

GRISPE PLUS



VALORISATION OF KNOWLEDGE
FOR SPECIFIC PROFILED STEEL SHEETS

WP N°: 3

WP Title: eLectures

Deliverable N°: 3.1

Deliverable Title: Manuale di progettazione per profili autobloccanti

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

Mickael BLANC, BACACIER

Drafting history

DRAFT N° 1 – DATA: 29st of March

FINAL- DATE: 31st of March

Livello di divulgazione

<i>PU</i>	<i>Public-Open</i>	X
<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>	

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 design 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 acknowledgement 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. **75 4092**

PREFAZIONE

Questo manuale di progettazione è stato realizzato con il supporto del finanziamento n° **754092** del fondo europeo RFCS (Research Fund for Coal and Steel).

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 Mickaël BLANC ed è stato discusso in un gruppo di lavoro GRISPE PLUS composto dai seguenti membri:

Mickaël 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

FIGURE

Le figure sono state fornite dalle seguenti fonti:

Figura 0.1	BACACIER
Figura 1.1	BACACIER
Figura 1.2	BACACIER
Figura 1.3	BACACIER
Figura 1.4	JORIS IDE
Figura 1.5	KIT
Figura 1.6	BACACIER
Figura 1.7	BACACIER
Figura 1.8	KIT
Figura 1.9	KIT
Figura 5.1	BACACIER
Figura 5.2	BACACIER
Figura 5.3	BACACIER
Figura 5.4	BACACIER
Figura 5.5	BACACIER
Figura 7.1	BACACIER
Figura 7.2	BACACIER
Figura 7.3	BACACIER
Figura 7.4	BACACIER
Figura 7.5	BACACIER
Figure 7.6	BACACIER

INDICE

Disclaimer notice and EU acknowledgement of support..... 1

SCOPO DELLA PUBBLICAZIONE 5

NOTAZIONI 5

1. INTRODUZIONE 6

 1.1. Tipologie di lamiere profilate studiate 6

 1.2. Stato dell’arte 6

 1.3. Principali risultati del progetto GRISPE 7

 1.4. Requisiti e regole generali di progettazione 9

2. CONSIDERAZIONI PRELIMINARI 11

 2.1. Campi di applicazione del nuovo metodo di progettazione 11

 2.2. Disposizioni tecnologiche 11

3. REQUISITI TECNOLOGICI DI BASE 11

4. PROPRIETÀ DEL MATERIALE 11

5. BASI DELLA PROGETTAZIONE 12

 5.1. Principi 12

 5.2. Campi di applicazione del nuovo metodo di progettazione 12

 5.3. Procedura di progettazione 12

 Momento resistente con la flangia ampia in compressione 12

 Momento resistente con la flangia ampia in tensione 14

 Resistenza alla reazione del support di estremità 15

 Resistenza alla dislocazione del giunto 15

6. SPECIFICHE CONSIDERAZIONI SULLA PROGETTAZIONE 16

7. ESEMPIO DI PROGETTAZIONE 17

 7.1. Descrizione dell’edificio e valutazione dei carichi 17

 7.2. Ipotesi 17

 Disposizioni 17

 Geometria del profilo 18

 Proprietà del materiale 18

 7.3. Calcolo della resistenza del profilo 18

 Validità della geometria del profilo 18

 Resistenza alla dislocazione del giunto 18

 Momento resistente sotto carichi di pressione 19

 Momento resistente sotto carichi di aspirazione 21

 Resistenza alla reazione del supporto di estremità 23

 7.4. Controllo agli in ULS 24

 Carichi e forze interne 24

 Verifiche 24

7.5. Controllo agli SLS.....	25
Carichi e inflessione	25
Verifiche	25
7.6. Verifiche tramite software	26
INDICE DELLE FIGURE	27
BIBLIOGRAFIA	28
ALLEGATO: PROGETTO DI EMENDAMENTO PRESENTATO AL CEN.....	29

SCOPO DELLA PUBBLICAZIONE

Lo scopo di questa pubblicazione è di presentare un nuovo metodo di progettazione per profili in acciaio autobloccanti in accordo con quanto previsto in [1], che è stato proposto per l'inserimento in [2].

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

Per questioni specifiche (ad es. in presenza di aperture) o per situazioni eccezionali di carico/azioni (sisma, incendio, ecc.) è necessario seguire le clausole pertinenti degli Eurocodici [1].

NOTAZIONI

I simboli seguenti sono usati all'interno del manuale:

b_u : larghezza utile della flangia ampia della lastra

h : profondità complessiva della lastra

b_f : larghezza della flangia fissa del giunto della lastra

c_f : larghezza della flangia libera del giunto della lastra (indefinito per il giunto a chevron)

φ : angolo del giunto relativo alle flange

L : campata

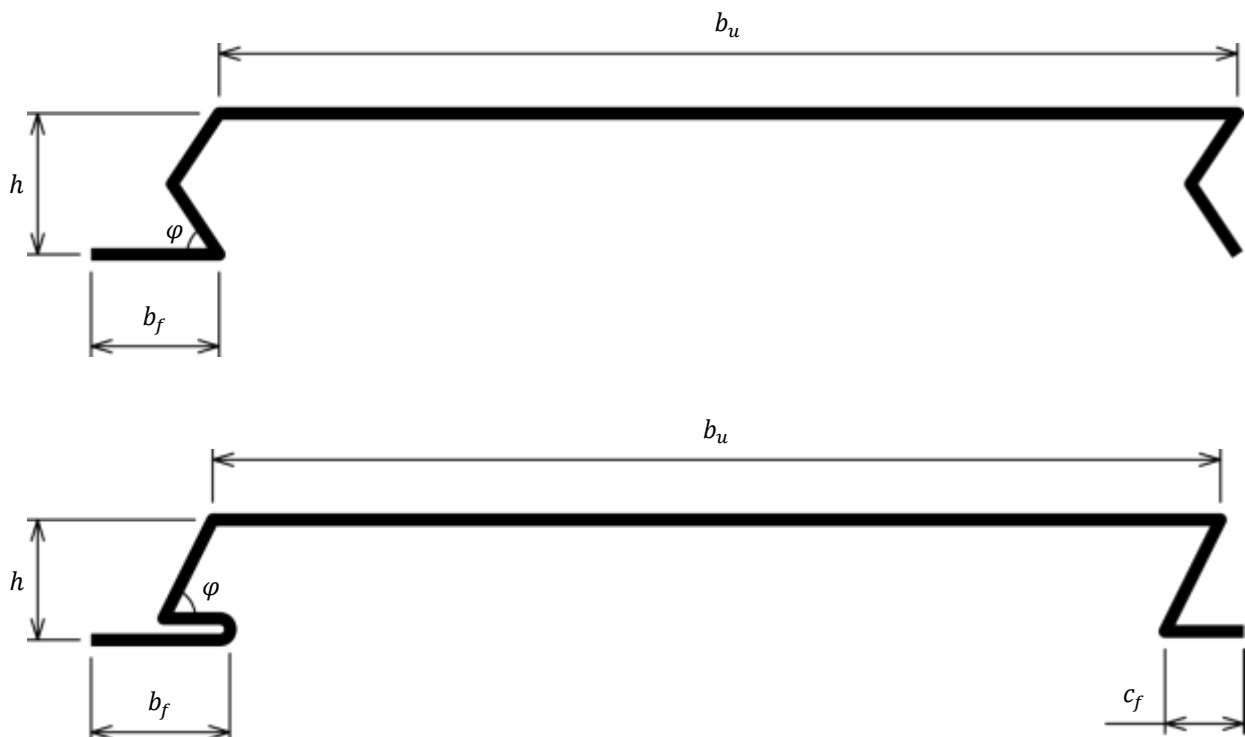


Figura 0.1 Definizione geometrica del profilo

1. INTRODUZIONE

1.1. Tipologie di lamiere profilate studiate

Questo manuale di progettazione tratta i profili autobloccanti in acciaio utilizzati per i rivestimenti. Il metodo presentato di seguito è valido per le due forme principali di giunto per tali profili: giunto a 'chevron' (Figura 1.1) e giunto a 'clip' (Figura 1.2).



Figura 1.1 Giunto Chevron.



Figura 1.2 Giunto a Clip.

1.2. Stato dell'arte

Nella storia dei rivestimenti delle costruzioni in acciaio, i profili autobloccanti in acciaio sono stati sviluppati per ragioni estetiche. Senz'altro, la ricerca sia di fissaggi nascosti sia di ampie superfici piane ha preso il sopravvento su considerazioni meccaniche. A tal fine, molte forme di giunti, come mostrato in Figura 1.3, sono state sviluppate dai costruttori.

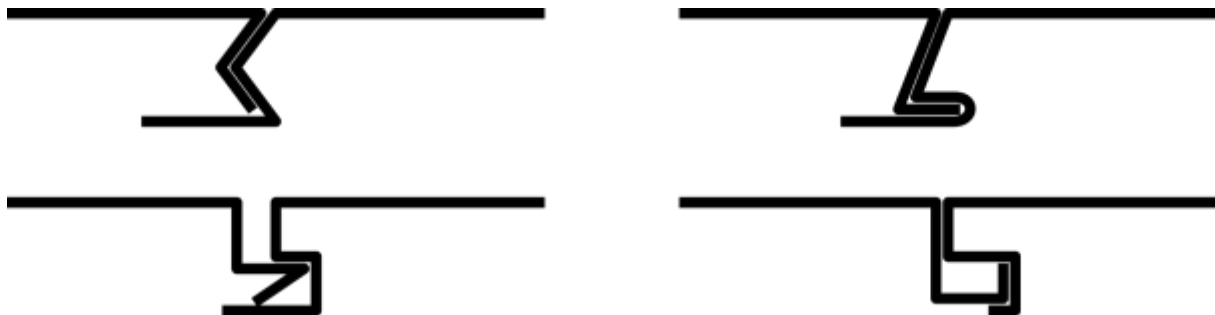


Figura 1.3 Differenti forme di giunti (non esaustivo di tutte le tipologie).

Considerando l'aspetto estetico, i due punti precedenti (fissaggi nascosti e ampia superficie piana) rappresentano un vantaggio sicuro ed una buona risposta alle preoccupazioni degli architetti. Ciò rende questi profili prodotti progressivamente più diffusi nel settore delle costruzioni.

Per quanto riguarda la valutazione delle prestazioni da questa tipologia di profilo generalmente soggetta a carico del vento, varie indicazioni sono fornite dalle diverse nazioni. Alcune autorizzano solo la progettazione tramite l'esecuzione di prove, altre consentono sia la progettazione tramite calcolo sia quella tramite l'esecuzione di prove sperimentali. Nessuna soluzione univoca è stata inclusa negli Eurocodici.

I profili autobloccanti in acciaio non esplicitamente inclusi nei vigenti Eurocodici ma, come i liner trays, possono essere caratterizzati come "grandi sezioni di tipo canale, con due flange strette, due anime e una flangia ampia". Pertanto, si può supporre che le formule di calcolo fornite per le resistenze dei liner trays forniscano risultati interessanti anche se usate nel caso dei profili autobloccanti in acciaio.

Anche se questi risultati forniscono una buona stima del comportamento dei profili in esame, deve essere presa in considerazione una ulteriore modalità di collasso, tipica di essi. Infatti, il fatto che un bordo del giunto sia libero di muoversi a causa dei fissaggi nascosti, fa sì che si osservi un particolare comportamento durante le prove sotto carichi di aspirazione: quando il carico applicato sul profilo aumenta, il bordo libero esce lentamente dal punto di giunzione, provocando una dislocazione di quest'ultimo (si veda la Figura 1.4), mentre l'aspetto della flangia ampia è ancora accettabile.



Figura 1.4 Graduale dislocazione del giunto durante i test eseguiti con carichi di aspirazione

1.3. Principali risultati del progetto GRISPE

Una campagna di prove sperimentali in accordo con quanto prescritto dagli Eurocodici (vedere [3] e [4]) è stata condotta sui due profili presenti in Figura 1.1, comprensiva di:

- Prove di flessione su campata singola eseguite in camera a vuoto (Figura 1.5)
 - o In presenza di carichi di pressione
 - o In presenza di carichi di aspirazione
- Prove di flessione su campata doppia eseguite in camera a vuoto
 - o In presenza di carichi di pressione
 - o In presenza di carichi di aspirazione
- Prove sul supporto di estremità

Queste prove sperimentali sono state realizzate utilizzando provini con due diversi spessori nominali: 0.75 e 1.0 mm.



Figura 1.5 Provino posizionato sulla camera da vuoto (setup usato per i carichi di pressione).

Uno dei risultati più significativi ottenuti è il fatto che, durante le prove a doppia campata, sia in presenza di carichi di aspirazione sia di pressione, i profili non mostrano resistenza sul supporto intermedio e si comportano come una cerniera. Infatti, analizzando i valori delle reazioni dei supporti, è stato rilevato che la reazione del supporto centrale è uguale al valore che ci si aspetta con due travi isostatiche e non quello atteso per una singola trave continua (vedere Figura 1.6 e Figura 1.7). Questa osservazione è confermata dal momento resistente caratteristico (M_{Rk}) del profilo a metà campata, che ha valore analogo sia se la prova è eseguita su campata singola sia doppia.

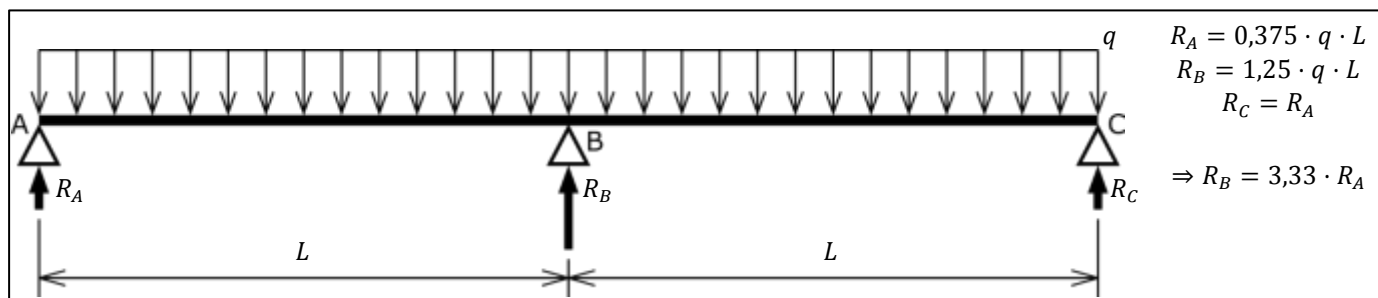


Figura 1.6 Comportamento previsto per le prove eseguite su doppia campata.

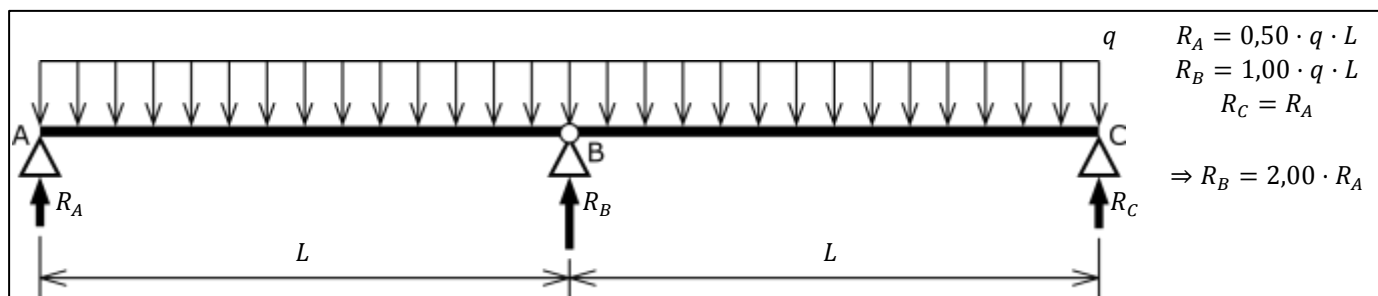


Figura 1.7 Comportamento osservato per le prove eseguite su doppia campata.

L'altra importante considerazione effettuata grazie ai risultati delle prove di flessione su provini soggetti a carico di aspirazione è che, a differenza di quando il carico è applicato

per mezzo di blocchi di legno, la dislocazione del giunto non è l'unica modalità di collasso osservata nella camera a vuoto. Infatti, alcuni provini sono andati incontro a collasso per dislocazione del giunto, mentre la maggior parte di essi è andata incontro a collasso per instabilità locale del giunto nel punto medio, come in Figura 1.8. La camera a vuoto è il modo più realistico per applicare carichi che simulino quelli del vento che i profili considerati devono affrontare sugli edifici reali, quindi gli attuali valori di resistenza indicati, quando le prove sono effettuate utilizzando i blocchi di legno per la distribuzione del carico, possono essere troppo penalizzanti.



Figura 1.8 Collasso per instabilità locale del giunto per la prova di flessione eseguita su campata singola, sottoposta a carichi di aspirazione

Questo punto meriterebbe di essere il tema principale di uno studio completo volto a comprendere meglio tale fenomeno. Un tipico collasso dovuto a dislocazione del giunto per la prova di flessione a doppia campata sottoposta a carichi di aspirazione può essere osservato di seguito nella Figura 1.9.



Figura 1.9 Collasso per dislocazione del giunto per la prova di flessione eseguita su campata doppia, sottoposta a carichi di aspirazione

1.4. Requisiti e regole generali di progettazione

Il seguente metodo fornisce un modo per calcolare la resistenza di progetto R_d in accordo con [5] e con il suo emendamento [6]. I valori di progetto degli effetti delle azioni

devono essere calcolati in conformità con tutte le parti rilevanti di [7] e del suo emendamento [9].

La procedura riportata di seguito rispetta le regole generali presenti in [10] e il suo emendamento [11] e le basi della progettazione definite nella parte 2 di [2].

Una bozza di emendamento è stata proposta al CEN per la validazione e l'inclusione nell'Eurocodice. Tale bozza è riportata in Allegato.

2. CONSIDERAZIONI PRELIMINARI

2.1. Campi di applicazione del nuovo metodo di progettazione

Questo manuale riporta un nuovo metodo di progettazione per i profili autobloccanti conforme a [1].

2.2. Disposizioni tecnologiche

Le dimensioni minime dei supporti sono:

- Supporti in acciaio:
 - o Larghezza minima: 40 mm
 - o Spessore minimo: 1.5 mm
- Supporti in legno:
 - o Larghezza minima: 60 mm
 - o Spessore minimo: 80 mm
- Supporti in calcestruzzo: non consentiti con contatto diretto. Per correggere le irregolarità della superficie, una struttura secondaria in metallo o in legno deve essere inserita.

Le caratteristiche delle viti sono:

- Per i supporti in acciaio:
 - o Diametro minimo: 5.5 mm
 - o Lunghezza minima: quanto necessario affinché la filettatura della vite passi attraverso il supporto
- Per i supporti in legno:
 - o Diametro minimo: 6.3 mm
 - o Lunghezza minima: quanto serve affinché la lunghezza di ancoraggio sia di almeno 50mm

La densità dei fissaggi è pari 1 vite per supporto per profilo.

3. REQUISITI TECNOLOGICI DI BASE

I profili autobloccanti considerati devono essere marcati CE in accordo con gli standard [1].

4. PROPRIETÀ DEL MATERIALE

Le proprietà del materiale usate nei calcoli, se non diversamente specificato, devono soddisfare i requisiti definiti nella sezione 3 del [2].

5. BASI DELLA PROGETTAZIONE

5.1. Principi

Questo metodo di progettazione è basato sul metodo di progettazione numerica dei liner trays, già incluso in [2]. Questo metodo è completato da un criterio addizionale che tiene in considerazione la possibile dislocazione del nodo.

Il nuovo metodo di progettazione può essere usato per determinare:

- La resistenza a flessione con la flangia ampia in compressione.
- La resistenza a flessione con la flangia ampia in tensione.
- La resistenza alle reazioni del supporto di estremità.
- La resistenza alla dislocazione del nodo.

5.2. Campi di applicazione del nuovo metodo di progettazione

La seguente procedura di progettazione può essere usata per valutare la resistenza dei profili considerati, purché le proporzioni geometriche rientrino all'interno degli intervalli elencati in seguito:

0.75 mm	\leq	t_{nom}	\leq	1.00 mm
		b_f	\leq	40 mm
25 mm	\leq	h	\leq	30 mm
		b_u	\leq	300 mm
		φ	\leq	60°
11 mm	\leq	c_f		

Per le notazioni, si veda la **Figura 0.1**.

I valori delle resistenze di progetto ottenuti sono rilevanti solo quando comparati ad azioni applicate come carichi uniformi, principalmente l'azione del vento.

5.3. Procedura di progettazione

Momento resistente con la flangia ampia in compressione

In accordo con [5] e con il suo emendamento [6], la larghezza efficace della flangia ampia (elemento interno uniformemente compresso) è calcolata come:

$$b_{u,eff} = \rho_u \cdot b_u$$

Sulla base di questa larghezza efficace della flangia ampia $b_{u,eff}$ e sulle anime e flange strette interamente reagenti, si può determinare il baricentro della sezione (Figura 5.1).

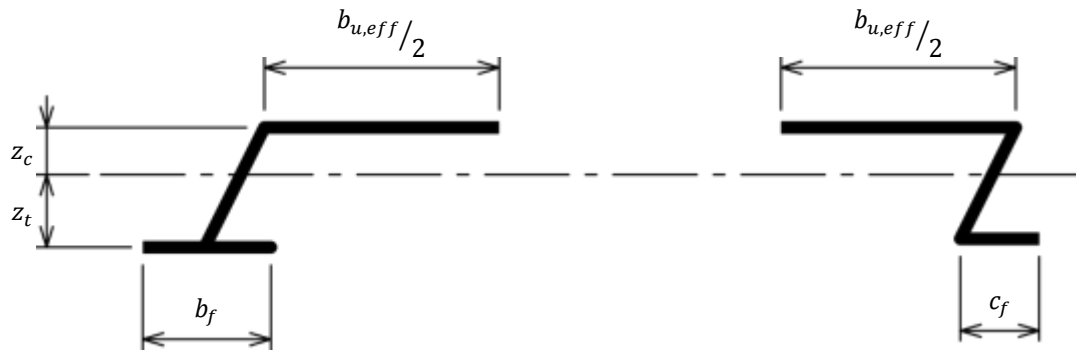


Figura 5.1 Baricentro della sezione trasversale, considerando la flangia ampia efficace.

L'altezza compressa efficace dell'anima (vedere Figura 5.2), conformemente a [12] e al suo emendamento [13], è calcolata come:

$$h_{eff} = \rho_w \cdot z_c$$

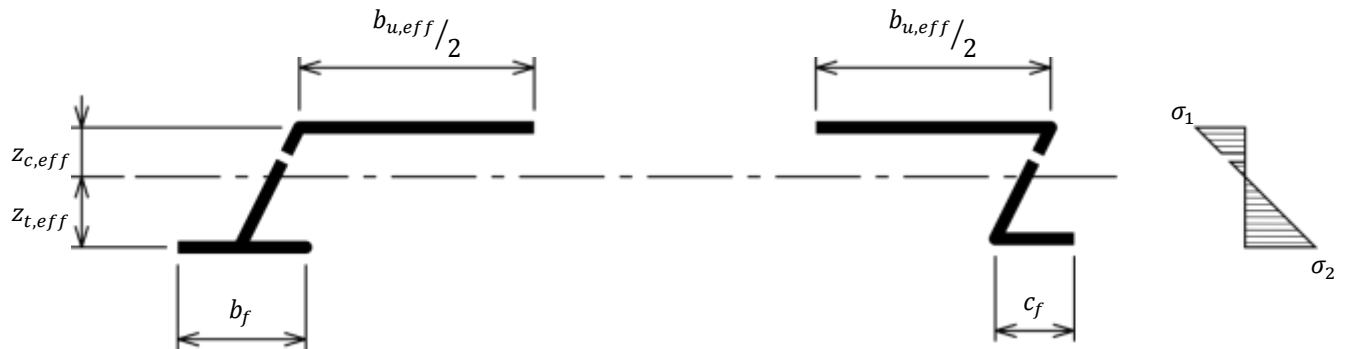


Figura 5.2 Baricentro della sezione trasversale efficace e distribuzione delle tensioni.

Il momento resistente è pertanto determinato, considerando l'anima e la flangia ampia efficaci, usando la formula (10.19) del [2]:

$$M_{c,Rd} = W_{eff} \cdot \frac{0.8 \cdot f_{yb}}{\gamma_{M0}}$$

Con:

$$W_{eff} = \frac{I_{y,eff}}{\max(z_{c,eff}; z_{t,eff})}$$

Nota: È stato proposto un emendamento per rimuovere dalla prossima versione dell'Eurocodice il fattore moltiplicativo 0.8. Non appena questo emendamento verrà pubblicato, il fattore 0.8 potrà essere rimosso anche dalla formula di calcolo di $M_{c,Rd}$ sopra riportata.

Momento resistente con la flangia ampia in tensione

Il Baricentro della sezione lorda è determinato in accordo con il paragrafo 10.2.2.2(1) di [2].

La larghezza efficace della flangia ampia è calcolata prendendo in considerazione il Baricentro della sezione lorda e_0 (vedere Figura 5.3):

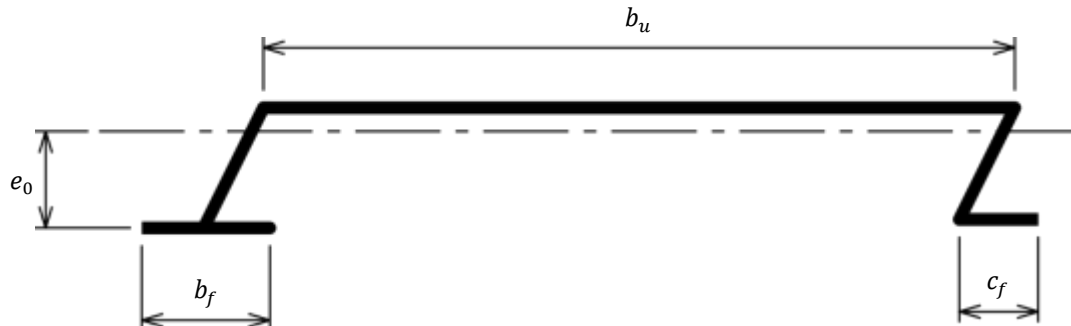


Figura 5.3 Baricentro della sezione trasversale lorda

Di conseguenza, la larghezza efficace della flangia ampia è calcolata usando la seguente formula:

$$b_{u,eff} = \frac{53.3 \cdot 10^{10} \cdot e_0^2 \cdot t^4}{h \cdot L \cdot b_u^3}$$

Le larghezze efficaci delle flange strette sono determinate in accordo con [12] e con il suo emendamento [13], come elementi compressi in modo uniforme:

$$\begin{cases} b_{f,eff} = \rho_b \cdot b_f \\ c_{f,eff} = \rho_c \cdot c_f \end{cases}$$

Sulla base di queste larghezze efficaci delle flange $b_{u,eff}$, $b_{f,eff}$, $c_{f,eff}$ e delle anime completamente efficaci, determiniamo il baricentro della sezione (Figura 5.4)

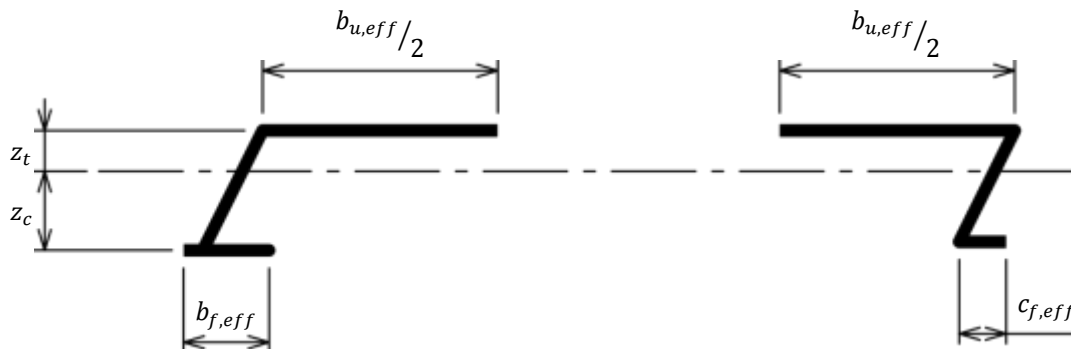


Figura 5.4 Baricentro della sezione trasversale considerando le flange efficaci

Come prima, la parte compressa efficace dell'anima (vedi Figura 5.5), conforme a [12] e il suo emendamento [13], vale a seguente espressione:

$$h_{eff} = \rho_w \cdot z_c$$

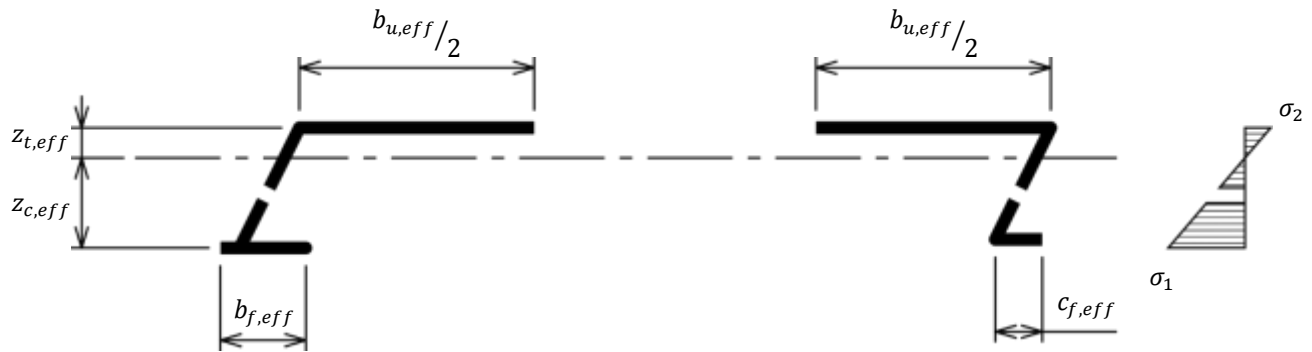


Figura 5.5 Baricentro della sezione trasversale efficace e distribuzione delle tensioni

Come in precedenza, il momento resistente è così determinato, considerando l'anima e le flange efficaci, usando la formula (10.19) di [2]:

$$M_{b,Rd} = W_{eff} \cdot \frac{0.8 \cdot f_{yb}}{\gamma_{M0}}$$

Con:

$$W_{eff} = \frac{I_{y,eff}}{\max(z_{c,eff}; z_{t,eff})}$$

Nota: È stato proposto un emendamento per rimuovere dalla prossima versione dell'Eurocodice il fattore moltiplicativo 0.8. Non appena questo emendamento verrà pubblicato, il fattore 0.8 potrà essere rimosso anche dalla formula di calcolo di $M_{c,Rd}$ riportata sopra.

Resistenza alla reazione del support di estremità

In accordo con il paragrafo §6.1.7.3(2) di [2], la resistenza del supporto terminale dell'anima è determinato mediante la seguente espressione:

$$R_{w,Rd} = \frac{\alpha \cdot t^2 \cdot \sqrt{f_{yb} \cdot E} \cdot \left(1 - 0.1 \cdot \sqrt{\frac{r}{t}}\right) \cdot \left(0.5 + \sqrt{0.02 \cdot \frac{l_a}{t}}\right) \cdot \left[2.4 + \left(\frac{\varphi}{90}\right)^2\right]}{\gamma_{M1}}$$

Con:

- $\alpha = 0.115$ (nuovo valore proposto nell'emendamento)
- $l_a = 10 \text{ mm}$

Per le notazioni, vedere Figure 0.1.

Resistenza alla dislocazione del giunto

La resistenza alla dislocazione del giunto può essere determinata da:

$$q_{Rd} = 2 \cdot \frac{E \cdot 1000 \cdot t^3 \cdot \delta_{lim}}{12 \cdot (1 - \nu^2) \cdot \sqrt{\left(\frac{2 \cdot b_f^3}{3}\right)^2 + \left[b_f \cdot \left(\frac{b_u \cdot h}{3} + \frac{h^2}{2}\right)\right]^2}} \cdot \frac{1000}{b_u}$$

Con:

$$\delta_{lim} = \begin{cases} c_f & \text{per i giunti a clip} \\ \frac{h}{2 \cdot \tan \varphi} & \text{per i giunti chevron} \end{cases}$$

Per le notazioni, vedere **Figura 0.1**.

6. SPECIFICHE CONSIDERAZIONI 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

7. ESEMPIO DI PROGETTAZIONE

7.1. Descrizione dell'edificio e valutazione dei carichi

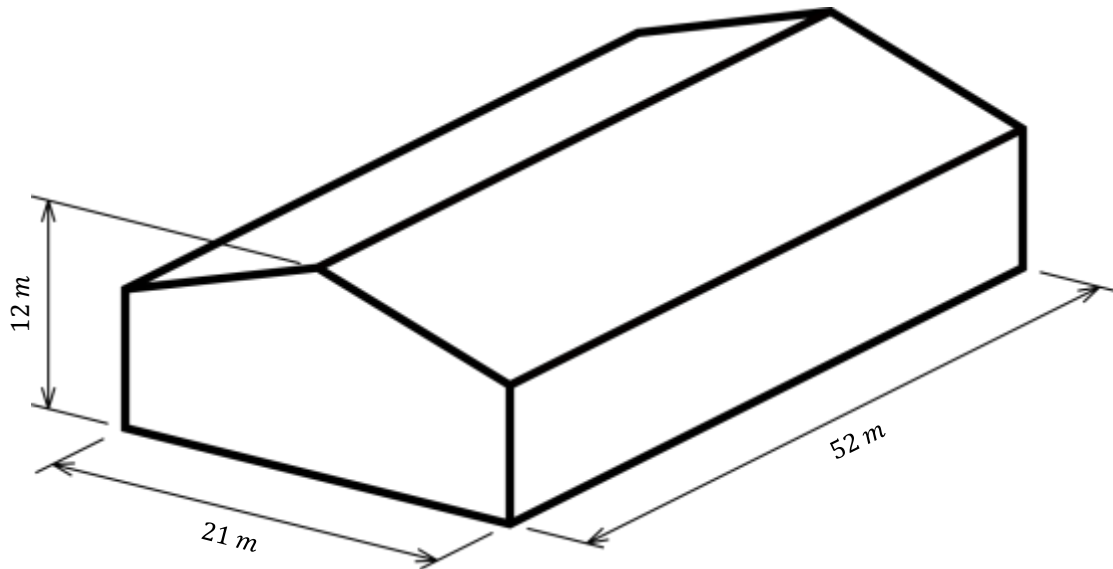


Figura 7.1 Dimensioni dell'edificio

Nel seguito, è presa in considerazione la sola azione dovuta al vento.

Valori di progetto per l'azione (W):

Picco della velocità di pressione:

$$q_p = 456 \text{ N/m}^2$$

Coefficienti di pressione:

Pressione esterna $c_{pe} = +0.7$

Aspirazione esterna $c_{pe} = -1.2$

Pressione interna $c_{pi} = \pm 0.3$

Combinazioni

Stato limite ultimo (ULS): $1.5 \times W$

Stato limite di servizio (SLS): W

Criteri di inflessione usati allo SLS: $L/200$

7.2. Ipotesi

Disposizioni

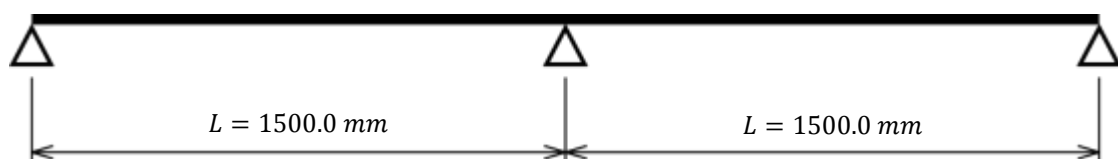


Figura 7.2 Schema statico della disposizione della lamiera (profilo).

Geometria del profilo

Il profilo progettato nel seguito è il seguente:

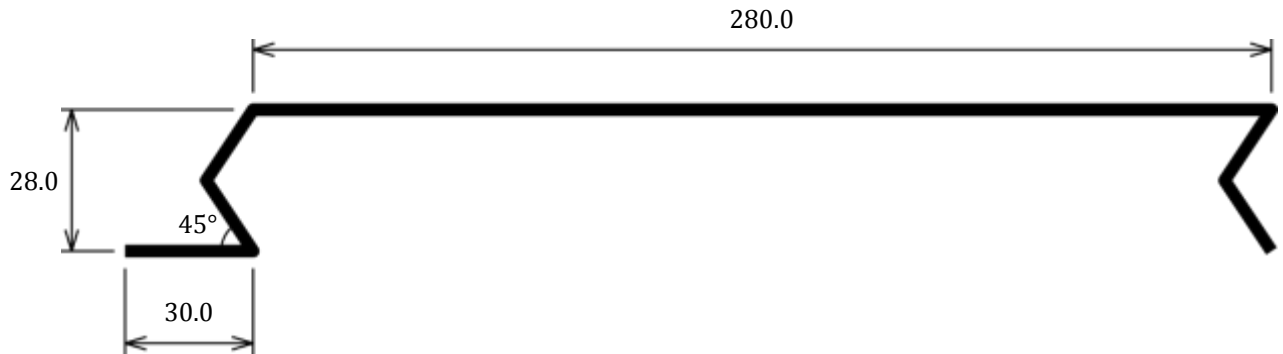


Figura 7.3 Geometria del profilo progettato

Notazioni:

$$\begin{aligned} b_u &= 280.0 \text{ mm} \\ h &= 28.0 \text{ mm} \\ b_f &= 30.0 \text{ mm} \\ \varphi &= 45^\circ \end{aligned}$$

Proprietà del materiale

Generali:

$$\begin{aligned} E &= 210000 \text{ N/mm}^2 \\ \nu &= 0,3 \end{aligned}$$

Materiale - acciaio:

$$\begin{aligned} \text{Grado dell'acciaio: } &S320 \\ f_{yb} &= 320 \text{ N/mm}^2 \\ t_{nom} &= 0,75 \text{ mm} \\ t &= 0.71 \text{ mm} \end{aligned}$$

7.3. Calcolo della resistenza del profilo

Validità della geometria del profilo

$$\begin{aligned} 0.75 \text{ mm} &\leq t_{nom} = 0.75 \text{ mm} < 1.00 \text{ mm} \\ b_f &= 30.0 \text{ mm} < 40 \text{ mm} \\ 25 \text{ mm} &< h = 28.0 \text{ mm} < 30 \text{ mm} \\ b_u &= 280.0 \text{ mm} < 300 \text{ mm} \\ \varphi &= 45^\circ < 60^\circ \end{aligned}$$

La geometria del profilo ricade all'interno degli intervalli di validità della procedura di progettazione.

Resistenza alla dislocazione del giunto

$$\delta_{im} = \frac{28.0}{2 \cdot \tan 45} = 14.0 \text{ mm}$$

$$q_{Rd} = 2 \cdot \frac{210000 \times 1000 \times 0.71^3 \times 14.0}{12 \cdot (1 - 0.3^2) \cdot \sqrt{\left(\frac{2 \times 30.0^3}{3}\right)^2 + \left[30.0 \cdot \left(\frac{280.0 \times 28.0}{3} + \frac{28.0^2}{2}\right)\right]^2}} \cdot \frac{1000}{280.0}$$

$$= 7486 \text{ N/m}^2$$

Momento resistente sotto carichi di pressione

Sotto carichi di pressione, la flangia ampia lavora in compressione.

Step 1: Larghezza efficace della flangia ampia (uniformemente compressa)

In accordo con la Tabella 4.1 del [5] e il suo emendamento [6]: $k_\sigma = 4.0$

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{235}{320}} = 0.857$$

$$\bar{\lambda}_{p,u} = \frac{280.0/0.71}{28.4 \times 0.857 \times \sqrt{4.0}} = 8.102 > 0.5 + \sqrt{0.085 - 0.055 \times 1} = 0.673$$

$$\rho_u = \frac{8.102 - 0.055 \cdot (3 + 1)}{8.102^2} = 0.120$$

$$\frac{b_{u,eff}}{2} = \frac{0.120 \times 280.0}{2} = 16.8 \text{ mm}$$

Step 2: Calcolo del z_c e z_t

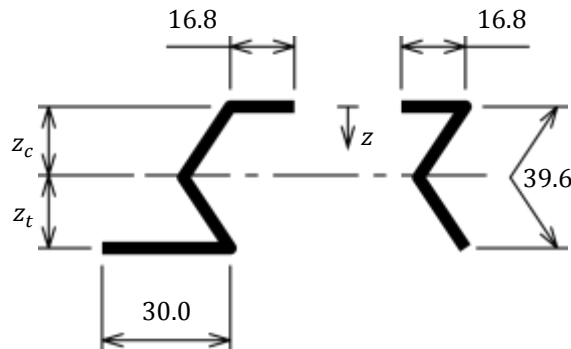


Figura 7.4 Calcolo del z_c (flangia ampia in compressione)

	<i>l</i> mm	<i>z</i> mm	<i>l</i> · <i>z</i> mm ²
Estremità sinistra (fissa)	16.8	0.0	0.00
	39.6	14.0	554.40
	30.0	28.0	840.00
Estremità destra (libera)	16.8	0.0	0.00
	39.6	14.0	554.40
Σ	142.8	-	1948.80

$$z_c = \frac{1948.80}{142.8} = 13.6 \text{ mm}$$

$$z_t = 28.0 - 13.6 = 14.4 \text{ mm}$$

Step 3: Efficacia dell'anima

$$\psi = \frac{\sigma_2}{\sigma_1} = -\frac{14.4}{13.6} = -1.059$$

$$k_\sigma = 5.98 \cdot (1 + 1.059)^2 = 25.35$$

$$\bar{\lambda}_w = \frac{28.0/0.71}{28.4 \times 0.857 \times \sqrt{25.35}} = 0.322 < 0.673$$

$$\rho_w = 1.0$$

L'anima è completamente efficace

Step 4: Calcolo di $M_{b,Rd,c}$

	<i>l</i> mm	<i>z</i> mm	<i>l</i> · <i>z</i> mm ²	<i>l</i> · <i>z</i> ² mm ³	<i>I</i> _{part} / <i>t</i> mm ³
Estremità sinistra (fissa)	16.8	0.0	0.00	0.000	0.706
	39.6	14.0	554.40	7761.600	2587.200
	30.0	28.0	840.00	23520.000	1.260
Estremità destra (libera)	16.8	0.0	0.00	0.000	0.706
	39.6	14.0	554.40	7761.600	2587.200
Σ	142.8	-	1948.80	39043.200	5174.400

$$z_{c,eff} = \frac{1948.80}{142.8} = 13.6 \text{ mm}$$

$$z_{t,eff} = 28.0 - 13.6 = 14.4 \text{ mm}$$

$$I_{y,eff} = (39043.200 + 5174.400 - 142.8 \times 13.6^2) \cdot 0.71 \times \frac{1000.0}{280.0} = 45149 \text{ mm}^4/m$$

$$W_{eff} = \frac{45149}{\max(13.6; 14.4)} = 3135 \text{ mm}^3/m$$

$$M_{c,Rd} = (3135 \cdot 10^{-3}) \times \frac{0.8 \times 320}{1.0} = 802 \text{ N} \cdot m/m$$

Momento resistente sotto carichi di aspirazione

Sotto i carichi di aspirazione, la flangia ampia lavora in trazione.

Step 1: Baricentro della sezione trasversale lorda

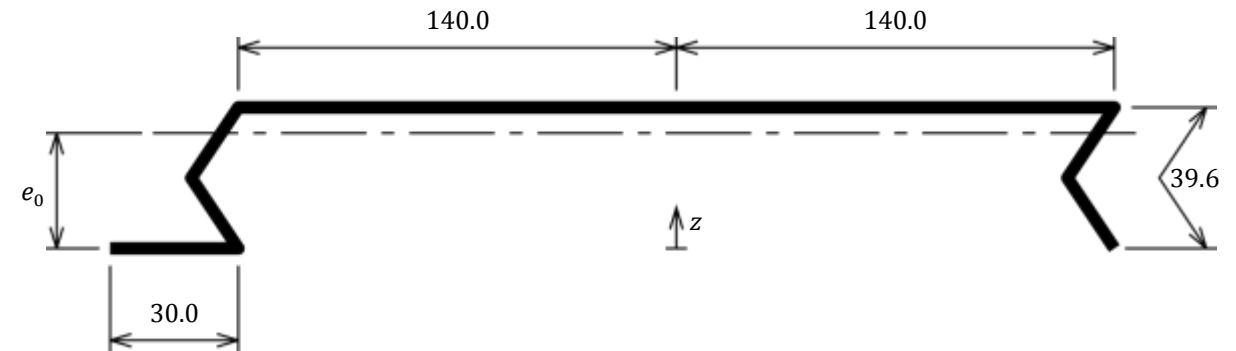


Figura 7.5 Calcolo di e_0 (flangia ampia in tensione)

	l mm	z mm	$l \cdot z$ mm ²
Estremità sinistra (fissa)	30.0	0.0	0.00
	39.6	14.0	554.40
	140.0	28.0	3920.00
Estremità destra (libera)	39.6	14.0	554.40
	140.0	28.0	3920.00
Σ	389.2	-	8948.80

$$e_0 = \frac{8948.80}{389.2} = 23.0 \text{ mm}$$

Step 2: Larghezza efficace della flangia ampia

$$\frac{b_{u,eff}}{2} = \frac{53.3 \times 10^{10} \times 23.0^2 \times 0.71^4}{2 \times 28.0 \times 1500 \times 280.0^3} = 38.9 \text{ mm}$$

Step 3: Larghezza efficace della flangia stretta (compressa uniformemente)

In accordo con la tabella 4.2 del [5] e il suo emendamento [6]: $k_\sigma = 0.43$

$$\bar{\lambda}_{p,b} = \frac{30.0/0.71}{28.4 \times 0.857 \times \sqrt{0.43}} = 2.647 > 0.748$$

$$\rho_b = \frac{2.647 - 0.188}{2.647^2} = 0.351$$

$$b_{f,eff} = 0.351 \times 30.0 = 10.5 \text{ mm}$$

Step 4: Calcolo di z_c e z_t

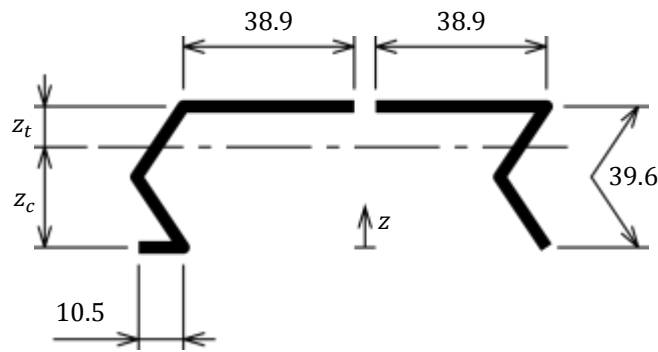


Figure 7.6 Calcolo di z_c (flangia ampia in tensione)

	l mm	z mm	$l \cdot z$ mm ²
Estremità sinistra (fissa)	10.5	0.0	0.00
	39.6	14.0	554.40
	38.9	28.0	1089.20
Estremità destra (libera)	39.6	14.0	554.40
	38.9	28.0	1089.20
Σ	167.5	-	3287.20

$$z_c = \frac{3287.20}{167.5} = 19.6 \text{ mm}$$

$$z_t = 28.0 - 19.6 = 8.4 \text{ mm}$$

Step 5: Efficacia dell'anima

$$\psi = \frac{\sigma_2}{\sigma_1} = -\frac{8.4}{19.6} = -0.429$$

$$k_\sigma = 7.81 - 6.29 \times (-0.429) + 9.78 \times (-0.429)^2 = 12.31$$

$$\bar{\lambda}_w = \frac{28.0/0.71}{28.4 \times 0.857 \times \sqrt{12.31}} = 0.462 < 0.673$$

$$\rho_w = 1.0$$

L'anima è completamente efficace

Step 6: Calcolo di $M_{b,Rd,c}$

	l mm	z mm	$l \cdot z$ mm ²	$l \cdot z^2$ mm ³	I_{part}/t mm ³
Estremità sinistra (fissa)	10.5	0.0	0.00	0.000	–
	39.6	14.0	554.40	7761.600	2587.200
	38.9	28.0	1089.20	30497.600	–
Estremità destra (libera)	39.6	14.0	554.40	7761.600	–
	38.9	28.0	1089.20	30497.600	2587.200
Σ	167.5	–	3287.20	76518.400	5174.400

$$z_{c,eff} = \frac{3287.20}{167.5} = 19.6 \text{ mm}$$

$$z_{t,eff} = 28.0 - 19.6 = 8.4 \text{ mm}$$

$$I_{y,eff} = (76518.400 + 5174.400 - 167.5 \times 19.6^2) \cdot 0.71 \times \frac{1000.0}{280.0} = 43985 \text{ mm}^4/m$$

$$W_{eff} = \frac{43985}{\max(19.6; 84)} = 2244 \text{ mm}^3/m$$

$$M_{b,Rd} = (2244 \cdot 10^{-3}) \times \frac{0.8 \times 320}{1.0} = 574 \text{ N} \cdot m/m$$

Resistenza alla reazione del supporto di estremità

Ciascun elemento considerato ha due anime, pertanto si ha:

$$R_{w,Rd} = 2 \cdot \frac{0.115 \cdot 0.71^2 \cdot \sqrt{320 \cdot 210000} \cdot \left(1 - 0.1 \cdot \sqrt{\frac{2.0}{0.71}}\right) \cdot \left(0.5 + \sqrt{0.02 \cdot \frac{10.0}{0.71}}\right) \cdot \left[2.4 + \left(\frac{45}{90}\right)^2\right]}{1.0} \cdot \frac{1000.0}{280.0}$$

$$= 7716 \text{ N/m}$$

7.4. Controllo agli in ULS

Carichi e forze interne

Sotto carichi di pressione:

Carico del vento:

$$w_{p,ult} = 1.5 \cdot [0.7 - (-0.3)] \cdot 456 = 684 \text{ N/m}^2$$

Momento massimo in campata:

$$M_{Ed,p} = \frac{684 \times 1.500^2}{8} = 192 \text{ N} \cdot \text{m}$$

Reazione al supporto di estremità:

$$R_{Ed,p} = \frac{(1.5 \times 456) \cdot 1.500}{2} = 513 \text{ N}$$

Sotto carichi di aspirazione:

Carico del vento:

$$w_{s,ult} = 1.5 \cdot [-1.2 - 0.3] \cdot 456 = -1026 \text{ N/m}^2$$

Momento massimo in campata:

$$M_{Ed,s} = \frac{1026 \times 1.500^2}{8} = 289 \text{ N} \cdot \text{m}$$

Il criterio di interazione non è verificato perché il supporto intermedio si comporta come una cerniera (Figura 1.7).

Verifiche

Sotto carichi di pressione:

Momento massimo in campata:

$$\frac{M_{c,Rd}}{M_{Ed,p}} = \frac{802}{289} = 2.78 > 1.0$$

Reazione al supporto di estremità:

$$\frac{R_{w,Rd}}{R_{Ed,p}} = \frac{7716}{513} = 15.04 > 1.0$$

Sotto carichi di aspirazione:

Carico del vento:

$$\frac{q_{Rd}}{w_{s,ult}} = \frac{7486}{1026} = 7.30 > 1.0$$

Momento massimo in campata:

$$\frac{M_{b,Rd}}{M_{Ed,s}} = \frac{574}{289} = 1.99 > 1.0$$

La resistenza del dispositivo di fissaggio potrebbe dover essere verificata in base al §8 di [2].

Il criterio di interazione non è verificato perché il supporto intermedio si comporta come una cerniera (Figura 1.7).

7.5. Controllo agli SLS

Carichi e inflessione

Sotto carichi di pressione:

Carico del vento:

$$w_{p,ser} = [0.7 - (-0.3)] \cdot 456 = 456 \text{ N/m}^2$$

Massima inflessione:

$$\delta_p = \frac{456 \times 1.500^4}{192 \times 210000 \times 45149 \cdot 10^{-6}} = 1.3 \cdot 10^{-3} \text{ m}$$

Sotto carichi di aspirazione:

Carico del vento:

$$w_{s,ser} = (-1.2 - 0.3) \cdot 456 = -684 \text{ N/m}^2$$

Massima inflessione:

$$\delta_s = \frac{684 \times 1.500^4}{192 \times 210000 \times 43985 \cdot 10^{-6}} = 2.0 \cdot 10^{-3} \text{ m}$$

Verifiche

Sotto carichi di pressione:

Massima inflessione:

$$\delta_p = 1.3 \cdot 10^{-3} \text{ m} < \frac{1.500}{200} = 7.5 \cdot 10^{-3} \text{ m}$$

Sotto carichi di aspirazione:

Carico del vento:

$$\frac{q_{Rd}}{w_{s,ult}} = \frac{7486}{684} = 10.94 > 1.0$$

Massima inflessione:

$$\delta_s = 2.0 \cdot 10^{-3} \text{ m} < \frac{1.500}{200} = 7.5 \cdot 10^{-3} \text{ m}$$

7.6. Verifiche tramite software

Un software Excel è disponibile sul sito Web GRISPE plus (www.grispeplus.eu). La seguente tabella fornisce un confronto dei valori calcolati sopra e dei valori dati dal software.

Valori	Calcoli manuali	Calcoli tramite software
q_{Rd} N/m^2	7486	7486
$M_{c,Rd}$ $N \cdot m/m$	802	797
$M_{b,Rd}$ $N \cdot m/m$	574	567
$R_{w,Rd}$ N/m	7716	7716

Le differenze che notiamo sopra sono i risultati degli errori di arrotondamento dei valori intermedi.

INDICE DELLE FIGURE

Figura 0.1 Definizione geometrica del profilo 5

Figura 1.1 Giunto Chevron. 6

Figura 1.2 Giunto a Clip. 6

Figura 1.3 Differenti forme di giunti (non esaustivo di tutte le tipologie). 6

Figura 1.4 Graduale dislocazione del giunto durante i test eseguiti con carichi di aspirazione 7

Figura 1.5 Provino posizionato sulla camera da vuoto (setup usato per i carichi di pressione). 8

Figura 1.6 Comportamento previsto per le prove eseguite su doppia campata. 8

Figura 1.7 Comportamento osservato per le prove eseguite su doppia campata. 8

Figura 1.8 Collasso per instabilità locale del giunto per la prova di flessione eseguita su campata singola, sottoposta a carichi di aspirazione..... 9

Figura 1.9 Collasso per dislocazione del giunto per la prova di flessione eseguita su campata doppia, sottoposta a carichi di aspirazione 9

Figura 5.1 Baricentro della sezione trasversale, considerando la flangia ampia efficace.13

Figura 5.2 Baricentro della sezione trasversale efficace e distribuzione delle tensioni. ...13

Figura 5.3 Baricentro della sezione trasversale lorda14

Figura 5.4 Baricentro della sezione trasversale considerando le flange efficaci14

Figura 5.5 Baricentro della sezione trasversale efficace e distribuzione delle tensioni ...15

Figura 7.1 Dimensioni dell’edificio17

Figura 7.2 Schema statico della disposizione della lamiera (profilo).17

Figura 7.3 Geometria del profilo progettato18

Figura 7.4 Calcolo del z_c (flangia ampia in compressione)19

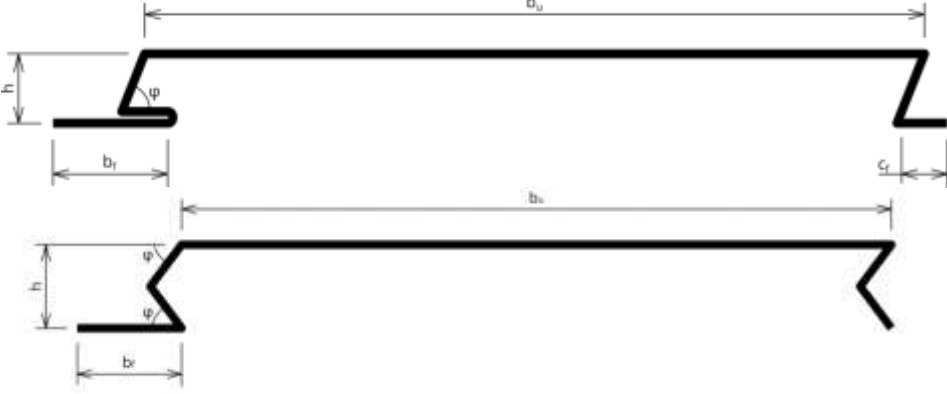
Figura 7.5 Calcolo di e_0 (flangia ampia in tensione)21

Figure 7.6 Calcolo di z_c (flangia ampia in tensione)22

BIBLIOGRAFIA

- [1] CEN, EN 14782:2006 – Self-supporting metal sheet for roofing, external cladding and internal lining - Product specification and requirements, Brussels, 2006.
- [2] CEN, EN 1993-1-3:2006 – Eurocode 3: Design of steel structures – Part 1-3: General rule - Supplementary rules for cold-formed member and sheeting, Brussels, 2006.
- [3] C. FAUTH, GRISPE – WP4: Calculation method for cladding systems – D 4.3 Test report, 2016.
- [4] M. BLANC, GRISPE – WP4: Calculation method for cladding systems – D4.4 Test analysis and interpretation, 2016.
- [5] CEN, EN 1993-1-5:2006 – Eurocode 3: Design of steel structures – Part 1-5: General rules - Plated structural elements, Brussels, 2006.
- [6] CEN, EN 1993-1-5:2006/A1:2017 – Eurocode 3: Design of steel structures – Part 1-5: General rules - Plated structural elements – Amendment A1.
- [7] CEN, EN 1990:2002/A1:2005 – Eurocode – Basis of structural design – Amendment A1, Brussels, 2005.
- [8] CEN, EN 1990:2002 – Eurocode – Basis of structural design, Brussels, 2002.
- [9] CEN, EN 1991-1-4:2005 – Eurocode 1: Actions on structures – Part 1-4: General actions - Wind actions.
- [10] CEN, EN 1991-1-1:2002 – Eurocode 1: Actions on structures – Part 1-1: General actions - Densities, self-weight, imposed loads for buildings, Brussels, 2002.
- [11] CEN, EN 1991-1-4:2005/A1:2010 – Eurocode 1: Actions on structures – Part 1-4: General actions - Wind actions – Amendment A1.
- [12] CEN, EN 1993-1-1:2005 – Eurocode 3: Design of steel structures - Part 1-1: General rules and rules for buildings, Brussels, 2005.
- [13] CEN, EN 1993-1-1:2005/A1:2014 – Eurocode 3: Design of steel structures - Part 1-1: General rules and rules for buildings – Amendment A1, Brussels, 2014.

ALLEGATO: PROGETTO DI EMENDAMENTO PRESENTATO AL CEN

AM-1-3-2013-60	
Subject	Plank profiles
Clause No. / Subclause No. / Annex	Clauses 6.1.7.3 (5), Section 10.2
Reason for amendment	The plank profiles are often used but the information is not provided in the EN 1993-1-3 as to the design rules for this type of profiles.
Proposed change	<p>The current clause 6.1.7.3 (5) states:</p> <p>(5) The value of the coefficient α should be obtained from the following:</p> <p>a) for Category 1:</p> <ul style="list-style-type: none"> - for sheeting profiles: $\alpha = 0,075$... (6.20a) - for liner trays and hat sections: $\alpha = 0,057$... (6.20b) <p>b) for Category 2:</p> <ul style="list-style-type: none"> - for sheeting profiles: $\alpha = 0,15$... (6.20c) - for liner trays and hat sections: $\alpha = 0,115$... (6.20d) <p>Replace the current clause with:</p> <p>(5) The value of the coefficient α should be obtained from the following:</p> <p>a) for Category 1 :</p> <ul style="list-style-type: none"> - for sheeting profiles: $\alpha = 0,075$... (6.20a) - for liner trays and hat sections: $\alpha = 0,057$... (6.20b) - for plank profiles: $\alpha = 0,115$... (6.20c) <p>b) for Category 2:</p> <ul style="list-style-type: none"> - for sheeting profiles: $\alpha = 0,15$... (6.20d) - for liner trays and hat sections: $\alpha = 0,115$... (6.20e) - for plank profiles: $\alpha = 0,115$... (6.20f) <p>The current title of the section 10.2 is :</p> <p>10.2 Liner trays restrained by sheeting</p> <p>Replace the current title with :</p> <p>10.2 Liner trays restrained by sheeting and plank profiles</p> <p>Add the following sentence and figure to the clause 10.2.1 (1):</p> <p>Plank profiles should be large channel type section with two webs and a flat wide flange. The joint between planks can be a clip one or chevron shaped as shown in figure 10.10.</p>  <p style="text-align: center;">Figure 10.10: Typical geometry for plank profiles</p> <p>Renumber the remaining figures</p> <p>The current clause 10.2.1 (2) states:</p>

(2) The resistance of the webs of liner trays to shear forces and to local transverse forces should be obtained using 6.1.5 to 6.1.11, but using the value of $M_{c,Rd}$ given by (3) or (4).

Replace the clause 10.2.1 (2) with:

(2) The resistance of the webs of liner trays and plank profiles to shear forces and to local transverse forces should be obtained using 6.1.5 to 6.1.11, but using the value of $M_{c,Rd}$ given by (3) or (4).

Add in the current clause 10.2.1 (3):

The moment resistance $M_{c,Rd}$ of a plank profile may be obtained using 10.2.2 provided that the geometrical properties are within the range given in table 10.7

Table 10.7: Range of validity for plank profiles

$0,75 \text{ mm} \leq$	t_{nom}	$\leq 1 \text{ mm}$
	b_f	$\leq 40 \text{ mm}$
$25 \text{ mm} \leq$	h	$\leq 30 \text{ mm}$
	b_u	$\leq 300 \text{ mm}$
	φ	$\leq 60^\circ$
$11 \text{ mm} \leq$	c_f	

The current clause 10.2.1 (4) states:

(4) Alternatively the moment resistance of a liner tray may be determined by testing provided that it is ensured that the local behaviour of the liner tray is not affected by the testing equipment.

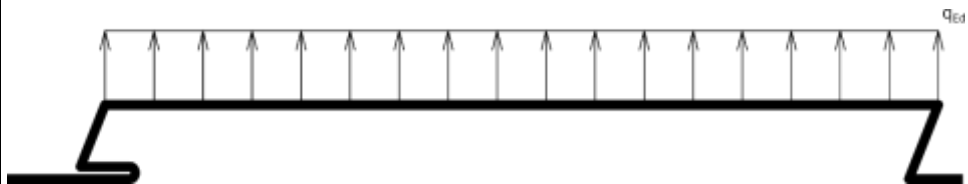
Change the clause 10.2.1 (4) with:

(2) Alternatively the moment resistance of a liner tray or plank profile may be determined by testing provided that it is ensured that the local behaviour of the liner tray or plank profile is not affected by the testing equipment.

Add the following new section :

10.2.3 Non dislocation of the joint for plank profiles

(1) Dislocation of the joints is a particular failure mode for plank profiles when solicited in suction



(2) To prevent the dislocation of the joint of plank profile, it must be verified :

$$q_{Ed} \text{ (kN/m}^2\text{)} \leq q_{Rd} \text{ (kN/m}^2\text{)}$$

(3) The load resistance regarding joint dislocation of a plank profile is :

$$q_{Rd} = \frac{0,8 \cdot 2 \cdot E \cdot 1000 \cdot t^3 \cdot \delta_{lim}}{b_u \cdot \left(12 \cdot (1 - \nu^2) \cdot \sqrt{\left(\frac{2 \cdot b_f^3}{3}\right)^2 + \left[b_f \cdot \left(\frac{b_u \cdot h}{3} + \frac{h^2}{2}\right)\right]^2} \right)}$$

Where:

- For clip joint:

$$\delta_{lim} = c_f$$

- For chevron shaped joint:

$$\delta_{lim} = \frac{h}{2 \cdot \tan \varphi}$$

Background information

D4.5 – Background guidance for EN 1993-1-3
 Proposal from M. Blanc, T. Renaux, and D. Izabel