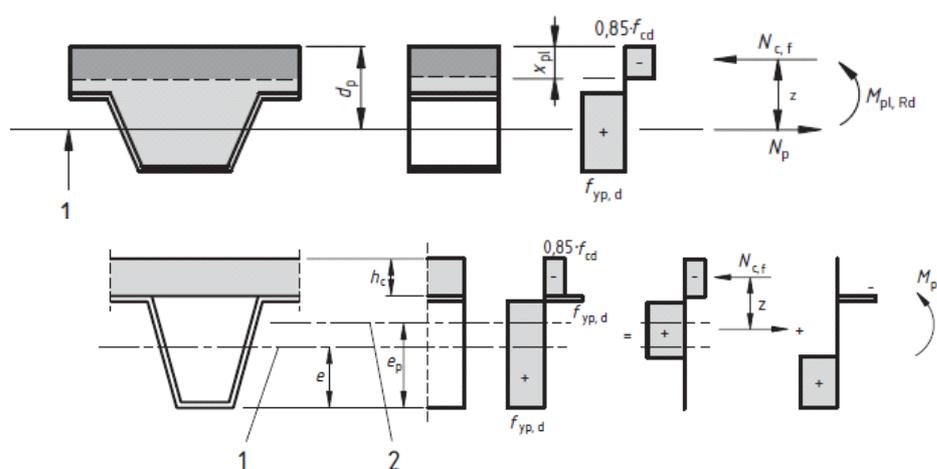
E' tenuto in conto anche l'effetto dello "shear lag" in base all'item 6.1.4.1 (4) della EN 1993-1-3 se le condizioni geometriche lo richiedono.

L'analisi della **soletta collaborante** è eseguita col **metodo elastico lineare** sia per lo S.L.U. che per lo S.L.S. (item 9.4.2 EN 1994-1-1).

In accordo con l'item 9.8.1 (2) della EN 1994-1-1 per soletta continua **progettata come serie di elementi semplicemente appoggiati**, si considera una armatura di rinforzo sugli appoggi intermedi di area $> 0,2\%$ della sezione del calcestruzzo al di sopra della greca se la soletta è gettata con supporti provvisori intermedi altrimenti l'area dell'armatura deve essere $> 0,4\%$ della stessa sezione di calcestruzzo.

Per la verifica di resistenza al fuoco va considerata la presenza di questa armatura e incrementata se non sufficiente.

Il calcolo della soletta composta è eseguito in base alla posizione dell'asse neutro plastico secondo gli schemi di seguito riportati

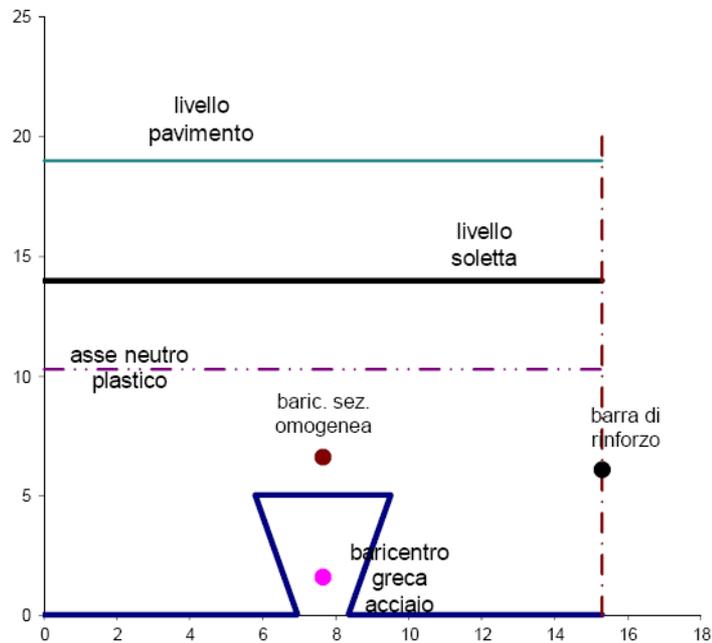


Key

- 1 centroidal axis of the profiled steel sheeting
- 2 plastic neutral axis of the profiled steel sheeting

La deformazione dovuta ai carichi uniformi applicati alla soletta composta è calcolata usando l'analisi elastica in accordo con la Sezione 5 della EN 1994-1-1 trascurando l'effetto del ritiro del calcestruzzo.

Il programma graficizza le caratteristiche della sezione collaborante come di seguito rappresentato



La resistenza al taglio longitudinale è valutata secondo 3 differenti criteri (a scelta):

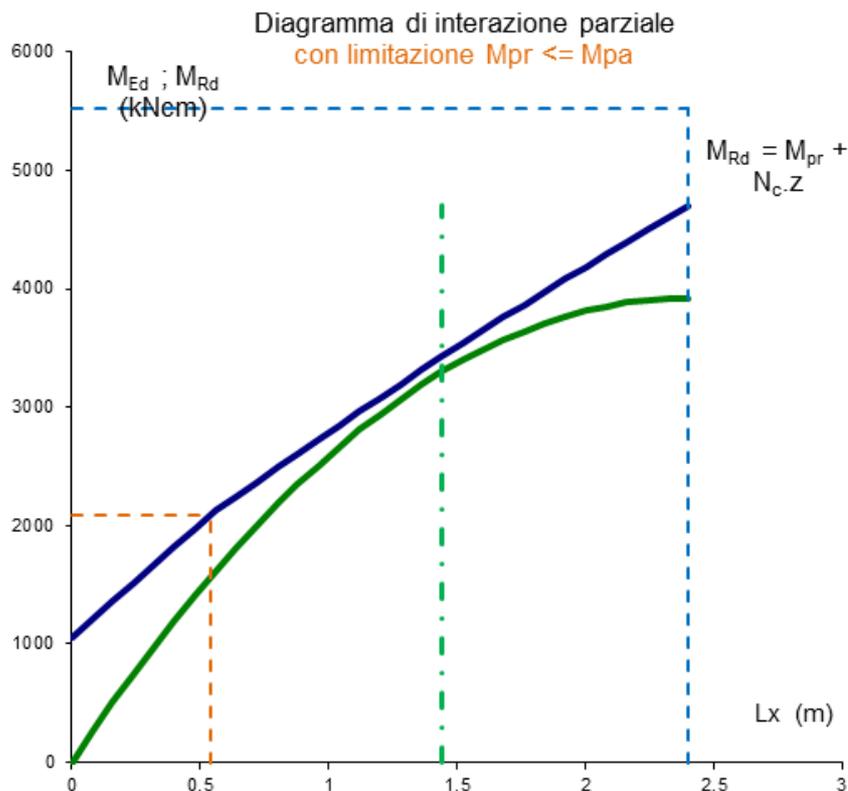
1. metodo "m-k"; item 9.7.3 (2),(4),(5) EN 1994-1-1
2. metodo di "interazione parziale"; item 9.7.3 (7),(8),(9) EN 1994-1-1
3. metodo di "interazione parziale" **con ancoraggi di estremità**; item 9.7.4

in quest'ultimo caso viene valutata sia la resistenza a trazione della lamiera vincolata agli ancoraggi sia la resistenza degli stessi (pioli elettrosaldati) previa definizione da input dell'altezza, del diametro, del N° / greca e della distanza dal bordo della lamiera.

La possibilità di utilizzare calcestruzzi alleggeriti o di caratteristiche diverse da quello standard per i solai è consentita definendo **da input** il valore del **coefficiente di omogeneizzazione**.

Il metodo di **interazione parziale** è visualizzato dal programma attraverso un grafico che riporta l'andamento **linearizzato** del Momento Resistente in rapporto alla curva del Momento di progetto.

Analogha rappresentazione grafica è eseguita per il metodo di interazione parziale in condizione di incendio



1.2 Esempio di progetto

Il progetto riguarda un solaio collaborante gettato su travi di appoggio poste alla distanza di 4,8 m con lamiera grecata continua **puntellata** ad intervalli di 2,4 m.

La lamiera grecata è un profilo rientrante in acciaio S350GD, di altezza 51 mm, interasse greche 153 mm e spessore 0,9 mm.

La soletta ha uno spessore di 140 mm con sovrastante sottofondo e pavimentazione di spessore complessivo pari a 50 mm.

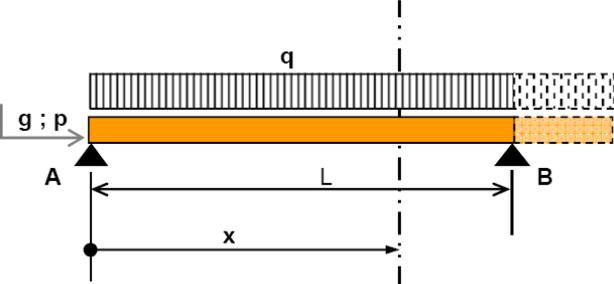
Il carico in fase iniziale di getto è dato dal peso della lamiera e dell'armatura di ripartizione più il peso del calcestruzzo bagnato più un carico di costruzione assunto pari a 1 kN/m^2 (accumulo prima della "spalmatura").

Il carico in fase finale (soletta consolidata) è dato da un sovraccarico di esercizio "quasi permanente" pari a 5 kN/m^2 più un carico permanente dovuto al peso della pavimentazione, sottofondo e impianti fissi pari a $1,2 \text{ kN/m}^2$.

La freccia è limitata a $L_i/180$ in fase iniziale di getto e a $L_f/250$ in fase finale di solaio collaborante.

E' richiesta una resistenza al fuoco REI 90 senza alcuna protezione termica per un ambiente suscettibile di affollamento (categoria C)

La seguente schermata illustra i dati di input al progetto:



verifica in condizioni normali e di resistenza al fuoco

Q = sovraccarico quasi permanente

$$S_{Ed} = \gamma_G \cdot G + \gamma_Q \cdot [\psi \cdot Q]$$

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

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

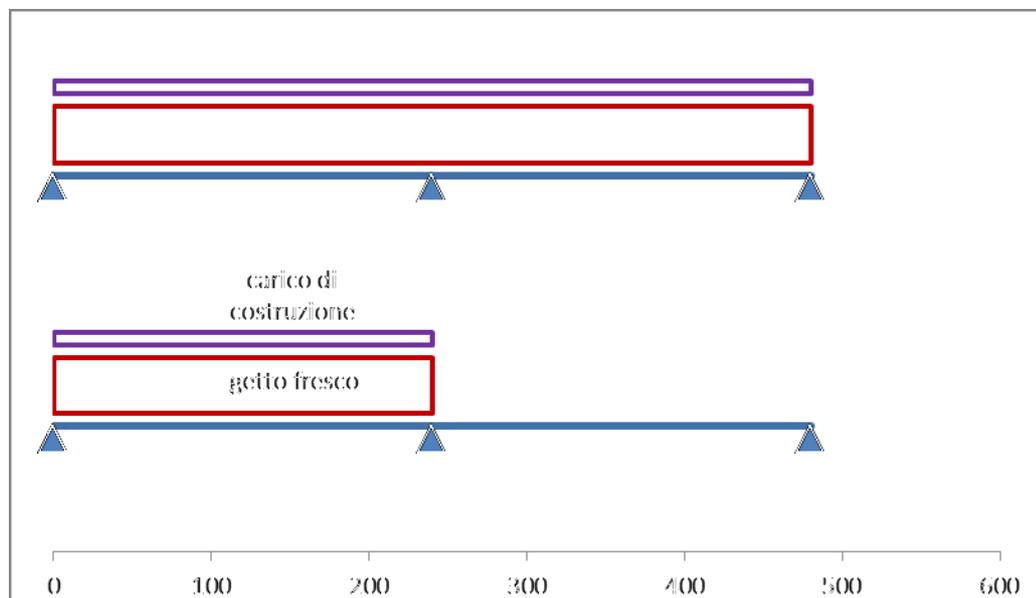
fattore di comb. per azioni variabili :
 $\eta_{fi} = 0,553$ Categoria C $\psi_i = 0,6$

fattore di adattamento $k = k1 \cdot k2$:
 $k1 = 0,7$ $k2 = 1,0$

SPESORE SOLETTA SOPRA GRECA $h_c = 89$ mm
 AREA SEZIONE CALCESTRUZZO / m $A_c = 1305$ cm²
 SOVRASPESSORE PER FRECCIA $\delta h = 0,00$ mm

MODULO DI ELASTICITA'	E =	210000	41422	N/mm ²
MOMENTO DI INERZIA (S.L.S.) / m	$I_{y,eff}$ =	58,12	sez. efficace	cm ⁴
DISTANZA TRA GLI APPOGGI	L =	INIZIALE 2,40	FINALE 4,80	m
CARICHI PERMANENTI INIZIALI / m	g =	4,468	4,468 kN/m	kN/m $p.g = 1,000$ kN/m
CARICHI PERMANENTI FINALI / m	p =	4,537	4,537 kN/m	kN/m $p.p = 1,200$ kN/m
CARICO VARIABILE UNIFORME / m	q =	5,000	/ m larghezza	kN/m (*)
FRECCIA AMMISSIBILE	$L / f_a =$	INIZIALE 180	FINALE 250	
SCHEMA STATICO INIZIALE	elemento	continuo	3 appoggi	
SCHEMA STATICO FINALE (S.L.U.)	elemento	semplicemente appoggiato		n° appoggi per S.L.S. 2
ASCISSA DI RIFERIMENTO max M	X =	INIZIALE 0,96	FINALE 2,40	m

La distribuzione del carico in fase di getto è di seguito rappresentata:



Il calcolo delle sollecitazioni produce i seguenti effetti:

SOLLECITAZIONI PER LO STATO LIMITE ULTIMO - CONDIZIONI NORMALI						
REAZIONI - MOMENTI - TAGLI		CARICHI INIZIALI		u.m.	CARICHI FINALI	u.m.
REAZIONE APPOGGIO A	$R_A =$	6,46		kN	32,70	kN
REAZIONE APPOGGIO B	$R_B =$	18,55		kN	32,70	kN
SEZIONE DI RIFERIMENTO		SEZ. 1	SEZ. 2		SEZ. 1	SEZ. 2
MOMENTO FLETTENTE IN X	$M_y =$	335,53	-445,09	kNcm	3923,99	0,00
TAGLIO A SX. DELLA SEZ. X	$T_{sx} =$	2,33	9,27	kN	0,00	32,70
TAGLIO A DX. DELLA SEZ. X	$T_{dx} =$	2,33	9,27	kN	0,00	32,70
SOLLECITAZIONI PER LO STATO LIMITE DI SERVIZIO - CONDIZIONI NORMALI						
REAZIONI - MOMENTI - TAGLI		CARICHI INIZIALI		u.m.	CARICHI FINALI	u.m.
REAZIONE APPOGGIO A	$R_A =$	3,62		kN	14,88	kN
REAZIONE APPOGGIO B	$R_B =$	10,40		kN	14,88	kN
SEZIONE DI RIFERIMENTO		SEZ. 1	SEZ. 2		SEZ. 1	SEZ. 2
MOMENTO FLETTENTE IN X	$M_y =$	187,74	-249,70	kNcm	1785,60	0,00
TAGLIO A SX. DELLA SEZ. X	$T_{sx} =$	1,29	5,20	kN	0,00	14,88
TAGLIO A DX. DELLA SEZ. X	$T_{dx} =$	1,29	5,20	kN	0,00	14,88
SOLLECITAZIONI PER LO STATO LIMITE DI RESISTENZA AL FUOCO						
REAZIONI - MOMENTI - TAGLI		FATTORE DI RIDUZIONE			CARICHI FINALI	u.m.
REAZIONE APPOGGIO A	$R_A =$	$\eta_{fi} = \frac{G_k + \psi_{fi} Q_{k,1}}{\gamma_G G_k + \gamma_{Q,1} Q_{k,1}}$			18,09	kN
REAZIONE APPOGGIO B	$R_B =$				18,09	kN
SEZIONE DI RIFERIMENTO		SEZ. 1	SEZ. 2		SEZ. 1	SEZ. 2
MOMENTO FLETTENTE IN X	$M_y =$	2170,66	0,00	kNcm	0,00	18,09
TAGLIO A SX. DELLA SEZ. X	$T_{sx} =$	0,00	18,09	kN	0,00	18,09
TAGLIO A DX. DELLA SEZ. X	$T_{dx} =$	0,00	18,09	kN	0,00	18,09

I dati di progetto della lamiera grecata sia in fase di getto che in fase finale per la resistenza al fuoco sono di seguito riassunti:

LAMIERA GRECATA - VERIFICA SECONDO EN 1993-1-3 ; EN 1994-1-1 e EN 1994-1-2								
TIPO lamiera rientrante 0,9 mm				APPOGGI SENZA ELEMENTI DI IRRIGIDIMENTO DELLE ANIME				
MATERIALE	$f_{yb} = \text{N/mm}^2$	350	$f_{va} = \text{N/mm}^2$	355,6	$f_{ye} = \text{N/mm}^2$	112	$\epsilon = 0,82$	
S350GD-EN10147	$\theta_{a,cr} = ^\circ\text{C}$	622	$\theta_{c,t} = ^\circ\text{C}$	663	$c_c = \text{J/kgK}$	1100	$\lambda_c = \text{W/mK}$	0,85
NESSUN IRRIGIDIM. SUPERIORE	NESSUN IRRIGIDIM. INFERIORE	SEZ. NON PROTETTA		N° 3 lati esposti				
h_3 (mm)	sol. h_s (mm)	TIPO DI PROTEZIONE TERMICA	SPESS. (mm)	ρ_p (kg/m ³)	h_{eff} (mm)	$h_{eff,min}$ (mm)	REI	
50	140			0	131,20	> 50,00	R 90	
S.L.U.	SOLLECITAZIONI IN CONDIZIONI INIZIALI		rapp. equiv.	PARAMETRI PER RESISTENZA AL FUOCO				
u.m./m	SEZIONE IN CAMPATA	SEZIONE ALL'APPOGGIO	0	$\theta_{a,1} = ^\circ\text{C}$	961	$k_{y,\theta,1} =$	0,048	
kNcm	$M_{Ed,c} =$	$M_{Ed,a} =$		$\theta_{a,w} = ^\circ\text{C}$	782	$k_{y,\theta,w} =$	0,131	
kN	$V_{Ed,c} =$	$F_{Ed,a} =$		$\theta_{a,u} = ^\circ\text{C}$	582	$k_{y,\theta,u} =$	0,527	
				Distanza iniziale tra gli appoggi	$a_i = \text{m}$		2,40	
				Altezza totale del profilo	$h = \text{mm}$		51	
				Larghezza 1 flangia superiore	$b_f = \text{mm}$		38	
				Larghezza 1 flangia inferiore	$b_i = \text{mm}$		140	
				Spessore di progetto lamiera	$t = \text{mm}$		0,9	
				Raggio raccordo anima-flangia	$r = \text{mm}$		3,00	
				Raggio di piega irrigidimenti	$r_s = \text{mm}$			
				Interasse greche	$i_g = \text{mm}$		153	

Dalla precedente maschera si può notare il calcolo dei parametri per la resistenza al fuoco

ovvero le temperature della lamiera delle 3 facce esposte (faccia inferiore, anime e faccia superiore) ed i parametri k per la riduzione della resistenza dell'acciaio alla rispettiva temperatura di progetto. La verifica nel dominio delle temperature non è soddisfatta poiché la temperatura massima della lamiera (calcolata per una classe REI 90 senza protezione termica (961 K) è maggiore della temperatura critica dell'acciaio (622 K) riferita al tempo $t = 0$ e ad un grado di utilizzo pari a 0,55 (inteso come rapporto tra il momento massimo per la condizione di incendio e il momento massimo a temperatura ambiente).

Il calcolo è quindi eseguito in base al criterio "R" (di resistenza) di seguito esposto.

La temperatura $\theta_{ct} = 663 \text{ }^\circ\text{C}$ è la temperatura della soletta collaborante ed è calcolata con riferimento all'altezza efficace $heff$ e al tempo di esposizione al fuoco; è utilizzata per il controllo del criterio "T" ovvero per garantire il funzionamento a "schermo protettivo" della soletta con temperature sulla faccia non esposta $< 140 \text{ }^\circ\text{C}$. In questo caso viene calcolato il tempo di esposizione massimo atto a garantire la condizione detta.

1.2.1 Verifica della lamiera grecata in fase di getto

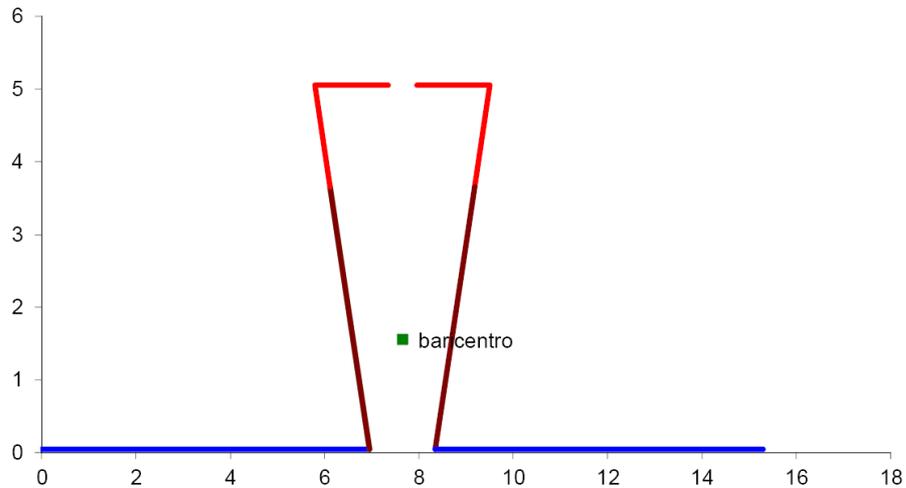
Poiché la lamiera grecata è di spessore relativamente piccolo va tenuta in conto nel calcolo la sua sezione efficace a flessione nonché l'eventuale ulteriore riduzione dello spessore della flangia compressa dovuta allo "shear lag" (interazione taglio anima con resistenza flangia).

Devono essere quindi calcolati i moduli di resistenza efficaci al lembo teso e compresso della greca sia in campata che sull'appoggio utilizzando il metodo iterativo della norma EN 1993-1-3. La seguente maschera riassume il calcolo per la sezione in campata da cui si evidenzia il fattore di riduzione per la flangia compressa definito al III° step di iterazione : $\rho_c''' = 0,835$

$\chi_d =$		fattore di riduzione per gli irrigidimenti :		flangia	$\chi_{d,s} = 1,00000$	N° irrig. = 0
				anime	$\chi_{d,sa} = 1,00000$	N° irrig. = 0
N° 3 passi di iterazione	flangia	$\rho_c' = 0,8353821$	↓ iterazione	$\chi_d' = 1$	$\lambda_{p,1}' = 0,8289039$	$\rho_{s,1}' = 0,8862176$
		$\rho_c'' = 0,8353821$		$\chi_d'' = 1$	$\lambda_{p,2}' = 0$	$\rho_{s,2}' = 1$
		$\rho_c''' = 0,8353821$		$\chi_d''' = 1$	$\lambda_{p,1}'' = 0,8289039$	$\rho_{s,1}'' = 0,8862176$
	anime	$\rho_c' = 1$	$\chi_d' = 1$	$\lambda_{p,2}'' = 0$	$\rho_{s,2}'' = 1$	
		$\chi_d' = 1$	$\chi_d'' = 1$	$\lambda_{p,1}''' = 0,8289039$	$\rho_{s,1}''' = 0,8862176$	
	$s_1; s_2 = \text{mm}$	0	0,00000	$\chi_d''' = 1$	$\lambda_{p,2}''' = 0$	$\rho_{s,2}''' = 1$
	parti non irrigidite	flangia		$\bar{\lambda}_d' = 0,9065608$	$\bar{\lambda}_d'' = 0,9065608$	$\bar{\lambda}_d''' = 0,9065608$
	anime		$\bar{\lambda}_d' = 0,6921267$			
parti irrigidite	flangia		$\bar{\lambda}_d' = 0$	$\bar{\lambda}_d'' = 0$	$\bar{\lambda}_d''' = 0$	
	anime		$\bar{\lambda}_d' = 0$			
interazione	flangia e anime		$\bar{\lambda}_d' = 0$	$\bar{\lambda}_d'' = 0$	$\bar{\lambda}_d''' = 0$	

Dalla stessa maschera si evidenzia il fattore di riduzione per eventuali pieghe di irrigidimento non presenti nel caso in esame.

La sezione efficace in campata è automaticamente disegnata:

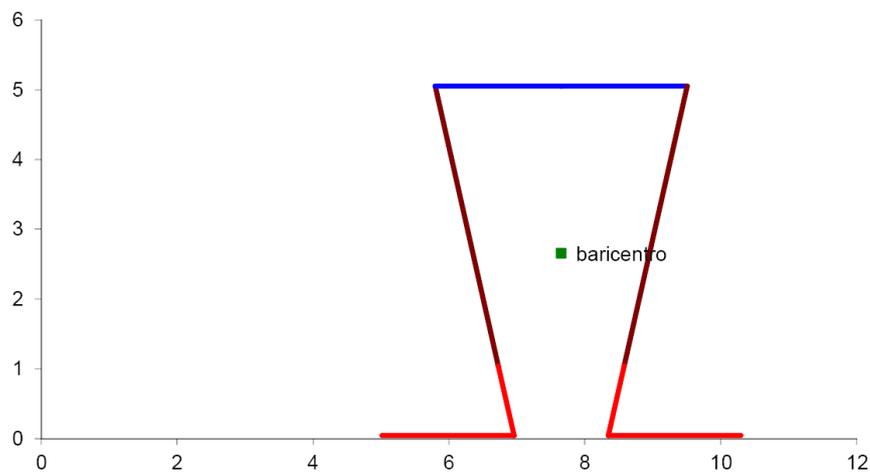


Analogo procedimento si esegue per la sezione sull'appoggio con i seguenti risultati:

fattore di riduzione per la flangia compressa definito al III° step di iterazione: $\rho_c''' = 0,280$

		$\chi_d =$ fattore di riduzione per gli irrigidimenti :		flangia		$\chi_{d,s} = 1,00000$ N° irrig. = 0	
				anime		$\chi_{d,sa} = 1,00000$ N° irrig. = 0	
N° 3 passi di iterazione	flangia	$\rho_c' = 0,2796832$	$\chi_d' = 1$	$\lambda_{p,1}' = 3,2639625$	$\rho_{s,1}' = 0,2857255$		
		$\rho_c'' = 0,2796832$	$\chi_d'' = 1$	$\lambda_{p,2}' = 0$	$\rho_{s,2}' = 1$		
		$\rho_c''' = 0,2796832$	$\chi_d''' = 1$	$\lambda_{p,1}'' = 3,2639625$	$\rho_{s,1}'' = 0,2857255$		
	anime	$\rho_c' = 1$	$\chi_d' = 1$	$\lambda_{p,2}'' = 0$	$\rho_{s,2}'' = 1$		
	$S_1; S_2; S_{c,lor.}$	$\chi_d' = 1$	$\chi_d'' = 1$	$\lambda_{p,1}''' = 3,2639625$	$\rho_{s,1}''' = 0,2857255$		
	0	0,00000	51,425383	$\lambda_{p,2}''' = 0$	$\rho_{s,2}''' = 1$		
	parti non irrigidite	flangia	$\bar{\lambda}_d' = 3,3399607$	$\bar{\lambda}_d'' = 3,3399607$	$\bar{\lambda}_d''' = 3,3399607$		
	$\bar{\lambda}_d = (f_y / \sigma_{cr,c})^{0,5}$	anime	$\bar{\lambda}_d' = 0,4925273$				
	parti irrigidite	flangia	$\bar{\lambda}_d' = 0$	$\bar{\lambda}_d'' = 0$	$\bar{\lambda}_d''' = 0$		
	$\bar{\lambda}_d = (f_y / \sigma_{cr,s})^{0,5}$	anime	$\bar{\lambda}_d' = 0$				
interazione	flangia e anime	$\bar{\lambda}_d' = 0$	$\bar{\lambda}_d'' = 0$	$\bar{\lambda}_d''' = 0$			

La sezione efficace sull'appoggio è automaticamente disegnata:



Di seguito si riportano i moduli di resistenza della sezione efficace inflessa in campata e sull'appoggio e la relativa verifica di resistenza in fase di getto.

CAMPATA:

	Area sez. ridotta	$A_r'' = A_{eff}$	2,418	cm ²
	Posizione baricentro	$z_G'' =$	15,578	mm
	Momento di inerzia	$I_r'' =$	8,836	cm ⁴
6.1.4.1	Modulo di res. superiore	$W_{eff,c} =$	2,495	cm ³
	Modulo di res. inferiore	$W_{eff,t} =$	5,672	cm ³
6.1.4.2	Mod. resist. parz. plast.	$W_{pp,eff} =$		cm ³

LEMBO COMPR	normale	$M_{c,Rd} = f_{yb} / \gamma_{Mo} \cdot W_{eff,c}$	$M_{Ed} / M_{c,Rd} =$	0,617	< 1
	fuoco	$M_{fi,\theta,Rd} = \sum A_i \cdot z_i \cdot f_{yb} / \gamma_{M,fi} + \alpha \cdot A_c \cdot z_c \cdot f_{cb} / \gamma_{M,fi,c}$	$M_{Ed,fi} / M_{fi,\theta,Rd} =$	0,874	< 1
LEMBO TESO	normale	$M_{t,Rd} = f_{yb} / \gamma_{Mo} \cdot W_{eff,t}$	$M_{Ed} / M_{t,Rd} =$	0,272	< 1
		$(M_{Ed} / M_{Rd})_{max} + R_i =$	0,617	< 1	$(M_{Ed,fi} / M_{V,Rd,fi}) =$

APPOGGIO:

	Area sez. ridotta	$A_r'' = A_{eff}$	1,504	cm ²
	Posizione baricentro	$z_G'' =$	26,572	mm
	Momento di inerzia	$I_r'' =$	5,519	cm ⁴
6.1.4.1	Modulo di res. superiore	$W_{eff,t} =$	2,259	cm ³
	Modulo di res. inferiore	$W_{eff,c} =$	2,077	cm ³
6.1.4.2	Mod. resist. parz. plast.	$W_{pp,eff} =$		cm ³

LEMBO COMPR	normale	$M_{c,Rd} = f_{yb} / \gamma_{Mo} \cdot W_{eff,c}$	$M_{Ed} / M_{c,Rd} =$	0,984	< 1	
LEMBO TESO	normale	$M_{t,Rd} = f_{yb} / \gamma_{Mo} \cdot W_{eff,t}$	$M_{Ed} / M_{t,Rd} =$	0,904	< 1	
		$(M_{Ed} / M_{Rd})_{max} + R_i =$	0,984	<= 1	$(M_{Ed} / M_{Rd})_{max} + F_{Ed} / R_{w,Rd} =$	1,220 <= 1,25

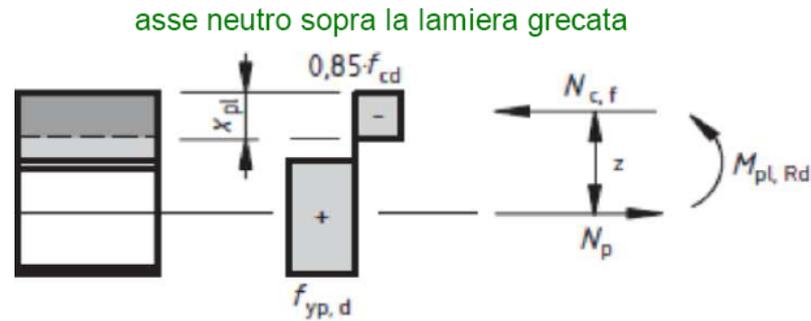
1.2.2 Verifica della soletta collaborante in fase finale

Le caratteristiche del calcestruzzo e le sollecitazioni in campata sia per la condizione normale che per la condizione di incendio sono di seguito rappresentate:

SOLETTA IN C.A. - VERIFICA SECONDO EN 1994-1-1 e EN 1994-1-2					
C.A. NORMALE	$\rho_c = \text{kg/m}^3$ 2450	$f_{ck} = \text{N/mm}^2$ 25	$f_{cd} = \text{N/mm}^2$ 16,67	classe ρ_c	normale
S.L.U.	SOLLECITAZIONI IN CONDIZIONI FINALI		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	$M_{Ed,c} =$ 3923,99	$M_{Ed,a} =$ 0,00	kNcm	$M_{Ed,c,fi} =$ 2170,66	$M_{Ed,a,fi} =$ 0,00
kN	$V_{Ed,c} =$ 0,00	$F_{Ed,a} =$ 32,70	kN	$V_{Ed,c,fi} =$ 0,00	$F_{Ed,a,fi} =$ 18,09

Con riferimento alle figure delle sezioni della soletta riportate nella parte generale, vengono calcolate le caratteristiche geometriche della sezione collaborante e le forze interne di progetto.

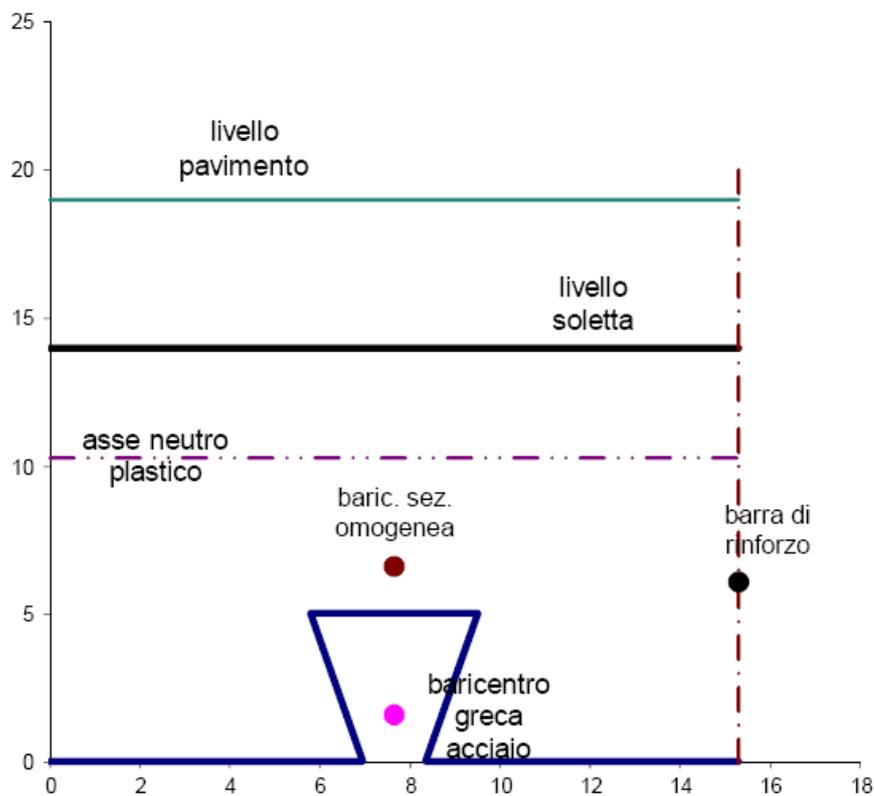
Distanza finale tra gli appoggi	$a_f = \text{m}$	4,80
Altezza totale della soletta	$h_s = \text{mm}$	140
Spessore "inerte" sopra soletta	$h_3 = \text{mm}$	50
Area della sezione lorda (1 greca)	$A_p = \text{cm}^2$	2,410
Asse baricentrico greca acciaio	$z_G = \text{mm}$	16,344
Asse neutro plastico greca acciaio	$z_N = \text{mm}$	0,901
Asse neutro plastico sez. collab.	$x_{pl} = \text{mm}$	37,057
asse neutro plastico sopra la greca in cond. normali		
Asse neutro plastico sez. collab.	$x_{pl,fi} = \text{mm}$	23,763
barre di rinforzo $\phi = \text{mm}$	10	$f_y = \text{N/mm}^2$ 500
acciaio barra laminato a caldo		$z = \text{mm}^{-0,5}$ 2,72
Larghezza efficace limite anime	$d_{eff,lim} =$	106,20
Larghezza efficace anime	$d_{eff} =$	48,15
Larghezza efficace limite flange	$c_{eff,lim} =$	48,67
Largh. efficace flangia tra irrigidim.	$c_{1,eff} =$	0,00
Largh. efficace flangia lato anima	$c_{2,eff} =$	37,10
Larghezza efficace flange	$c_{eff} =$	37,10
Area efficace della greca di acciaio	$A_{pe} = \text{cm}^2$	2,410
normale		
$M_{pa} =$	130,95	
$N_{cf} =$	80,321	
$z_a =$	105,128	
$L_x =$	2,400	
fuoco		
$M_{pa,fi} =$	43,95	kNcm
$N_{cf,fi} =$	51,506	kN
$z_{a,fi} =$	111,775	mm
$L_{x,fi} =$	2,177	m



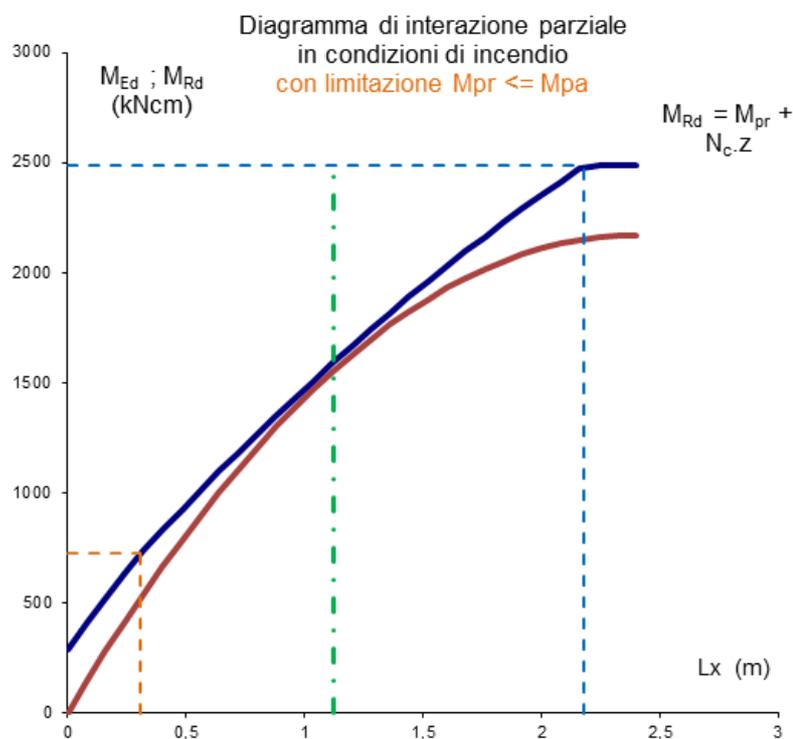
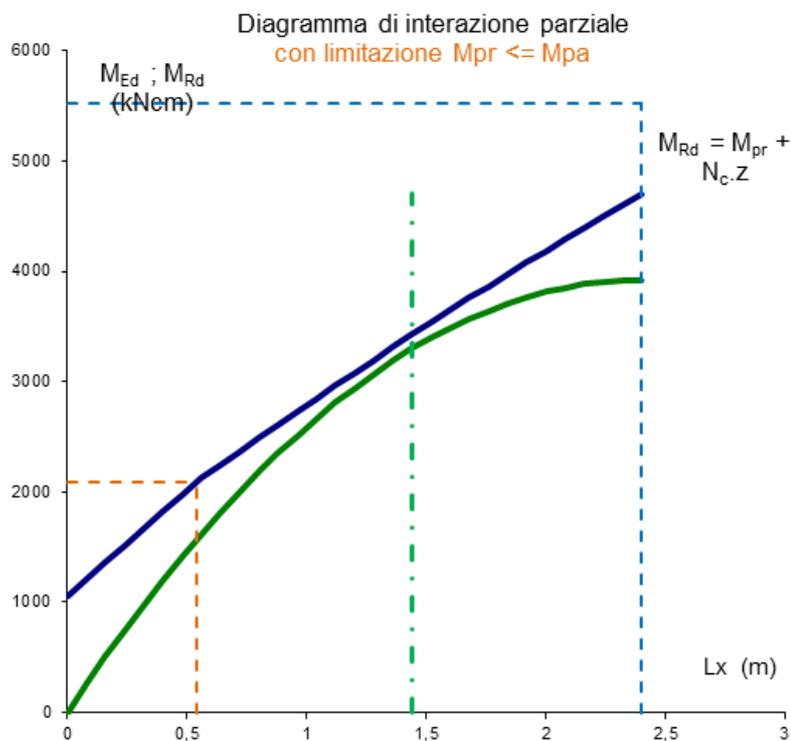
Si noti la possibilità di definire diametro e tipo delle barre di rinforzo richieste per la resistenza al fuoco; nel caso in esame è sufficiente 1 barra ϕ 10 trafilata a caldo posizionata in asse a ciascuna greca e a 10 mm sopra la lamiera.

La lunghezza richiesta per la resistenza al taglio longitudinale L_x è definita dal criterio di verifica scelto. Poiché la normativa italiana prevede l'utilizzo del "metodo di interazione parziale" nel seguito del progetto si farà riferimento a questo criterio. All'interno della lunghezza di scorrimento L_x viene ricercata l'ascissa L_s in corrispondenza della quale si ha la minor differenza tra il momento resistente di progetto ed il momento flettente in condizioni normale e di incendio come rappresentato nei grafici che seguono.

Il valore della resistenza allo scorrimento ($\tau_{u,Rd}$) è un parametro sperimentale fondamentale che deve essere fornito dal produttore delle lamiere collaboranti.



Diagrammi di interazione parziale in condizioni normali e di incendio.



La resistenza alla flessione in condizioni normali e di incendio è effettuata confrontando il relativo momento resistente col momento flettente di progetto **nella sezione a distanza L_s**

dall'appoggio in conformità al criterio di verifica prescelto (interazione parziale):

resistenza di progetto al taglio longitudinale

metodo di "interazione parziale" - item 9.7.3 (7) (8) (9)

	normale		fuoco	
Tu,Rd =	0,165	Tu,Rd =	0,115	N/mm ²
fatt. nom.	0,5	fatt. nom.	0	
Nc.max =	63,09	Nc.max =	38,30	kN < Ncf
Mrd =	3424,51	> MEd =	3296,15	kNcm/m
Mrd,fi =	1589,78	> Med,fi =	1553,22	kNcm/m

Nel caso in cui la verifica non sia soddisfatta possono essere previsti pioli di ancoraggio elettrosaldati sulle travi di appoggio. In questo caso devono essere definite le caratteristiche ed il numero dei pioli; la verifica del solaio collaborante è la seguente:

pioli di ancoraggio (u.m. N, mm)						normale		fuoco	
altezza	diametro	n° greca	dist.bordo	rottura (fu)	Tu,Rd =	0,165	Tu,Rd =	0,115	N/mm ²
100	16	1	35	450	fatt. nom.	0,5	fatt. nom.	0	
bo = 115 mm		kt = 0,85			Nc.max =	78,87	Nc.max =	38,31	kN < Ncf
resistenza pioli		44,44		kN	Mrd =	4581,43	> MEd =	3570,83	kNcm/m
resistenza lamiera		15,78		kN	Mrd,fi =	2212,13	> Med,fi =	1878,82	kNcm/m
				fuoco					
				5,30					

Infine deve essere eseguita la verifica a taglio sugli appoggi secondo il criterio di seguito esposto sia per la condizione normale che per la condizione di incendio:

$$\text{VERIFICA A TAGLIO : } V_{Rd,c} = [C_{Rd,c} k (100 \rho_1 f_{ck})^{1/3} + k_1 \sigma_{cp}] b_w d \geq V_{Rd,c} = (v_{\min} + k_1 \sigma_{cp}) b_w d$$

$k = 1 + \sqrt{\frac{200}{d}} \leq 2,0$	= 2,000	$v_{\min} = 0,035 k^{3/2} \cdot f_{ck}^{1/2}$	= N/mm ²	0,495	$V'_{Rd,c} = \text{kN}$	7,039
$\rho_1 = \frac{A_{sl}}{b_w d} \leq 0,02$	= 0,017	$b_w = \text{mm}$	115,00	$d = \text{mm}$	0,295	4,200
					$V_{Rd,c} = \text{kN}$	11,897
						8,432
$V_{Rd,c,1m} = \text{kN}$	77,76	>	32,70	kN	$V_{Rd,c,fi,1m} = \text{kN}$	55,11
						> 18,09

La verifica di deformazione è eseguita sia per la lamiera in fase di getto che per la soletta collaborante con i seguenti risultati:

VERIFICA DI DEFORMAZIONE		
$I_{fic} =$	8,892	cm ⁴
$I_{bu} =$	367,04	cm ⁴
$I_{bc} =$	198,14	cm ⁴
Freccia iniziale	$f_{max,i} =$	5,106 mm = L / 470 < L / 180 = mm 13,33
Freccia finale	$f_{max,f} =$	9,425 mm = L / 509 < L / 250 = mm 19,20
Distanza da "A"	X_A iniziale =	1,010 m
Distanza da "A"	X_A finale =	2,400 m
freccia iniz. < 1/10.h elemento semplicemente appoggiato		

Se la freccia iniziale supera 1/10 dell'altezza della soletta va considerato un carico aggiuntivo del calcestruzzo bagnato per uno spessore pari al 70% della freccia massima.

Si noti il calcolo dell'inerzia fessurata della soletta collaborante I_{bc} che viene utilizzata nel caso di solette calcolate come continue su più appoggi esclusivamente per lo **S.L.S.** . Viene in ogni caso viene automaticamente segnalato quale è lo schema di calcolo adottato.