

**WP N°: 3****WP Title: eLectures****Deliverable N°: D3.1****Titolo del documento: Impalcati metallici con rilievi****Deliverable Date: 31st of March 2018**

**The GRISPE PLUS project has received financial support
from the European Community's Research Fund for Coal and Steel (RFCS)
under grant agreement N° 754092"**

Author*Sokol Palisson Consultants, Anna Palisson***Drafting history***DRAFT N° 1 -DATE:**DRAFT N° 2- DATE:**FINAL- DATE: 31st of March***Dissemination Level**

<i>PU</i>	<i>Public-Open</i>	
<i>PP</i>	<i>Restricted to the Commission Services, the Coal and Steel Technical Groups and the European Committee for Standardisation (CEN)</i>	
<i>RE</i>	<i>Restricted to a group specified by the Beneficiaries</i>	
<i>CO</i>	<i>Confidential, only for Beneficiaries (including the Commission services)</i>	

D3.1 IMPALCATI METALLICI CON RILIEVI

Finanziato dal RFCS– Grant Agreement N° 754092

Disclaimer notice and EU acknowledgement of support

Disclaimer notice

By making use of any information or content in this manual you agree to the following:

No warranties

All the information or content provided in this manual is provided “as is” and with no warranties. No express or implies warranties of any type, including for example implied warranties of merchantability or fitness for a particular purpose, are made with respect to the information or content, or any use of the information or content in this manual.

The authors make no representations or extend no warranties of any type as to the completeness, accuracy, reliability, suitability or timeliness of any information or content in this manual.

Disclaimer of liability

This manual is for informational purposes only. It is your responsibility to independently determine whether to perform, use or adopt any of the information or content in this manual.

The authors specifically disclaim liability for incidental or consequential damages and assume no responsibility or liability for any loss or damage suffered by any person as a result of the use or misuse of any of the information or content in this manual.

The authors will not be liable to you for any loss or damage including without limitation direct, indirect, special or consequential loss or damage, or any loss or damage whatsoever arising from loss of data or loss of business, production, revenue, income, profits, commercial opportunities, reputation or goodwill, arising out of, or in connection with, the use of the information or content in this manual.

The authors do not represent, warrant, undertake or guarantee that the use of the information or content in this manual will lead to any particular outcome or results.

Reasonableness

By using this manual, you agree that the exclusions and limitations of liability set out in this disclaimer are reasonable. If you do not think they are reasonable, you must not use this manual.

Severability

If any part of this disclaimer is declared unenforceable or invalid, the remainder will continue to be valid and enforceable.

"The information and views set out in this manual are those of the authors and do not necessarily reflect the official opinion of the European Union. Neither the European Union and bodies nor any person acting on their behalf may be held responsible for the use which may be made of the information or views contained therein"

EU acknowledgment of support

The GRISPE project has received financial support from the European Community's Research Fund for Coal and Steel (RFCS) under grant agreement No. **754092**

PARTE 1: MANUALE DI PROGETTAZIONE PER IMPALCATI IN ACCIAIO CON RILIEVI

SOMMARIO

Lo scopo di questo manuale di progettazione è di presentare un nuovo metodo di calcolo per gli *impalcati in acciaio con rilievi*, così come sviluppato all'interno del progetto europeo GRISPE PLUS.

Il manuale si basa in generale sui principi contenuti nell'Eurocodice e, in particolare, negli Eurocodici EN 1993-1-3 e EN 1993-1-5.

Questo nuovo metodo di progettazione per impalcati in acciaio con rilievi è basato sugli esperimenti condotti all'interno del progetto europeo GRISPE (2013- 2016).

Il quadro generale di questo metodo è descritto nell'allegato 1.

Il capitolo 1 descrive il tipo di profili interessati, lo stato dell'arte, i principali risultati di ricerca del progetto GRISPE e i requisiti e le regole generali di progettazione;

Il capitolo 2 delinea le considerazioni preliminari che devono essere prese in considerazione durante le fasi di pre-dimensionamento, compresa, in particolare, la verifica del campo di applicazione del nuovo metodo di progettazione.

Il capitolo 3 stabilisce i requisiti tecnologici che devono essere rispettati, compresi il telaio di supporto, le caratteristiche dei profili e gli assemblaggi.

Il capitolo 4 elenca le proprietà dei materiali dei profili.

Il capitolo 5 specifica la determinazione di azioni e combinazioni.

Il capitolo 6 fornisce le basi della progettazione.

Il capitolo 7 elenca la specifica considerazione progettuale non coperta dal manuale.

Il capitolo 8 spiega nel dettaglio il nuovo metodo di progettazione (principi, campo di applicazione e descrizione di come applicare le nuove formule).

Sono inclusi inoltre una bibliografia e un allegato.

Prefazione

Questo manuale di progettazione è stato realizzato con il supporto del finanziamento n° **754092** del fondo europeo RFCS.

Questo nuovo metodo di progettazione è stato presentato al gruppo di lavoro del EN 1993-1-3 nel 2016-2017 ed è stato preso in considerazione per l'inclusione negli Eurocodici.

Questo manuale di progettazione è stato scritto da PALISSON Anna ed è stato discusso in un gruppo di lavoro GRISPE PLUS composto dai seguenti membri:

Mickael BLANC	France
Silvia CAPRILI	Italy
David IZABEL	France
Markus KUHNENNE	Germany
Anna PALISSON	France
Valérie PRUDOR	France
Irene PUNCELLO	Italy
Dominik PYSCHNY	Germany
Thibaut RENAUX	France
Walter SALVATORE	Italy
Daniel SPAGNI	France

I soci corrispondenti hanno incluso:

SOKOL	Léopold	France
-------	---------	--------

Figure

Le figure sono state fornite dalle seguenti fonti:

Figure 1.1.1 – BACACIER

Figure 1.3.1 – KIT

Figure 1.3.2 – KIT

Figure 1.3.3 – KIT

Figure 2.2.1.1 – Riproduzione del EN 1993-1-3

Figure 2.2.2.1 – Riproduzione del EN 1993-1-3

Figure 6.2.1 - Sokol Palisson Consultants

Figure 6.2.2 - Sokol Palisson Consultants

Figure 8.1.1 – BACACIER

Figure 8.1.2 - Sokol Palisson Consultants

Figure 8.1.3 - Sokol Palisson Consultants

Figure 8.1.4 - Sokol Palisson Consultants

Figure 8.1.5 - Sokol Palisson Consultants

Figure 8.1.6 – Riproduzione del EN 1993-1-3

Figure 8.2.1 – BACACIER

Figure 8.2.2 - Sokol Palisson Consultants

Figure 8.2.3 – Riproduzione del EN 1993-1-3

Figure 8.2.4 - Sokol Palisson Consultants

Figure 8.2.5 – Riproduzione del EN 1993-1-3

Figure 8.2.6 - Sokol Palisson Consultants

Figure 8.2.7 - Sokol Palisson Consultants

INDICE

SCOPO DELLA PUBBLICAZIONE

Notazioni

1. INTRODUZIONE

- 1.1. Tipologie di lamiere studiate
- 1.2. Stato dell'arte
- 1.3. Principali risultati del GRISPE
- 1.4. Requisiti e regole generali di progettazione

2. CONSIDERAZIONI PRELIMINARI- FASE PRE-PROGETTUALE

- 2.1. Campi di applicazione del nuovo metodo di progettazione
- 2.2. Disposizioni tecnologiche per la lamiera sagomata

3. REQUISITI TECNOLOGICI DI BASE

4. PROPRIETÀ DEL MATERIALE

5. SOLLECITAZIONI E COMBINAZIONI

6. BASI DELLA PROGETTAZIONE

- 6.1. Principi
- 6.2. Campi di applicazione del nuovo metodo di progettazione
- 6.3. Procedura di progettazione

7. SPECIFICHE CONSIDERAZIONI SULLA PROGETTAZIONE

8. ESEMPIO DI PROGETTAZIONE

- 8.1. Spiegazione del software di calcolo "2 irrigidimenti – campata – supporto finale"
- 8.2. Controllo automatico del software - dettagli riguardanti le fasi di calcolo

9. BIBLIOGRAFIA

ALLEGATO 1

SCOPO DELLA PUBBLICAZIONE

Lo scopo di questa pubblicazione è di presentare il nuovo metodo di progettazione per i profili sottili impiegati per gli impalcati in acciaio e provvisti di rilievi, proposto per l'inclusione nell'Eurocodice EN 1993-1-3.

Questo manuale di progettazione tratta situazioni che si verificano in condizioni 'ordinarie'.

Per questioni specifiche (ad es. aperture) o per situazioni eccezionali (sisma, incendio, ecc.) È necessario seguire le clausole pertinenti degli Eurocodici e/ o EN 1090-4.

NOTAZIONI

I simboli seguenti sono usati all'interno del manuale:

t	spessore di progettazione
t_{nom}	spessore nominale
t_{eff}	spessore effettivo
h_w	altezza del profilo
f_{yb}	forza di snervamento
E	modulo di Young
$LS_{embossment}$	lunghezza del rilievo superiore
$zS_{embossment}$	distanza dalla flangia inferiore al rilievo superiore
$LI_{embossment}$	lunghezza del rilievo inferiore
$zI_{embossment}$	distanza dalla flangia inferiore al rilievo inferiore
h	altezza del rilievo/ rientranza
ρ	fattore di riduzione determinato per il rilievo
t_{red}	spessore ridotto
b_{pi}	larghezze delle parti di sezione trasversale piana
$b_{i,eff}$	larghezza effettiva
A_g	area della sezione trasversale lorda
A_{eff}	area effettiva
z_G	posizione dell'asse neutro
σ_{xx}	sforzo assiale
χ_d	fattore di riduzione per la resistenza alla instabilità distorsionale
$M_{c,Rd}$	momento resistente
M_{span}	momento resistente in campata
e_c	distanza dalla flangia compressa dell'asse neutro
s_n	larghezza della parte dell'anima tra la flangia compressa e la posizione dell'asse neutro
S_{eff}	sezione efficace trasversale dell'anima
W_{eff}	modulo di sezione efficace
$R_{w,Rd}$	resistenza trasversale locale

1. INTRODUZIONE

1.1. Tipologie di lamiere profilate studiate

Questo manuale di progettazione tratta gli impalcati metallici con rilievi e dentellature.



Figure 1.1.1 – Lamiere in acciaio con rilievi e/o dentellature

1.2. Stato dell'arte ante-GRISPE

L'impalcato in acciaio è diventato un elemento strutturale integrante nelle solette composte sia per tetti che per pavimenti, con una varietà di ondulazioni di varia profondità, rilievi e rientranze. Spesso l'acciaio è il materiale preferito per l'interior design, per le ristrutturazioni commerciali e industriali e per il settore dell'edilizia in generale perché è robusto, leggero e richiede una manutenzione limitata. Per aumentare la connessione a taglio tra l'acciaio e il calcestruzzo nelle lastre composte, gli impalcati in acciaio sono dotati di rilievi o rientranze.

Nella fase di costruzione in cui la lamiera, utilizzata come cassaforma, deve sostenere il peso del calcestruzzo fresco e i carichi di costruzione, l'effetto dei rilievi e delle dentellature non è favorevole per la resistenza a momento flettente. I pochi studi [1] [2] [3] [4] che sono stati effettuati in materia hanno dimostrato che i rilievi diminuiscono di circa il 10% la resistenza alla flessione della lamiera sagomata e aumentano di circa il 10% la resistenza al collasso dell'anima. Tuttavia, il programma sperimentale che ha portato a queste osservazioni non è stato abbastanza significativo per trarre conclusioni solide e non ha definito l'effetto sull'azione combinata della reazione all'appoggio e del momento negativo.

Questo tipo di lamiera è stata ottimizzata nel corso degli anni e molte nuove forme sono apparse sui mercati che non sono trattate dagli Eurocodici nonostante la loro crescente importanza commerciale.

Nel EN 1994-1 per la progettazione del profilo dell'impalcato in fase 'composita', è presente un rimando al EN 1993-1-3.

L'EN 1993-1-3 tratta delle lamiere nel paragrafo 1.5.1 (4), ma nella sezione 1.5.2 "Tipi di irrigidimenti" i profili con rientranze e rilievi utilizzati nelle lamiere per solette composte non vengono presi in considerazione.

In sintesi, considerando gli attuali testi degli Eurocodici, l'unica possibilità che hanno i produttori per progettare questa famiglia di prodotti è quella di effettuare test dispendiosi in termini di tempo e di denaro.

1.3. Principali risultati del progetto GRISPE

Per determinare e confrontare i valori di resistenza degli impalcati in acciaio con e senza rilievi e rientranze (Figura 1.3.1, Figura 1.3.2 e Figura 1.3.4), è stato eseguito un esteso programma di 144 test in accordo con la EN 1993-1-3 Appendice A su lamiera trapezoidale di acciaio con e senza rilievi e rientranze.

Inoltre, sono stati eseguiti 54 test di trazione su provini con e senza rilievi per determinare l'influenza locale dei medesimi.

Sulla base del test di trazione è stato definito un coefficiente di riduzione dello spessore del profilo con rilievi/ rientranze. Questo innovativo modello di progettazione è stato

convalidato per mezzo di un'analisi dettagliata dei risultati sperimentali ottenuti dai 144 test effettuati, e sono stati sviluppati metodi di calcolo per determinare il momento resistente in campata, la resistenza a collasso dell'anima e la combinazione del momento + reazione resistente del profilo con rilievi/ rientranze.



Figure 1.3.1 – Test su campata unica



Figure 1.3.2 – Test sull'appoggio di estremità



Figure 1.3.3 – Test sull'appoggio intermedio

1.4. Requisiti e regole generali di progettazione

- (1) La progettazione di lamiere di acciaio con rilievi/ dentellature deve essere conforme alle regole generali indicate in EN 1993-1-1.
- (2) Devono essere adottati fattori parziali appropriati per stati limite ultimi e stati limite di servizio in accordo con EN 1993-1-3

2. CONSIDERAZIONI PRELIMINARI- FASE PRE-PROGETTUALE

2.1. Campi di applicazione del nuovo metodo di progettazione

Questo manuale fornisce i requisiti di progettazione per lamiera di acciaio con rilievi/dentellature. L'esecuzione di strutture in acciaio realizzate con lamiera è normata in EN 1090.

Questo manuale fornisce un metodo per la progettazione mediante calcolo. Tale metodo può essere utilizzato per casi ricadenti in specificati intervalli di proprietà dei materiali e proporzioni geometriche.

Questo manuale non copre la distribuzione di carico per i carichi durante le fasi di esecuzione e manutenzione.

Le regole di calcolo riportate in questo manuale sono valide solo se le tolleranze degli elementi formati a freddo sono conformi alla EN 1993-1-3

2.2. Disposizioni tecnologiche per la lamiera sagomata

2.2.1. Forma della sezione

- (1) Le lamiere sagomate hanno, all'interno dell'intervallo di tolleranze ammesse, uno spessore nominale costante su tutta la lunghezza e possono avere una sezione trasversale uniforme oppure rastremata lungo la lunghezza.
- (2) Le sezioni trasversali delle lamiere sagomate comprendono essenzialmente un certo numero di elementi piani uniti da elementi curvi.
- (3) Esempi di sezioni trasversali per le lamiere in questione sono illustrati in figura 2.2.1.1.

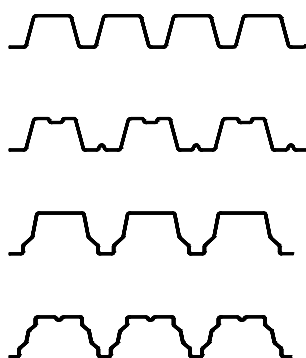


Figura 2.2.1.1 – Esempi di lamiera sagomate

- (4) Le sezioni trasversali delle lamiere possono essere non rinforzate o incorporare irrigidimenti longitudinali nelle anime, nelle flange, o in entrambe.

2.2.2. Dimensioni della sezione trasversale

Le dimensioni della sezione trasversale devono soddisfare i requisiti generali indicati nel EN 1993-1-3, sezione 1.5.3.

- (1) Lo spessore t è uno spessore di progetto nell'acciaio (lo spessore del nucleo in acciaio estratto meno la tolleranza, se necessario, come specificato al punto 3.2.4 del EN 1993-1-3), se non diversamente specificato.
- (2) Le disposizioni per la progettazione riportate in questo manuale non dovrebbero essere applicate a sezioni trasversali che non rientrino nell'intervallo di rapporto tra larghezza e spessore b/t , h/t , c/t e d/t indicati nella tabella (Tabella 5.1 di EN 1993-1-3)

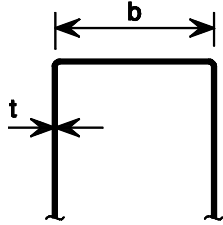
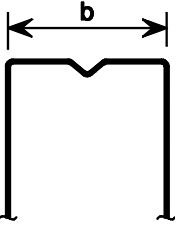
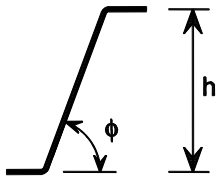
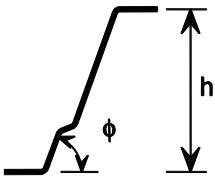
 		$b/t \leq 500$
 		$45^\circ \leq \phi \leq 90^\circ$ $h/t \leq 500 \sin \phi$

Tabella 2.2.2.1 – Controllo delle proporzioni geometriche

3. REQUISITI TECNOLOGICI DI BASE

Lamiera sagomata e marcatura CE

Gli impalcati in acciaio devono essere marcati CE secondo la norma EN 1090-1.

4. PROPRIETÀ DEL MATERIALE

Lamiere in acciaio

Le proprietà del materiale devono soddisfare i requisiti indicati nella EN 1993-1-3, sezione 3.

I tipi di acciaio comunemente usati sono i gradi S320GD + ZA e S350GD + ZA

Le tolleranze di spessore devono soddisfare i requisiti indicati nella EN 1993-1-3, sezione 3.2.4.

5. SOLLECITAZIONI E COMBINAZIONI

Le azioni e le combinazioni che devono essere prese in considerazione devono essere determinate secondo EN 1991-1-6 Eurocodice 1: Azioni sulle strutture, Parte 1-6: Azioni generali - Azioni durante l'esecuzione, 2005

6. BASI DELLA PROGETTAZIONE

6.1. Principi

Questo nuovo metodo di progettazione è fornito per calcolare:

- Resistenza alle sollecitazioni flettenti delle lamiere con dentellature e/o rilievi
- Resistenza della lamiera con dentellature e/o rilievi al carico locale o alla reazione del supporto
- Resistenza della lamiera con dentellature e/o rilievi alla combinazione di sollecitazione flettente e carico locale o reazione del supporto

6.2. Campi di applicazione del nuovo metodo di progettazione

Questo nuovo metodo di progettazione riguarda lamiere con dentellature (Figure 6.2.1) e/ o lamiere con rilievi (Figure 6.2.2)

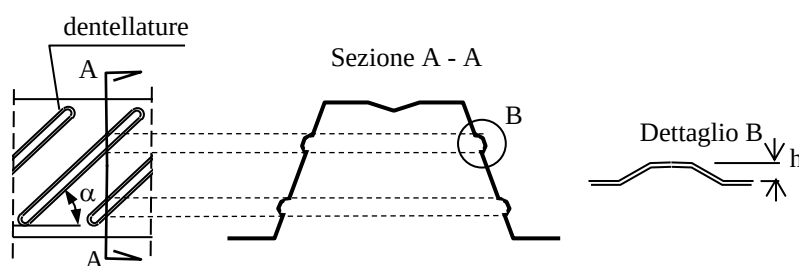


Figure 6.2.1 – Lamiera con dentellature

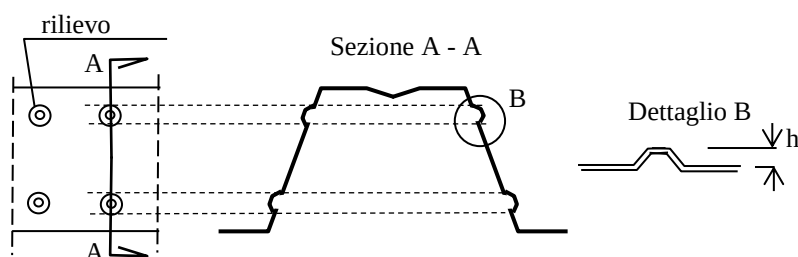


Figure 6.2.2 – Lamiera con rilievi

Intervallo di applicabilità del metodo

$$\begin{aligned}
 0,71 \text{ mm} &\leq t_{\text{cor}} \leq 1,21 \text{ mm} \\
 h &\leq 4,0 \text{ mm} \\
 30^\circ &\leq \alpha \leq 60^\circ
 \end{aligned}$$

Per spessori intermedi il fattore di riduzione ρ può essere determinato mediante interpolazione lineare tra i valori t a cavallo dello spessore voluto, indicati nella Tabella 6.3

Per $t_{cor} > 1,21$ mm il valore fornito per $t_{cor} = 1,21$ mm può essere adottato a favore di sicurezza.

6.3. Procedura di progettazione

6.3.1. Sezione efficace della lamiera con dentellature e/ o rilievi

- (1) Nella prima fase deve essere calcolata la larghezza effettiva del profilo con dentellature (figura 6.2.1) o rilievi (figura 6.2.2) in accordo con il 5.5.1 (2) della EN 1993-1-3, senza tenere conto delle dentellature/ rilievi.
- (2) Nella seconda fase è necessario tenere conto della dentellatura o rilievo considerando le dentellature/ rilievi (figure 6.2.1 / 6.2.2) come elementi di lamiera con spessore ridotto $t_{red} = \rho * t_{cor}$ dove:

$$\rho = A * h + B$$

h è l'altezza della dentellatura/ rilievo in mm (Figure 6.2.1 and 6.2.2)

A e B sono I coefficienti dati in tabella 6.3.1

Type of local deformation	t (mm)	h (mm)	A	B
Indentation	0.71	0 - 1.5	-0.533	1.000
		1.5 - 2.75	-0.112	0.368
		2.75 - 4.0	-0.025	0.128
	0.96	0 - 1.5	-0.467	1.000
		1.5 - 2.75	-0.186	0.580
		2.75 - 4.0	-0.020	0.122
	1.21	0 - 1.5	-0.401	1.000
		1.5 - 2.75	-0.260	0.792
		2.75 - 4.0	-0.015	0.116
Embossment	0.71	0 - 1.5	-0.267	1.000
		1.5 - 2.75	-0.056	0.684
		2.75 - 4.0	-0.013	0.564
	0.96	0 - 1.5	-0.234	1.000
		1.5 - 2.75	-0.093	0.790
		2.75 - 4.0	-0.010	0.561
	1.21	0 - 1.5	-0.201	1.000
		1.5 - 2.75	-0.130	0.896
		2.75 - 4.0	-0.008	0.558

Tabella 6.3.1 – Valori dei coefficienti A e B

- (3) La sezione trasversale per il calcolo della sezione efficace deve essere posizionata in modo da provocare l'effetto più sfavorevole.

6.3.2. Momento resistente della lamiera con dentellature e/ o rilievi

Il momento resistente di progetto di una sezione trasversale per flessione su un asse principale $M_{c,Rd}$ è determinato secondo la EN 1993-1-3 "6.1.4 Momento flettente", come segue:

$$M_{c,Rd} = W_{eff} f_{yb} / \gamma_{M0}$$

Il modulo di sezione efficace W_{eff} deve essere riferito a una sezione efficace che è soggetta al solo momento flettente sull'asse principale rilevante, con una sollecitazione massima $\sigma_{max,Ed}$ pari a f_{yb} / γ_{M0} , tenendo conto degli effetti dell'instabilità locale e distorsionale, come specificato nella Sezione 5.5. e in 7.1

6.3.3. Carico locale o reazione all'appoggio

La resistenza trasversale locale dell'anima di una lamiera con dentellature e/ o rilievi deve essere calcolata secondo la formula (6.18) della EN 1993-1-3

$$R_{w,Rd} = \alpha t^2 \sqrt{f_{yb} E} \left(1 - 0,1 \sqrt{r/t} \right) \left[0,5 + \sqrt{0,02 l_a / t} \right] \left(2,4 + (\phi/90)^2 \right) / \gamma_{M1} \quad (6.18)$$

6.3.4. Combinazione di momento flettente e carico locale o reazione all'appoggio

(1) Nel caso di lamiera con dentellature e/ o rilievi, le equazioni (6.28a), (6.28b) e (6.28c) del EN 1993-1-3 possono essere usate con:

$M_{c,Rd}$ = momento resistente determinato considerando le dentellature e/ o rilievi in accordo con 6.3.2

$R_{w,Rd}$ = resistenza trasversale locale determinata senza considerare le dentellature e/ o rilievi (6.3.3)

(3) Sezioni trasversali soggette all'azione combinata di un momento flettente M_{Ed} e una forza trasversale dovuta a un carico locale o a una reazione all'appoggio F_{Ed} devono soddisfare quanto segue:

$$M_{Ed} / M_{c,Rd} \leq 1$$

$$F_{Ed} / R_{w,Rd} \leq 1$$

$$\frac{M_{Ed}}{M_{c,Rd}} + \frac{F_{Ed}}{R_{w,Rd}} \leq 1,25$$

7. CONSIDERAZIONI SPECIFICHE SULLA PROGETTAZIONE

Le seguenti questioni non sono trattate nel presente manuale:

- Progettazione antincendio
- Progettazione sismica
- Aspetti ambientali
- Aspetti termici
- Aspetti acustici
- Tutti gli altri temi non chiaramente identificati più in alto o più in basso

8. ESEMPIO DI PROGETTAZIONE

8.1. Spiegazione del software di calcolo "2 irrigidimenti – campata – supporto finale"

Questo software consente di calcolare il momento resistente in campata e la reazione dell'appoggio di estremità per un profilo con due irrigidimenti nella flangia superiore, mediante rilievi longitudinali (dentellature).

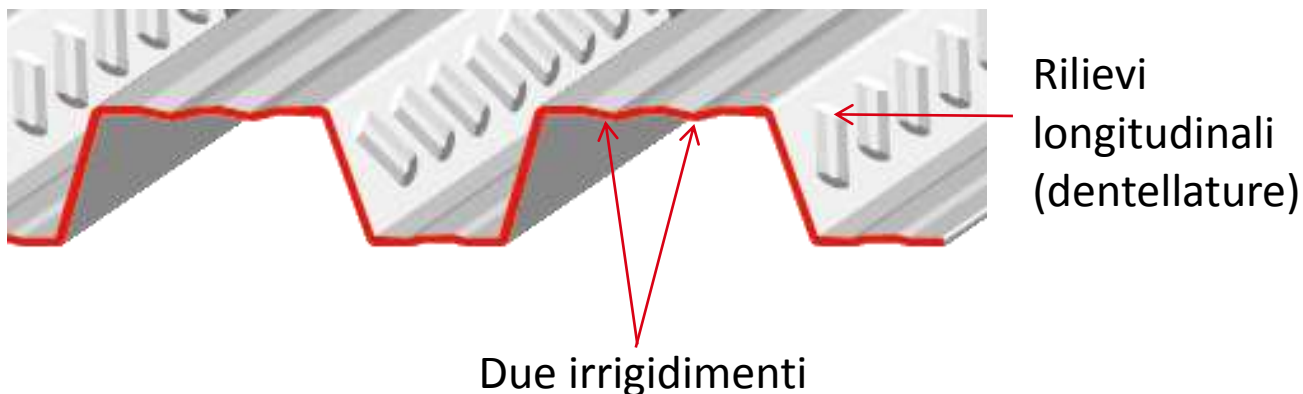


Figura 8.1.1 – Lamiera con due irrigidimenti nella flangia superiore, mediante rilievi longitudinali (dentellature)

1) Determinazione del rapporto del coefficiente di rilievo ρ

La cella rossa **Choose $t_{nom} = 0.75$ mm or $t_{nom} = 1$ mm** deve essere riempita con il valore del t_{nom} del profilo da calcolare: 0.75 or 1

La cella rossa **Height of the embossment $h_e < 4$ mm** deve essere riempita con l'altezza del rilievo che deve essere < 4 mm

Dopo di ciò, il valore del coefficiente ρ sarà automaticamente mostrato dal software.

Ad esempio:

- se $t_{nom} = 1$ mm e $h_e = 3$ mm

Choose $t_{nom} = 0.75$ mm or $t_{nom} = 1$ mm		1
Height of the embossment $h_e < 4$ mm		3
	if $t_{nom} = 0,75$ mm	
	$h_e < 4$ mm	ρ
if $t_{nom} = 1$ mm		
$h_e < 4$ mm	ρ	
3	0.062	

Figura 8.1.2 – Celle Excel che devono essere riempite se $t_{nom} = 1$ mm

- se $t_{nom} = 0,75$ mm and $h_e = 2$ mm

Choose $t_{nom} = 0.75 \text{ mm}$ or $t_{nom} = 1 \text{ mm}$	0.75
Height of the embossment $h_e < 4 \text{ mm}$	2

if $t_{nom} = 0.75 \text{ mm}$	
$h_e < 4 \text{ mm}$	ρ
2	0.150

if $t_{nom} = 1 \text{ mm}$	
$h_e < 4 \text{ mm}$	ρ

Figura 8.1.3 - Celle Excel che devono essere riempite se $t_{nom} = 0.75 \text{ mm}$

Questo valore sarà mostrato automaticamente nella tabella nel paragrafo "2° DATA"

ratio ρ
0,150

2) DATI

Tutte le celle evidenziate in rosso devono essere riempite con le dimensioni del profilo (Figura 8.1.4 and Figura 8.1.5): raggio di piegatura interno R , angoli θ , spessore di progetto t , spessore nominale t_{nom} , passo, altezza dell'anima h_w , profondità del rinforzo superiore d_s , profondità dell'irrigidimento inferiore d_i , resistenza allo snervamento f_{yb} , modulo di Young E , lunghezza l_r lunghezza del rilievo superiore $LS_{embossment}$, distanza dalla flangia inferiore al rilievo superiore $zS_{embossment}$, la lunghezza del rilievo inferiore $LI_{embossment}$, e distanza dalla flangia inferiore al rilievo inferiore $zI_{embossment}$:

R1 (mm)	θ_1 (rad)	$R2_{sup}$ (mm)	$R2_{inf}$ (mm)	θ_2 (rad)	t_{nom} (mm)	t (mm)

Pitch (mm)	h_w (mm)	d_s (mm)	l_r (mm)	d_i (mm)	f_{yb} (N/mm ²)	E (N/mm ²)	γ_{M0}

$LS_{embossment}$ (mm)	$LI_{embossment}$ (mm)	$zS_{embossment}$ (mm)	$zI_{embossment}$ (mm)

Tabella 8.1.1 - Celle di Excel da riempire con i dati dimensionali del profilo

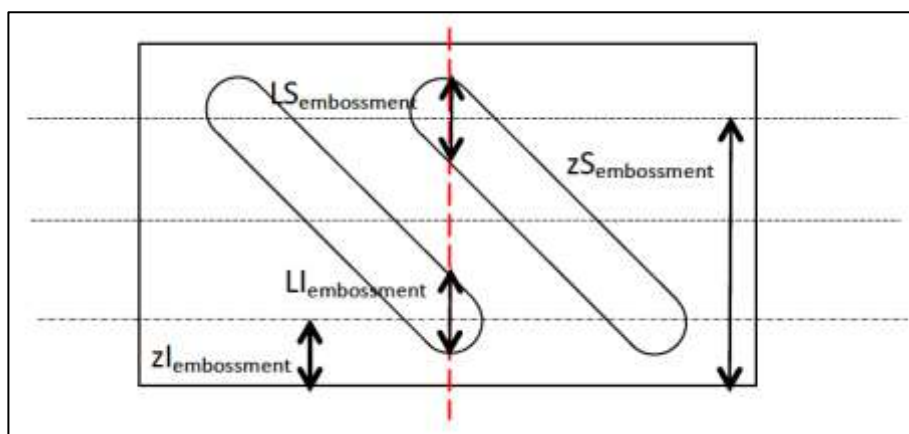


Figura 8.1.4 - Dimensioni dei rilievi longitudinali

Al termine, il valore del rapporto ρ verrà automaticamente mostrato dal software.

Le celle evidenziate in rosso della seguente tabella devono essere riempite con le dimensioni (b_{pi}) di tutti gli elementi ogni $\frac{1}{2}$ passo. I numeri identificativi degli elementi sono riportati nella Figura 8.1.5. La lunghezza degli elementi è misurata dai punti medi «P» degli elementi angolari adiacenti, come indicato nella figura 8.1.6.

Element	b_{pi} (mm)
1	
2	
3	
4	
5	
6	
7	
8	

Tabella 8.1.2 – Celle di Excel da riempire con le caratteristiche dimensionali degli elementi

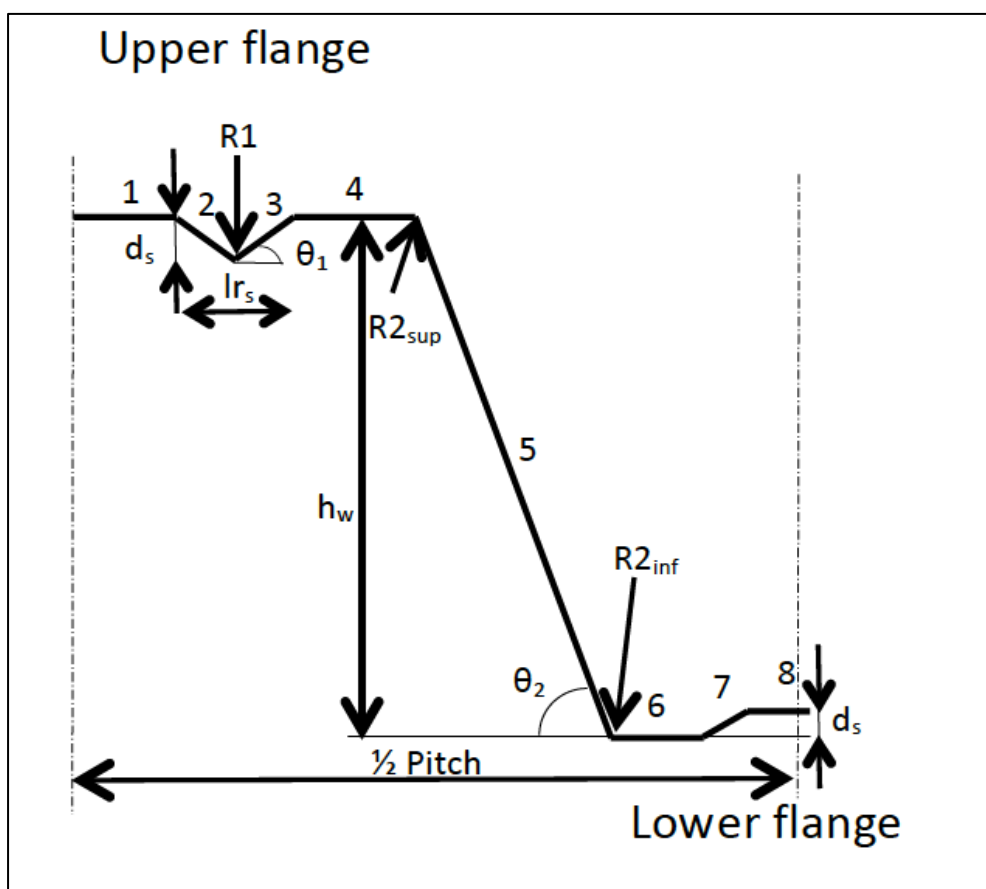


Figura 8.1.5 – Numeri e dati degli elementi

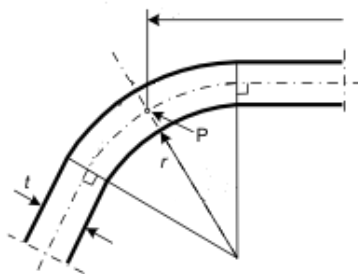


Figura 8.1.6 – Lunghezza degli elementi misurata dal punto medio «P»

3) Controllo delle proporzioni geometriche

Il software mostra automaticamente la verifica del soddisfacimento delle proporzioni geometriche.

	$b/t=$	94,37			$b/t \leq 500$
	$\theta_2=$	72,00			
	$h/t=$	84,51			$45^\circ \leq \phi \leq 90^\circ$
	$500\sin(\theta_2)=$	475,52			$h/t \leq 500 \sin \phi$
	$r < 0,04 t E / f_y$	18,64			

Tabella 8.1.3 - Verifica automatica del soddisfacimento delle proporzioni geometriche

4) RISULTATI

Il software mostra automaticamente i risultati:

⇒ momento resistente in campata

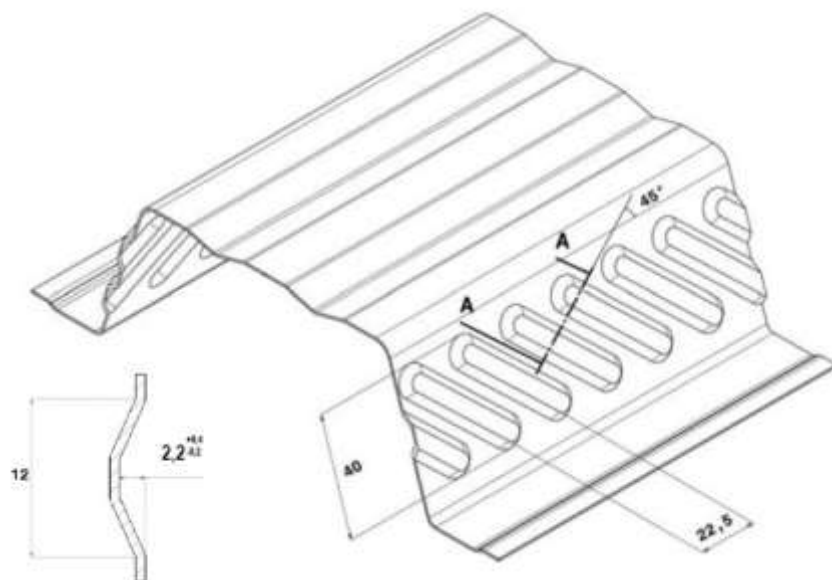
$M_{span} = 4.45 \text{ kNm/m}$

⇒ reazione dell'appoggio di estremità

$R_{endsupport} = 6.89 \text{ kN/m}$

8.2. Controllo automatico del software - dettagli riguardanti le fasi di calcolo

Il controllo automatico si basa sul calcolo del valore di momento resistente in campata di un profilo con spessore = 0,75 mm e con altezza dei rilievi pari a 2,2 mm

**Figura 8.2.1** – Profilo calcolato1) Determinazione del coefficiente di rilievo ρ **Software:**

if $t_{nom} = 0,75$ mm	
$h_e < 4$ mm	ρ
2.2	0.122

Tabella 8.2.1 - Coefficiente ρ determinato dal software**Calcolo:**

$\rho = A \cdot h + B$, A e B sono coefficienti dati in tabella 7.3.1

Per $h = 2,2$ ($1,5 < h < 2,75 \rightarrow A = -0,112$; $B = 0,368$) **$\rho = 0,122$**

2) DATI**Software e calcoli:**

R1 (mm)	θ_1 (rad)	R2 _{sup} (mm)	R2 _{inf} (mm)	θ_2 (rad)	t_{nom} (mm)	t (mm)
0,00	0,20	5,00	5,00	1,26	0,75	0,71

Pitch (mm)	hw (mm)	d _s (mm)	lr _s (mm)	d _i (mm)	f _{yb} (N/mm ²)	E (N/mm ²)	γ_{M0}
207,00	60,00	2,50	25,00	1,00	320,00	210000,00	1,00

hS _{embossment} (mm)	hI _{embossment} (mm)	zS _{embossment} (mm)	zI _{embossment} (mm)
16,97	16,97	41,25	18,75

Tabella 8.2.2 – Celle Excel riempite con i dati dimensionali del profilo

Element	b_{pi} (mm)
1	8.50
2	12.75
3	12.75
4	20.00
5	61.70
6	20.50
7	1.41
8	9.00

Tabella 8.2.3 - Celle Excel riempite con i dati dimensionali degli elementi

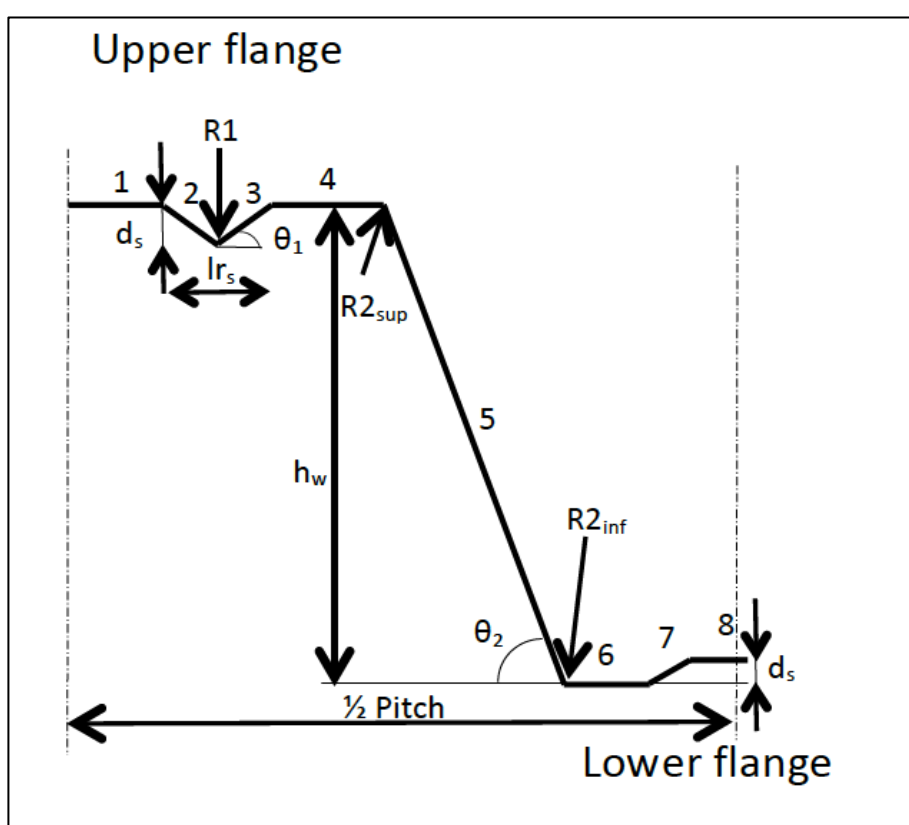


Figura 8.2.2 – Numeri identificativi degli elementi

4) RISULTATI

Software:

⇒ momento resistente in campata

$M_{span} = 4.45 \text{ kNm/m}$

⇒ reazione dell'appoggio di estremità

$R_{endsupport} = 6.89 \text{ kN/m}$

Calcoli:**Calcolo dell'area della sezione trasversale lorda A_g**

A_g è la somma delle aree di ciascun elemento (lunghezza x t)

$$A_g = 104.2 \text{ mm}^2$$

Posizione dell'asse neutro: $z_G = 34.7 \text{ mm}$

Calcolo dell'area effettiva A_{eff} :**1st Step**

A_{eff} è la somma delle aree effettive di ciascun elemento

Area effettiva della flangia superiore

La flangia superiore ha 2 irrigidimenti, pertanto l'effettiva sezione trasversale della flangia viene calcolata secondo la EN 1993-1-3 § "5.5.3.4.2 Flange con rinforzi intermedi"

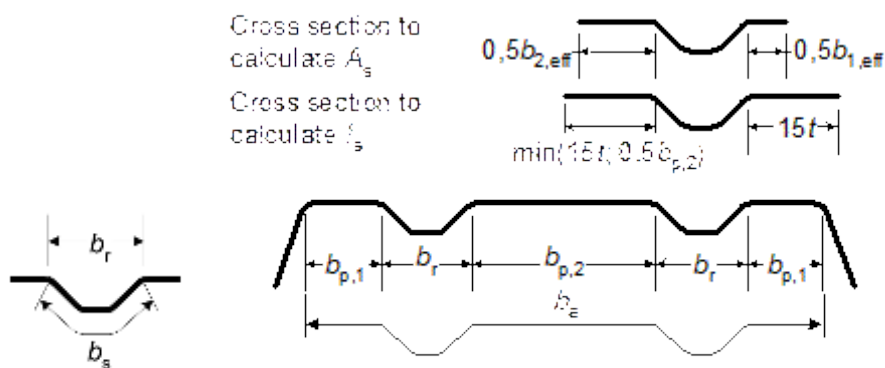


Figura 8.2.3 – Flangia con due irrigidimenti

Lo sforzo nella flangia superiore è $\sigma_{com} = f_{yb} \times (h_w - z_G) / z_G = 233 \text{ N / mm}^2$

$$b_{p,1} = 20 \text{ mm}, \rho = 1 \rightarrow 0,5 b_{1,eff} = 10 \text{ mm}$$

$$b_{p,2} / 2 = 8,5 \text{ mm}, \rho = 1 \rightarrow 0,5 b_{2,eff} = 8,5 \text{ mm}$$

Irrigidimenti:

La sezione trasversale del rinforzo è calcolata secondo la EN 1993-1-3 § "5.5.3.3 Elementi piani con rinforzi intermedi"

carico critico di instabilità $\sigma_{cr,s} = 103 \text{ N/mm}^2$

fattore di riduzione per la resistenza alla instabilità deformativa $\chi_d = 0,374$

Area effettiva dell'anima

L'area effettiva dell'anima viene calcolata secondo il "5.5.3.4.3 Anime con un massimo di due rinforzi intermedi" della EN 1993-1-3.

La larghezza effettiva del profilo con dentellature (Figura 8.2.7) viene prima calcolata in base al 5.5.1 (2) della

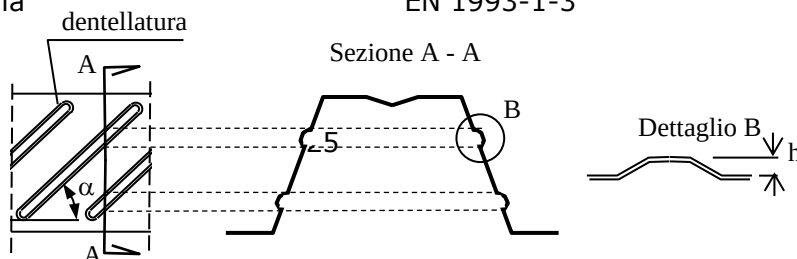
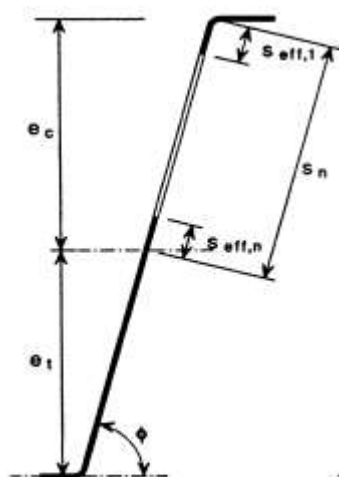


Figura 8.2.4 Lamiera con rilievi longitudinali (dentellature)**Figura 8.2.5** – Area effettiva dell'anima

$$e_c = h_w - z_G = 25,3 \text{ mm} \rightarrow s_n = 25,9 \text{ mm}$$

$$\sigma_{com} = f_{yb} \times (h_w - z_G) / z_G = 233 \text{ N / mm}^2 \rightarrow s_{eff,0} = 20,24 \text{ mm} \rightarrow s_{eff,1} = 20,24 \text{ mm} \rightarrow s_{eff,n} = 30,36 \text{ mm} \rightarrow s_{eff,1} + s_{eff,n} \geq s_n \text{ l'intera area dell'anima è effettiva}$$

$$s_{eff,1} = 0,4s_n$$

$$s_{eff,n} = 0,6s_n$$

Area effettiva della flangia inferiore

La flangia inferiore in questo caso è in tensione $\rightarrow$ l'area effettiva = area della sezione lorda

Area effettiva totale

$$A_{eff} = 89 \text{ mm}^2$$

Posizione dell'asse neutro della sezione effettiva: $z_G = 30,5 \text{ mm}$

Iterazione: fasi successive

Nelle fasi successive viene considerata la nuova posizione dell'asse neutro della sezione effettiva per calcolare il nuovo new σ_{com} .

L'area effettiva della flangia superiore è calcolata come al punto 1 ma considerando il nuovo σ_{com} calcolato con la nuova posizione dell'asse neutro z_c

Area effettiva dell'anima è calcolato considerando le dentellature come elementi di lamiera con spessore ridotto $t_{red} = 0,122 \times 0,71 = 0,087$ mm per la lunghezza $L_{rilievi}$ (Figura 8.2.6)

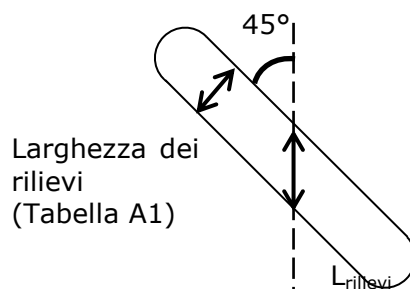


Figura 8.2.6 – Lunghezza dei rilievi longitudinali (dentellature)

$L_{rilievi} = \text{Larghezza} / \sin(45^\circ)$ and Larghezza è = 12 mm

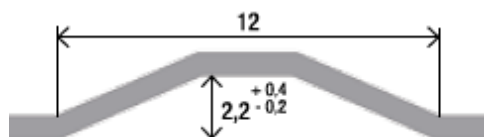


Figura 8.2.7 – altezza dei rilievi

Pertanto $L_{rilievi} = 16,97$ mm

Tutti i valori del passaggio 2 e del passaggio 3 sono indicati nella tabella seguente. La convergenza è considerata soddisfacente al punto 3, l'iterazione si ferma al punto 3.

		2nd step	3rd step
Upper flange	σ_{com}	309	320
	ρ pour $b_{2,eff}$	1	1
	$0,5 b_{2,eff}$	8.50	8.50
	ρ pour $b_{1,eff}$	1	1
	$0,5 b_{1,eff}$	10.00	10.00
Upper flange stiffener	$\sigma_{cr,s}$	102.7	102.7
	χ_d	0.37	0.37
	t_{red}	0.27	0.27
Web	e_c	29.5	31.1
	S_n	30.3	32.0
	$S_{eff,0}$	17.6	16.7
	$S_{eff,1}$	17.6	16.7
	$S_{eff,n}$	26.4	25.0
	$S_{eff,1} + S_{eff,n}$	43.9	41.6
		entire web is effective	entire web is effective
	$S_{eff,1}$	$0,4s_n$	$0,4s_n$
	$S_{eff,n}$	$0,6s_n$	$0,6s_n$
Total effective Area	A_{eff}	63.9	63.5
Position of neutral axis	Z_c	28.9	28.7

Tabella 8.2.4 – Valori al passaggio 2 e 3**Calcolo del momento resistente in campata:**

$$M_{c,Rd} = W_{eff} f_{yb} / \gamma_{M0}$$

Per 1/2 passo $I_{eff} = 450294 \text{ mm}^4$

Per il profilo $I_{eff} = 435 \text{ mm}^3$

$$v = \max(28,7; 31,3) = 31.3 \text{ mm}$$

$$W_{eff} = I_{eff} / v = 13.9 \text{ mm}^3$$

$$\boxed{M_{campata} = 4,45 \text{ kNm/m}}$$

Il risultato ottenuto è lo stesso dato dal software:

$M_{span} =$	4.45	kNm/m
--------------	-------------	--------------

Calcolo della reazione dell'appoggio di estremità:

La resistenza trasversale locale dell'anima di una lamiera con rilievi longitudinali (dentellature) deve essere calcolata secondo la formula abituale (6.18) della EN 1993-1-3

$$\boxed{R_{w,Rd} = \alpha t^2 \sqrt{f_{yb} E} \left(1 - 0,1 \sqrt{r/t} \right) \left[0,5 + \sqrt{0,02 l_a / t} \right] \left(2,4 + (\phi/90)^2 \right) / \gamma_{M1}} \quad (6.18)$$

$$\alpha = 0,075$$

D3.1 IMPALCATI METALLICI CON RILIEVI

GRISPE+ WG

$$t = 0,71 \text{ mm}$$

$$r = 5 \text{ mm}$$

$$l_a = 10 \text{ mm}$$

$$\phi = 72$$

$$\text{Per anima: } R_{w,Rd} = 713 \text{ N}$$

$$\text{Per metro: } R_{w,Rd} = 6,89 \text{ kN/m}$$

Il risultato ottenuto è lo stesso dato dal software:

$R_{endsupport}$	6.89	kN/m
------------------	------	------

9. BIBLIOGRAFIA

- [1] Davies J.M and Jiang C., Design Procedures for Profiled Metal Sheeting and Decking in Thin-Walled Structures Vol. 27, No. I, pp. 43-53, Elsevier, 1997.
- [2] Luure P. and Crisinel M. Essais comparatifs sur tôles nervurées de plancher mixtes avec et sans bossages, ICOM/EPFL, Nov. 1993.
- [3] Mistakidis, E.S, Kyriakos, G. and Dimitriadis, L., Thin-Walled Structures: Bending resistance of composite slabs made with thin-walled steel sheeting with indentations or embossments, University of Thessaly, 38334 Volos, 2007.
- [4] Composite slabs and beams using steel decking: best practice for design and construction, MCRMA Technical Paper No. 13 SCI Publication, March 2009.

Allegato 1

Background del nuovo metodo di progettazione per impalcati in acciaio con rilievi

D1.1	GRISPE WP1 documento di base	Anna PALISSON (Sokol Palisson Consultants)
D1.2	GRISPE WP1 Definizione del programma di esperimenti	Anna PALISSON (Sokol Palisson Consultants)
D1.3	GRISPE Relazione sugli esperimenti su lamiere trapezoidali in acciaio con e senza rilievi e dentellature	Christian FAUTH (KIT)
D1.4	GRISPE WP1 Interpretazione ed analisi dei dati sperimentali	Anna PALISSON (Sokol Palisson Consultants)
D1.5	GRISPE Stato dell'arte per la EN 1993-1-3 per quanto concerne la progettazione di lamiere con rilievi e dentellature	Anna PALISSON (Sokol Palisson Consultants)

PARTE 2: ESEMPIO APPLICATIVO PER IMPALCATI METALLICI CON RILIEVI

SOMMARIO

Lo scopo di questo manuale di progettazione è di presentare un nuovo metodo di calcolo per gli *impalcati in acciaio con rilievi*, così come sviluppato all'interno del progetto europeo GRISPE PLUS.

Il manuale si basa in generale sui principi contenuti nell'Eurocodice e, in particolare, negli Eurocodici EN 1993-1-3 e EN 1993-1-5.

Questo nuovo metodo di progettazione per impalcati in acciaio con rilievi è basato sugli esperimenti condotti all'interno del progetto europeo GRISPE (2013- 2016).

Il quadro generale di questo metodo è descritto nell'allegato 1.

Il Capitolo 1 mostra in dettaglio le dimensioni della sezione trasversale della lamiera, i dati e le dimensioni dei rilievi.

Il Capitolo 2 spiega il calcolo della sezione lorda.

Il Capitolo 3 spiega il calcolo della sezione effettiva.

Il Capitolo 4 spiega il calcolo del momento resistente;

Il Capitolo 5 spiega il calcolo della reazione dell'appoggio di estremità.

È incluso un allegato.

Prefazione

Questo manuale di progettazione è stato realizzato con il supporto del finanziamento n° **754092** del fondo europeo RFCS.

Questo nuovo metodo di progettazione è stato presentato al gruppo di lavoro del EN 1993-1-3 nel 2016-2017 ed è stato preso in considerazione per l'inclusione negli Eurocodici.

Questo esempio applicativo è stato scritto da PALISSON Anna ed è stato discusso in un gruppo di lavoro GRISPE PLUS composto dai seguenti membri:

Mickael BLANC	France
Silvia CAPRILI	Italy
David IZABEL	France
Markus KUHNENNE	Germany
Anna PALISSON	France
Valérie PRUDOR	France
Irene PUNCELLO	Italy
Dominik PYSCHNY	Germany
Thibaut RENAUX	France
Daniel SPAGNI	France

I soci corrispondenti hanno incluso:

SOKOL	Léopold	France
-------	---------	--------

Figures

Le figure sono state fornite dalle seguenti fonti

Figure 1.1 – BACACIER

Figure 1.1.1 – Sokol Palisson Consultants

Figure 1.3.1 – BACACIER

Figure 1.3.2 - Sokol Palisson Consultants

Figure 1.3.3 - Sokol Palisson Consultants

Figure 2.1 – Riproduzione del EN 1993-1-3

Figure 3.1.1 – Riproduzione del EN 1993-1-3

Figure 3.1.2 - Sokol Palisson Consultants

Figure 3.1.3 - Riproduzione del EN 1993-1-3

Figure 3.1.4 - Sokol Palisson Consultants

Figure 3.2.1 - Sokol Palisson Consultants

Figure 5.1 – Riproduzione del EN 1993-1-3

INDICE

SCOPO DELLA PUBBLICAZIONE

Notazioni

1. INTRODUZIONE

- 1.1. Sezione trasversale della lamiera
- 1.2. Dati della lamiera
- 1.3. Dimensioni del rilievo

2. CALCOLO DI A_g L'AREA DELLA SEZIONE LORDA

3. CALCOLO DELL'AREA EFFETTIVA DELLA SEZIONE A_{eff}

- 3.1. Step 1
- 3.2. Iterazione: Step 2
- 3.3. Iterazione: Step 3

4. CALCOLO DEL MOMENTO RESISTENTE IN CAMPATA

5. CALCOLO DELLA REAZIONE DELL'APPOGGIO DI ESTREMITÀ

ALLEGATO 1

SCOPO DELLA PUBBLICAZIONE

Lo scopo di questa pubblicazione è di presentare un esempio dell'applicazione del nuovo metodo di progettazione per gli impalcati in acciaio con rilievi che è stato proposto per l'inclusione nell'Eurocodice EN 1993-1-3.

Questo esempio applicativo tratta situazioni che si verificano attualmente.

Per questioni specifiche (ad es. aperture) o per situazioni eccezionali (sisma, incendio, ecc.) È necessario seguire le clausole pertinenti degli Eurocodici e/ o EN 1090-4.

NOTAZIONI

I simboli seguenti sono usati all'interno del manuale:

t	spessore di progettazione
t_{nom}	spessore nominale
t_{eff}	spessore effettivo
h_w	altezza del profilo
f_{yb}	forza di snervamento
E	modulo di Young
$LS_{embossment}$	lunghezza del rilievo superiore
$zS_{embossment}$	distanza dalla flangia inferiore al rilievo superiore
$LI_{embossment}$	lunghezza del rilievo inferiore
$zI_{embossment}$	distanza dalla flangia inferiore al rilievo inferiore
h	altezza del rilievo/ rientranza
ρ	fattore di riduzione determinato per il rilievo
t_{red}	spessore ridotto
b_{pi}	larghezze delle parti di sezione trasversale piana
$b_{i,eff}$	larghezza effettiva
A_g	area della sezione trasversale lorda
A_{eff}	area effettiva
$z_G :$	posizione dell'asse neutro
σ_{xx}	sforzo assiale
χ_d	fattore di riduzione per la resistenza alla instabilità distorsionale
$M_{c,Rd}$	momento resistente
M_{span}	momento resistente in campata
e_c	distanza dalla flangia compressa dell'asse neutro
s_n	larghezza della parte dell'anima tra la flangia compressa e la posizione dell'asse neutro
S_{eff}	sezione efficace trasversale dell'anima
W_{eff}	modulo di sezione efficace
$R_{w,Rd}$	resistenza trasversale locale

1. INTRODUZIONE

Questo esempio applicativo mostra come verificare le lamiere con rilievi (dentellature) determinando la capacità flettente e la resistenza dell'anima di una lamiera con due irrigidimenti sulla flangia superiore.

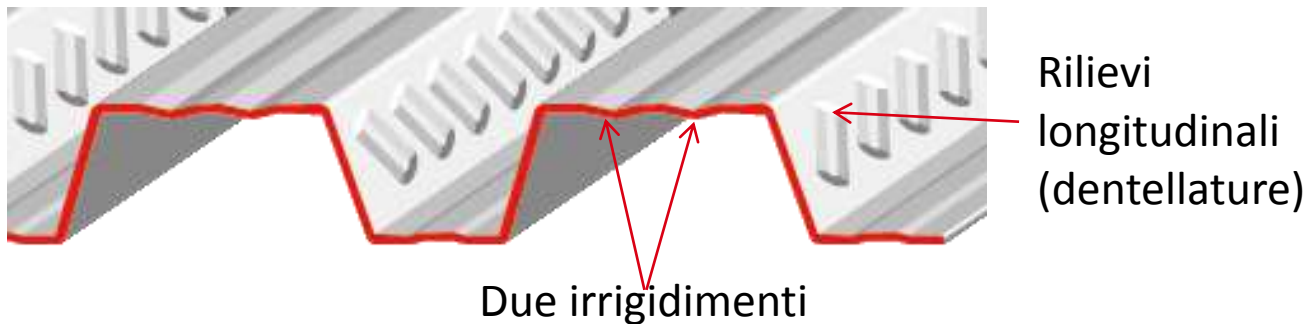


Figura 1.1 – Lamiere in acciaio con due irrigidimenti nella flangia superior e rilievi (dentellature) longitudinali

1.1. Sezione trasversale della lamiera

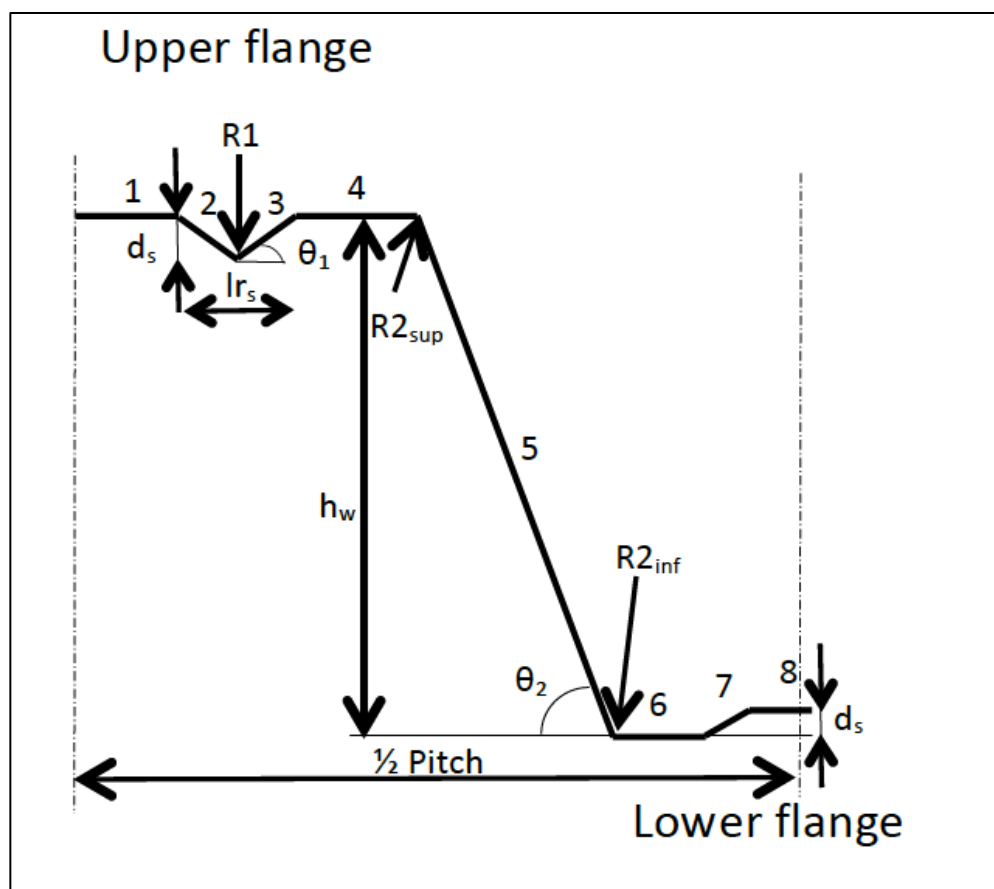


Figura 1.1.1 – Numeri identificativi degli elementi

1.2. Dati della lamiera

Questo esempio è basato sul calcolo del momento resistente in campata di un profilo con i seguenti dati:

R1 (mm)	θ_1 (rad)	R2 _{sup} (mm)	R2 _{inf} (mm)	θ_2 (rad)	t _{nom} (mm)	t (mm)
0,00	0,20	5,00	5,00	1,26	0,75	0,71

Pitch (mm)	hw (mm)	d _s (mm)	lr _s (mm)	d _i (mm)	f _{yb} (N/mm ²)	E (N/mm ²)	γ_{M0}
207,00	60,00	2,50	25,00	1,00	320,00	210000,00	1,00

hS _{embossment} (mm)	hI _{embossment} (mm)	zS _{embossment} (mm)	zI _{embossment} (mm)
16.97	16.97	41.25	18.75

Tabella 1.2.1 – Dati dimensionali della lamiera

Element	b _{pi} (mm)
1	8.50
2	12.75
3	12.75
4	20.00
5	61.70
6	20.50
7	1.41
8	9.00

Tabella 1.2.2 – Dimensioni degli elementi

Controllo delle proporzioni geometriche

b = 107; t = 0.71; h = 60; f_y = 320

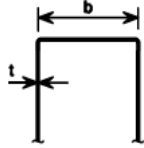
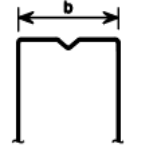
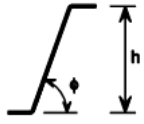
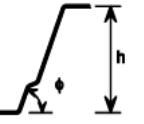
	b/t=	94,37			b/t ≤ 500
	θ_2 =	72,00			
	h/t=	84,51			45° ≤ φ ≤ 90°
	500sin(θ2)=	475,52			
r <	0,04 t E / f _y	18,64			h/t ≤ 500 sinφ

Tabella 1.2.3 – Controllo delle proporzioni geometriche

1.3. Dimensioni dei rilievi

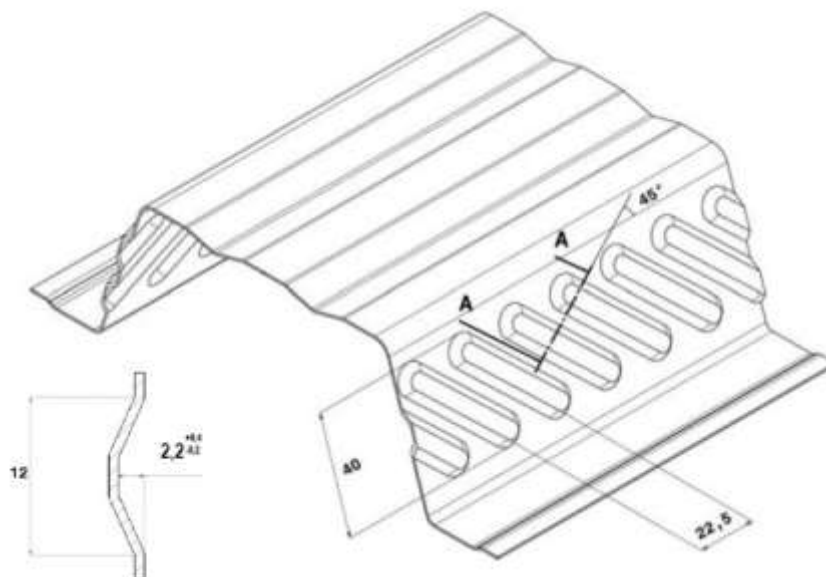


Figura 1.3.1 – Profilo calcolato

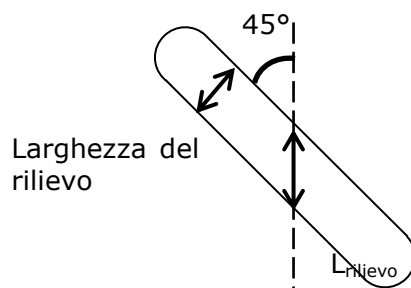


Figura 1.3.2 – Lunghezza dei rilievi (dentellature) longitudinali

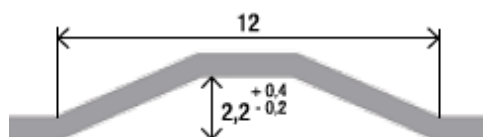


Figura 1.3.3 – Altezza dei rilievi

L'appartenenza all'intervallo di applicabilità del metodo è verificata

$$0.71 \text{ mm} \leq t_{\text{cor}} = 0.75 \leq 1.21 \text{ mm}$$

$$h=2.2 \leq 4.0 \text{ mm}$$

$$30^\circ \leq \alpha=45^\circ \leq 60^\circ$$

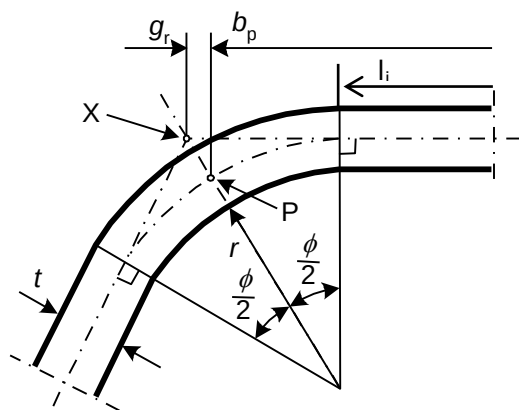
$L_{\text{rilievi}} = \text{Larghezza} / \sin (45^\circ)$ dove Larghezza è = 12 mm

Pertanto $L_{\text{rilievi}} = 16.97 \text{ mm}$
--

2. CALCOLO DELL'AREA DELLA SEZIONE LORDA A_g

A_g è la somma delle aree di tutti gli elementi (lunghezza x t)

lunghezza = $l_i = b_p - r_m \times \sin \pi/4$



(a) punto medio dell'angolo o della curvatura

X è l'intersezione delle linee mediane

P è il punto medio dell'angolo

$$r_m = r + t/2$$

Figura 2.1 – Larghezze teoriche delle parti b_p della sezione trasversale piana tenendo conto dei raggi degli angoli

Element	l_i (mm)	A_i (mm ²)	z (mm)	S_i (mm ³)	$z0$ (mm)
1	8.5	6.0	60.0	362.1	-25.3
2	12.7	9.1	58.8	531.7	-24.0
Corner 1	0.0	0.0	57.5	0.0	-22.8
3	12.7	9.1	58.8	531.7	-24.0
4	17.1	12.1	60.0	726.8	-25.3
Corner 2 _{sup}	6.3	4.5	58.8	262.2	-24.1
5	55.8	39.6	30.0	1189.1	4.7
Corner 2 _{inf}	6.3	4.5	1.2	5.4	33.5
6	16.9	12.0	0.0	0.0	34.7
7	1.4	1.0	0.5	0.5	34.2
8	9.0	6.4	1.0	6.4	33.7
TOTAL		104.2		3616.0	34.7

Tabella 2.1 – Dati dimensionali degli elementi

$$A_g = 104.2 \text{ mm}^2$$

$$\text{Posizione dell'asse neutro: } z_G = S / A_g = 34,7 \text{ mm}$$

3. CALCOLO DELL'AREA EFFETTIVA DELLA SEZIONE A_{eff}

A_{eff} è la somma delle aree effettive di tutti gli elementi.

3.1. Step 1

Area effettiva della flangia superiore

La flangia superiore ha due irrigidimenti. L'effettiva sezione trasversale della flangia è calcolata in accordo a EN 1993-1-3 § "5.5.3.4.2 Flange con irrigidimenti intermedi".

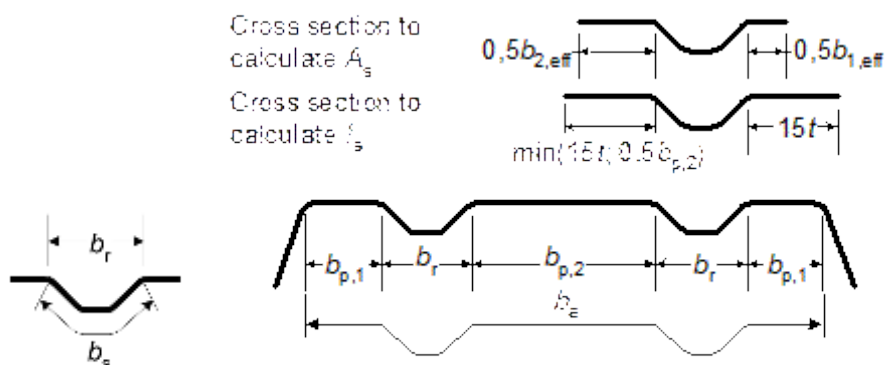


Figura 3.1.1 – Flangia con due irrigidimenti

Lo sforzo nella flangia superiore è $\sigma_{com} = f_{yb} \times (h_w - z_G) / z_G = 233 \text{ N / mm}^2$

$$b_{p,1} = 20 \text{ mm}$$

$$\lambda_{p1} = b_{p1} / t / (28.4 \epsilon k_\sigma^{1/2}) \text{ con } \epsilon = (235 / f_{yb})^{1/2}$$

$$\psi = \sigma_2 / \sigma_1 = 1 \rightarrow \text{Coefficiente } k_\sigma = 4$$

$$\lambda_{p1} = 0.579$$

$$\lambda_{pred1} = \lambda_{p1} \times \sqrt{\frac{\sigma_{com}}{f_y / \gamma_{M0}}} \rightarrow \lambda_{pred1} = 0.494$$

$$\lambda_{pred1} \leq 0.673 \rightarrow \rho = 1$$

$$b_{1eff} = \rho * b_{p1} = 20 \rightarrow \boxed{0.5 b_{1,eff} = 10 \text{ mm}}$$

$$b_{p,2} = 17 \text{ mm}$$

$$\lambda_{p2} = b_{p2} / t / (28.4 \epsilon k_\sigma^{1/2}) \text{ con } \epsilon = (235 / f_{yb})^{1/2}$$

$$\psi = \sigma_2 / \sigma_1 = 1 \rightarrow \text{Coefficiente } k_\sigma = 4$$

$$\lambda_{p2} = 0.492$$

$$\lambda_{pred2} = \lambda_{p2} \times \sqrt{\frac{\sigma_{com}}{f_y / \gamma_{M0}}} \rightarrow \lambda_{pred2} = 0.420$$

$$\lambda_{pred2} \leq 0.673 \rightarrow \rho = 1$$

$$b_{2eff} = \rho * b_{p2} = 17 \rightarrow \boxed{0.5 b_{2,eff} = 8.5 \text{ mm}}$$

Irrigidimenti della flangia superiore:

La sezione trasversale dell'irrigidimento è calcolata in accordo con EN 1993-1-3 § "5.5.3.3 Elementi piani con irrigidimenti intermedi"

Calcolo dello sforzo critico di instabilità $\sigma_{cr,s}$

$$\sigma_{cr,s} = \frac{4,2 k_w E}{A_s} \sqrt{\frac{I_s t^3}{8 b_1^2 (3 b_e - 4 b_1)}}$$

$$b_s = 25.5 \text{ mm}, b_r = 25 \text{ mm}$$

$$b_e = 2b_{p,1} + b_{p,2} + 2b_s = 108 \text{ mm}$$

$$b_1 = b_{p,1} + 0,5 b_r = 32.5 \text{ mm}$$

Calcolo di A_s

Element	l_i (mm)	A_i (mm ²)
plane part of $0.5 b_{2eff}$	8,50	6,0
2	12,75	9,1
Corner 1	0,00	0,0
3	12,75	9,1
plane part of $0.5 b_{1eff}$	10,00	7,10
TOTAL		31,2

Tabella 3.1.1 – Lunghezza e area degli elementi

$$A_s = 31.2 \text{ mm}^2$$

Calcolo di I_s

Element	l_i (mm)	A_i (mm ²)	z (mm)	S_i (mm ³)	$z0$ (mm)	h	I_i (mm ⁴)
plane part of $\min(15t; 0.5b_{2eff})$	8,50	6,0	0,0	0,0	0,7	0,7	3,3
2	12,75	9,1	1,3	11,3	-0,5	2,5	7,3
Corner 1	0,00	0,0	2,5	0,0	-1,8	0,0	0,0
3	12,75	9,1	1,3	11,3	-0,5	2,5	7,3
plane part of $15t$	10,65	7,6	0,0	0,0	0,7	0,7	4,2
TOTAL		31,7		22,6	0,7		22,1

Tabella 3.1.2 – Lunghezza degli elementi e aree di calcolo.

$$I_s = 22.1 \text{ mm}^4$$

$$l_b = 3,65 \sqrt[4]{I_s b_1^2 (3 b_e - 4 b_1) / t^3}$$

$$l_b = 217.8$$

$$s_w = 61.7$$

$$l_b / s_w = 3.5 \geq 2 \rightarrow k_w = k_{w0}$$

$$k_{w0} = \sqrt{\frac{(2 b_e + s_w) (3 b_e - 4 b_1)}{b_1 (4 b_e - 6 b_1) + s_w (3 b_e - 4 b_1)}}$$

$$k_{w0} = 1.65$$

$$\text{sforzo critico di instabilità } \sigma_{cr,s} = 103 \text{ N/mm}^2$$

$$\bar{\lambda}_d = \sqrt{f_{yb}/\sigma_{cr,s}}$$

$$\bar{\lambda}_d = 1.77$$

$$\bar{\lambda}_d \geq 1.38 \rightarrow \chi_d = \frac{0.66}{\bar{\lambda}_d}$$

$$\text{Fattore di riduzione per la resistenza a instabilità distorsionale } \chi_d = 0.374$$

$$\text{Spessore ridotto } t_{red} = c_d t \frac{f_{yb}/g_{M0}}{S_{com,Ed}}$$

$$\text{Spessore ridotto } t_{red} = 0.36 \text{ mm}$$

Area effettiva dell'anima

L'area effettiva dell'anima è calcolata in accordo con "5.5.3.4.3 Anime con fino a due irrigidimenti intermedi" del EN 1993-1-3.

La lamiera ha due rilievi (dentellature) longitudinali come in Figura 3.1.2. La larghezza effettiva del profilo a parete piena con rilievi è inizialmente calcolata in accordo con 5.5.1(2) of EN 1993-1-3.

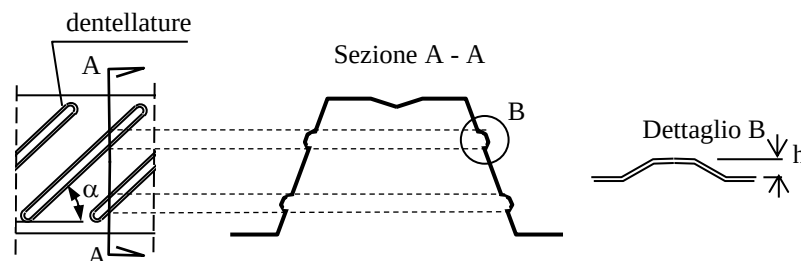


Figura 3.1.2 – Lamiera con rilievi (dentellature) longitudinali

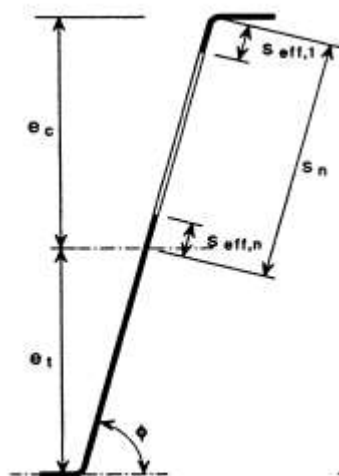


Figura 3.1.3 – Area effettiva dell'anima

$$e_c = h_w - z_G = 25,3 \text{ mm} \rightarrow s_n = 25,9 \text{ mm}$$

$$\sigma_{com} = f_{yb} \times (h_w - z_G) / z_G = 233 \text{ N / mm}^2$$

Proprietà della sezione efficace raffinate con processo iterativo →

$$s_{eff,0} = 0,95t \sqrt{\frac{E}{\gamma_{M0} \sigma_{com,Ed}}}$$

$$\rightarrow s_{eff,0} = 20,24 \text{ mm}$$

$$s_{eff,1} = s_{eff,0} \rightarrow s_{eff,1} = 20,24 \text{ mm}$$

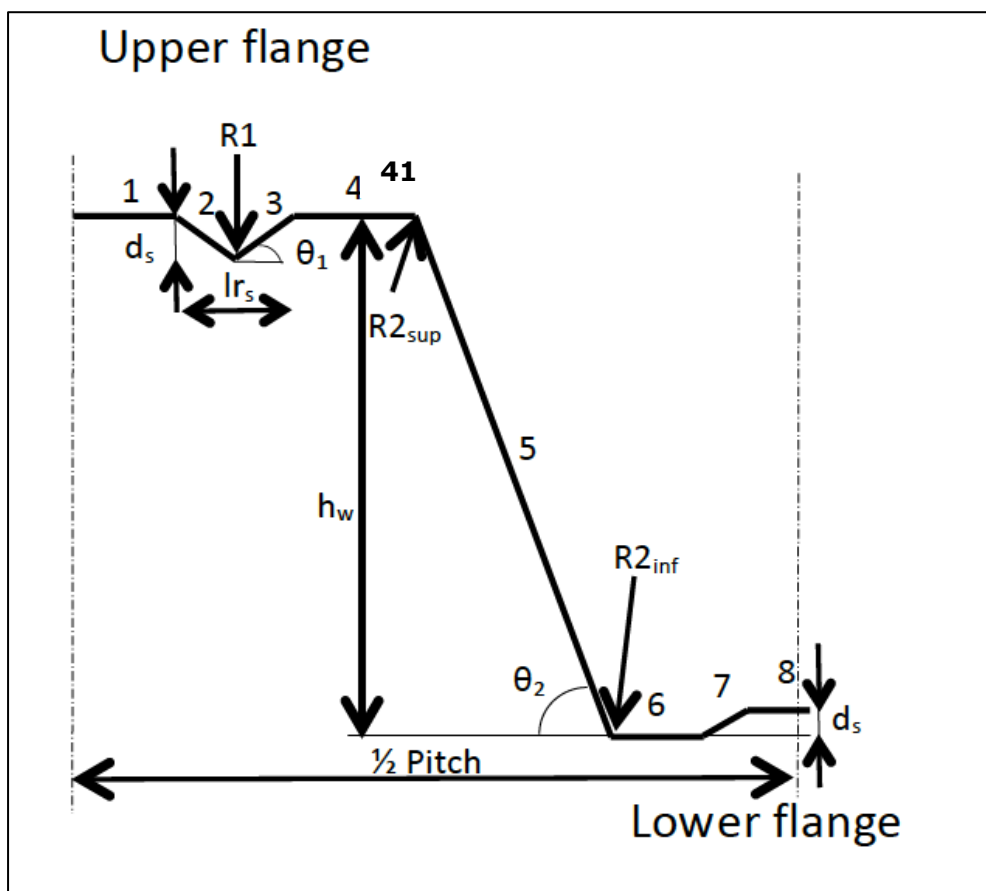
$$s_{eff,n} = 1.5 s_{eff,0} \rightarrow s_{eff,n} = 30,4 \text{ mm} \rightarrow s_{eff,1} + s_{eff,n} \geq s_n \text{ l'intera anima è effettiva}$$

$$s_{eff,1} = 0,4s_n$$

$$s_{eff,n} = 0,6s_n$$

Area effettiva della flangia inferiore

In questo caso la flangia inferiore è in tensione → tutta la larghezza è effettiva

Area effettiva totaleCalcolo di A_{eff} **Figura 3.1.4** – Numeri identificativi degli elementi

Elément	l_i (mm)	t_{eff}	A_i (mm ²)	z (mm)	S_i (mm ³)	$z0$ (mm)
1	8.50	0.36	3.1	60.0	185.8	-29.5
2	12.75	0.36	4.6	58.8	272.9	-28.2
Corner 1	0.00	0.36	0.0	57.5	0.0	-27.0
3	12.75	0.36	4.6	58.8	272.9	-28.2
41	10.00	0.36	3.6	60.0	218.6	-29.5
42	7.06	0.71	5.0	60.0	300.8	-29.5
Corner 2 _{sup}	6.28	0.71	4.5	58.8	262.2	-28.3
5	55.82	0.71	39.6	30.0	1189.1	0.5
Corner 2 _{inf}	6.28	0.71	4.5	1.2	5.4	29.3
6	16.87	0.71	12.0	0.0	0.0	30.5
7	1.41	0.71	1.0	0.5	0.5	30.0
8	9.00	0.71	6.4	1.0	6.4	29.5
TOTAL			89.0		2714.6	30.5

Tabella 3.1.3 – Lunghezze e aree degli elementi

$$A_{eff} = 89 \text{ mm}^2$$

Posizione dell'asse neutro della sezione effettiva: $z_G = 30,5 \text{ mm}$

3.2. Iterazione: Step 2

Nella fase successive la nuova posizione dell'asse neutro della sezione effettiva è presa in considerazione per calcolare la nuova σ_{com} .

L'area effettiva della flangia superiore è calcolata come nel primo step, ma considerando il nuovo σ_{com} calcolato con la nuova posizione dell'asse neutro z_c

Tutti I valori ottenuti per la flangia superiore nel secondo step sono indicati nella tabella seguente.

		2nd step
Upper flange	σ_{com}	309
	$\rho \text{ pour } b_{2,eff}$	1
	$0,5 b_{2,eff}$	8.50
	$\rho \text{ pour } b_{1,eff}$	1
	$0,5 b_{1,eff}$	10.00
Upper flange stiffener	$\sigma_{cr,s}$	102.7
	χ_d	0.37
	t_{red}	0.27

Table 3.2.1 – valori ottenuti nel 2nd step per la flangia superiore

Area effettiva dell'anima

I valori ottenuti nel secondo step per quanto riguarda l'anima sono indicati nella tabella seguente.

Web	e_c	29.5
	S_n	30.3
	$S_{eff,0}$	17.6
	$S_{eff,1}$	17.6
	$S_{eff,n}$	26.4
	$S_{eff,1} + S_{eff,n}$	43.9
	entire web is effective	
	$S_{eff,1}$	0,4sn
	$S_{eff,n}$	0,6sn

Tabella 3.2.2 – valori ottenuti per l'anima nel 2° step

Le dentellature sono considerate come elementi piastre con spessore ridotto $t_{red} = \rho \times 0,71$ per la lunghezza $L_{rilievi}$ (Fig 1.3.2)

Determinazione del rapport di rilievo ρ

$$\rho = A \cdot h + B, \text{ A e B sono coefficienti dati in tabella 3.2.1}$$

Type of local deformation	t (mm)	h (mm)	A	B
Indentation	0.71	0 - 1.5	-0.533	1.000
		1.5 - 2.75	-0.112	0.368
		2.75 - 4.0	-0.025	0.128
	0.96	0 - 1.5	-0.467	1.000
		1.5 - 2.75	-0.186	0.580
		2.75 - 4.0	-0.020	0.122
	1.21	0 - 1.5	-0.401	1.000
		1.5 - 2.75	-0.260	0.792
		2.75 - 4.0	-0.015	0.116
Embossment	0.71	0 - 1.5	-0.267	1.000
		1.5 - 2.75	-0.056	0.684
		2.75 - 4.0	-0.013	0.564
	0.96	0 - 1.5	-0.234	1.000
		1.5 - 2.75	-0.093	0.790
		2.75 - 4.0	-0.010	0.561
	1.21	0 - 1.5	-0.201	1.000
		1.5 - 2.75	-0.130	0.896
		2.75 - 4.0	-0.008	0.558

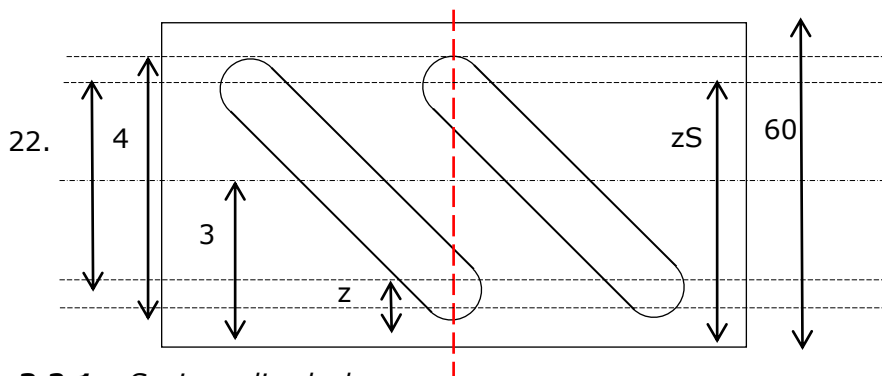
Tabella 3.2.3 – Valori dei coefficienti A and B

Per $t=0.71$ mm e $h=2.2$ mm ($1.5 < h < 2.75$) → $A = -0.112$; $B = 0.368$

$$\rho = 0.122$$

Spessore ridotto del rilievo $t_{\text{red}} = 0.122 \times 0.71 = 0.087$ mm per la lunghezza L_{rilievi} (Fig 1.3.2)

La sezione trasversale per il calcolo della sezione efficace è posizionata in modo da provocare l'effetto più sfavorevole. Il calcolo viene eseguito in diverse sezioni trasversali, la sezione che induce la riduzione più importante del momento resistente è la sezione che taglia simmetricamente 2 rilievi come in Fig. 3.2.1.

**Figura 3.2.1** – Sezione di calcolo

$$zS = 60/2 + 22.5/2 = 41.25$$

$$zI = 60/2 - 22.5/2 = 18.75$$

Area effettiva della flangia inferiore

La flangia inferiore in questo caso è in tensione → tutta la larghezza è effettiva

Area totale effettiva

Calcolo di A_{eff}

Elément	l_i (mm)	t_{eff}	A_i (mm ²)	z (mm)	S_i (mm ³)	$z0$ (mm)
1	8.50	0.27	2.3	60.0	140.1	-31.1
2	12.75	0.27	3.5	58.8	205.7	-29.8
Corner 1	0.00	0.27	0.0	57.5	0.0	-28.6
3	12.75	0.27	3.5	58.8	205.7	-29.8
41	10.00	0.27	2.7	60.0	164.8	-31.1
42	7.06	0.71	5.0	60.0	300.8	-31.1
Corner 2 _{sup}	6.28	0.71	4.5	58.8	262.2	-29.9
5	55.82	0.71	39.6	30.0	1189.1	-1.1
Embossment S	-16.97	0.71	-12.0	41.3	-497.0	-12.3
	16.97	0.09	1.5	41.3	60.9	-12.3
Embossment I	-16.97	0.71	-12.0	18.8	-225.9	10.2
	16.97	0.09	1.5	18.8	27.7	10.2
Corner 2 _{inf}	6.28	0.71	4.5	1.2	5.4	27.7
6	16.87	0.71	12.0	0.0	0.0	28.9
7	1.41	0.71	1.0	0.5	0.5	28.4
8	9.00	0.71	6.4	1.0	6.4	27.9
TOTAL			63.9		1846.4	28.9

Tabella 3.2.4 – Lunghezze e aree degli elementi

$$A_{eff} = 63,9 \text{ mm}^2$$

Posizione dell'asse neutro della sezione effettiva: $z_G = 28,9 \text{ mm}$

3.3. Iterazione: Step3

Tutti I valori dello step 3 sono riportati nella tabella seguente. La convergenza è considerata soddisfacente al terzo step, pertanto l'iterazione si ferma a tale step.

		3rd step
Upper flange	σ_{com}	320
	ρ pour $b_{2,eff}$	1
	$0,5 b_{2,eff}$	8.50
	ρ pour $b_{1,eff}$	1
	$0,5 b_{1,eff}$	10.00
Upper flange stiffener	$\sigma_{cr,s}$	102.7
	χ_d	0.37
	t_{red}	0.27
Web	e_c	31.1
	S_n	32.0
	$S_{eff,0}$	16.7
	$S_{eff,1}$	16.7
	$S_{eff,n}$	25.0
	$S_{eff,1} + S_{eff,n}$	41.6
		entire web is effective
	$S_{eff,1}$	0,4sn
	$S_{eff,n}$	0,6sn
Total effective Area	A_{eff}	63.5
Position of neutral axis	z_c	28.7

Tabella 3.3.1 – Valori relative al terzo Step

4. CALCOLO DEL MOMENTO RESISTENTE IN CAMPATA

Il momento resistente in campata è calcolato con I dati ottenuti nel terzo step.

Elément	l_i (mm)	t_{eff}	A_i (mm ²)	z (mm)	S_i (mm ³)	$z0$ (mm)	h	I_i (mm ⁴)
1	8,50	0,27	2,3	60,0	135,4	-31,3	0,7	2209,5
2	12,75	0,27	3,4	58,8	198,8	-30,0	2,5	3055,7
Corner 1	0,00	0,27	0,0	57,5	0,0	-28,8	0,0	0,0
3	12,75	0,27	3,4	58,8	198,8	-30,0	2,5	3055,7
41	10,00	0,27	2,7	60,0	159,3	-31,3	0,7	2599,4
42	7,06	0,71	5,0	60,0	300,8	-31,3	0,7	4908,6
Corner 2 _{sup}	6,28	0,71	4,5	58,8	262,2	-30,1	0,0	4039,5
5	55,82	0,71	39,6	30,0	1189,1	-1,3	53,1	9375,7
Embossment S	-16,97	0,71	-12,0	41,3	-497,0	-12,5	16,1	-2156,2
	16,97	0,09	1,5	41,3	60,9	-12,5	16,1	264,0
Embossment I	-16,97	0,71	-12,0	18,8	-225,9	10,0	16,1	-1456,9
	16,97	0,09	1,5	18,8	27,7	10,0	16,1	178,4
Corner 2 _{inf}	6,28	0,71	4,5	1,2	5,4	27,5	0,0	3377,1
6	16,87	0,71	12,0	0,0	0,0	28,7	0,7	9872,1
7	1,41	0,71	1,0	0,5	0,5	28,2	1,0	799,2
8	9,00	0,71	6,4	1,0	6,4	27,7	0,7	4906,9
TOTAL			63,5		1822,3	28,7		45028,6

Tabella 4.1 – Dati ottenuti nel terzo Step

$$M_{c,Rd} = W_{eff} f_{yb} / \gamma_{M0}$$

Per 1/2 passo $I_{eff} = 45029 \text{ mm}^4$

Per il profilo $I_{eff} = 435 \text{ mm}^3$

$v = \max(28,7; 31,3) = 31,3 \text{ mm}$

$W_{eff} = I_{eff} / v = 13.9 \text{ mm}^3$

$M_{campata} = 4,4 \text{ kNm/m}$

5. CALCOLO DELLA REAZIONE DELL'APPOGGIO DI ESTREMITÀ

La resistenza trasversale locale dell'anima di una lamiera con rilievi (dentellature) longitudinali, deve essere calcolata secondo la formula abituale (6.18) del EN 1993-1-3.

$$R_{w,Rd} = \alpha t^2 \sqrt{f_{yb} E} \left(1 - 0,1 \sqrt{r/t} \right) \left[0,5 + \sqrt{0,02 l_a / t} \right] \left(2,4 + (\phi/90)^2 \right) / \gamma_{M1} \quad (6.18)$$

In questo caso la reazione dell'appoggio di estremità è calcolata considerando $c \leq 1,5 h_w$ rispetto alla lunghezza del bordo libero, per cui si ricade in categoria 1.

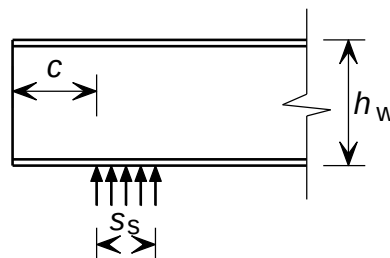


Figura 5.1 – Reazione dell'appoggio di estremità con $c \leq 1,5 h_w$: Categoria 1

Per le lamiere appartenenti alla categoria 1 $\alpha = 0,075$ and $l_a = 10 \text{ mm}$

$t = 0,71 \text{ mm}$

$r = 5 \text{ mm}$

$\phi = 72$

Per anima: $R_{w,Rd} = 713 \text{ N}$

Passo = 207

Per metro: **$R_{w,Rd} = 6,9 \text{ kN/m}$**

Allegato 1

Background del nuovo metodo di progettazione per impalcati in acciaio con rilievi

D1.1	GRISPE WP1 documento di base	Anna PALISSON (Sokol Palisson Consultants)
D1.2	GRISPE WP1 Definizione del programma di esperimenti	Anna PALISSON (Sokol Palisson Consultants)
D1.3	GRISPE Relazione sugli esperimenti su lamiere trapezoidali in acciaio con e senza con e senza rilievi e dentellature	Christian FAUTH (KIT)
D1.4	GRISPE WP1 Interpretazione ed analisi dei dati sperimentali	Anna PALISSON (Sokol Palisson Consultants)
D1.5	GRISPE Stato dell'arte per la EN 1993-1-3 per quanto concerne la progettazione di lamiere con rilievi e dentellature	Anna PALISSON (Sokol Palisson Consultants)