

GRISPE PLUS



VALORISATION OF KNOWLEDGE
FOR SPECIFIC PROFILED STEEL SHEETS

WP N°: 3

WP Title: eLectures

Deliverable N°: 3.1 (4)

Deliverable Title: Design manual

Deliverable Date: 31th July 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(s)

Thibault RENAUX, JORIS IDE

Drafting history

FINAL DRAFT - DATE: 8th of July 2018

FINAL VERSION - DATE: 31th of July 2018

Dissemination Level

<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>	



DESIGN MANUAL FOR CORRUGATED SHEETING

RFCS funded – agreement N° 754092

FINAL VERSION

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 report, article, guide, etc. (select the correct word) are those of the author(s) 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 n° 75 4092.

SOMMARIO

Lo scopo di questo manuale di progettazione è di presentare un nuovo metodo di calcolo per le lamiere corrugate, 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 le lamiere corrugate è basato sugli esperimenti condotti all'interno del progetto europeo GRISPE (2013- 2016).

Il quadro generale di questo metodo è descritto nel deliverable D2.5 del progetto GRISPE.

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 progettazione preliminare e i requisiti minimi tecnologici che devono essere rispettati, inclusi i telai di supporto, le caratteristiche dei profili e quelle degli assemblaggi;

Il capitolo 3 stabilisce i requisiti tecnologici di base;

Il capitolo 4 elenca le proprietà dei materiali dei profili e dei fissaggi;

Il capitolo 5 specifica la determinazione di azioni che devono essere prese in considerazione (peso proprio, ecc.) e le loro combinazioni;

Il capitolo 6 illustra nel dettaglio il nuovo metodo di progettazione (principi, campo di applicazione e descrizione di come applicare le diverse nuove formule);

Il capitolo 7 elenca aspetti specifici di progettazione che non sono coperti dal presente manuale (antincendio, sisma, aspetti ambientali, isolamento termico, isolamento acustico ecc.);

Il capitolo 8 illustra un esempio applicativo del nuovo metodo di progettazione.

È inclusa una bibliografia e la proposta di modifica della EN 1993-1-3.

PREFAZIONE

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

Questo nuovo metodo di progettazione è stato presentato al gruppo incaricato allo sviluppo di 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	Francia
Silvia CAPRILI	Italia
David IZABEL	Francia
Markus KUHNENNE	Germania
Anna PALISSON	Francia
Valérie PRUDOR	Francia
Irene PUNCELLO	Italia
Dominik PYSCHNY	Germania
Thibaut RENAUX	Francia
Walter SALVATORE	Italia
Daniel SPAGNI	Francia

I soci corrispondenti hanno incluso:

SOKOL	Léopold	Francia
-------	---------	---------

FIGURE E TABELLE

Le figure e le tabelle sono state fornite dalle seguenti fonti:

Figura 1.1.1	JORIS IDE
Figura 1.1.2	JORIS IDE
Figura 1.2.1	JORIS IDE
Figura 1.2.2	copia di EN 1993-4-1
Figura 1.2.3	copia di StBK-N5
Figura 1.3.1	KIT / JORIS IDE
Figura 1.3.2	KIT / JORIS IDE
Tabella 1.3	KIT
Figura 1.3.3	KIT
Figura 1.3.4	KIT
Figura 1.3.5	KIT
Figura 6.3.1.1	copia di StBK-N5
Figura 6.3.1.2	copia di StBK-N5
Figura 8.2	JORIS IDE
Figura 8.4.3.1	JORIS IDE
Figura 8.4.3.2	copia di StBK-N5
Figura 8.5.2	JORIS IDE

Indice

SCOPO DELLA PUBBLICAZIONE	7
NOTAZIONI.....	7
1. INTRODUZIONE	8
1.1. Tipi di lamiere corrugate	8
1.2. Stato dell'arte.....	8
1.3. Principali risultati del progetto GRISPE	11
1.4. Regole e requisiti di progettazione generali	15
2. CONSIDERAZIONI PRELIMINARI	15
2.1. Campo di applicazione del nuovo metodo di progettazione	15
2.2. Disposizioni tecnologiche minime per il telaio.....	15
2.3. Disposizioni tecnologiche minime per la lamiera corrugata in acciaio.....	16
3. REQUISITI TECNOLOGICI DI BASE	16
3.1. Supporti.....	16
3.2. Lamiera in acciaio e marcatura CE.....	16
4. PROPRIETÀ DEI MATERIALI	16
4.1. Lamiere corrugate in acciaio	16
4.2. Elementi di fissaggio.....	16
4.3. Fattori di sicurezza	16
5. SOLLECITAZIONI E COMBINAZIONI.....	16
6. BASI DELLA PROGETTAZIONE.....	17
6.1. Principi	17
6.2. Campo di applicazione per il nuovo metodo di calcolo	17
6.3. Procedura di progettazione.....	17
6.3.1. Procedura di progettazione generalmente applicabile	17
6.3.2. Procedura semplificata per campo di applicazione limitato	18
7. CONSIDERAZIONI SPECIFICHE SULLA PROGETTAZIONE	18
8. ESEMPIO DI PROGETTAZIONE	19
8.1. Descrizione del telaio e assunzioni di carico	19
8.1.1. Informazioni sulla struttura	19
8.1.2. Assunzioni di carico	19
8.2. Descrizioni delle lamiere corrugate in acciaio	20
8.3. Procedura di verifica tramite approccio semplificato.....	21
8.3.1. Applicazione dei carichi.....	21
8.3.2. Applicazione del metodo semplificato.....	21

Manuale di progettazione per lamiere corrugate

8.4. Procedura di verifica tramite approccio dettagliato.....	22
8.4.1. Lamiera corrugata in acciaio	22
8.4.2. Applicazione dei carichi	22
8.4.3. Applicazione del metodo dettagliato	22
8.5. Verifica tramite Software.....	24
8.5.1. Informazioni sul Software	24
8.5.2. Validazione dell'esempio	24
BIBLIOGRAFIA	27
ALLEGATO: PROGETTO DI MODIFICA DELL'EUROCODICE, PRESENTATO AL CEN	29

SCOPO DELLA PUBBLICAZIONE

Lo scopo di questa pubblicazione è di presentare il nuovo metodo di progettazione per lamiere corrugate; in accordo con [1] che è stato proposto per l'inclusione in [2].

Questo manuale di progettazione 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 in [1].

NOTAZIONI

In aggiunta alle notazioni contenute in EN 1993-1-3, sono usati i seguenti simboli:

I_y :	momento di inerzia [mm^4/mm]
R :	raggio di curvatura [mm]
W_y :	modulo di sezione [mm^3/mm]
η :	coefficiente di metodi dettagliati per il calcolo della resistenza a momento flettente [-]
σ_{elr} :	sforzo di instabilità [N/mm^2]
σ_c :	sforzo ridotto [N/mm^2]

1. INTRODUZIONE

1.1. Tipi di lamiere corrugate

Questo manuale di progettazione tratta di lamiere corrugate in acciaio (vedere Figura 1.1.1 sottostante). Le lamiere corrugate in acciaio hanno una curvatura continua anziché sezioni piane come i profili trapezoidali.

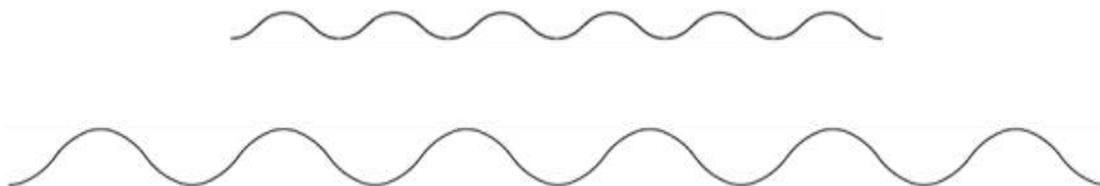


Figura 1.1.1 – Tipica geometria dei profili corrugati in acciaio.

Attualmente in Europa vengono utilizzate due modalità di fissaggio: fissaggio nella cresta o fissaggio nell'avvallamento, come nella Figura 1.1.2 di seguito:



Figura 1.1.2 – Fissaggio nella cresta (a sinistra) e fissaggio nell'avvallamento (a destra).

1.2. Stato dell'arte

Le norme [2] non coprono il caso della modellazione di lamiere corrugate in acciaio, una delle più antiche tipologie di lamiera in acciaio a freddo utilizzate quotidianamente per realizzare rivestimenti e coperture di edifici in tutta Europa.

Pertanto, sembra necessario fornire all'ingegnere strumenti di progettazione che evitino di ricorrere all'esecuzione di prove sperimentali. Questo era l'obiettivo di una delle parti del progetto GRISPE.

La teoria di piegatura convenzionale può essere utilizzata per progettare una lamiera corrugata di acciaio, poiché non ci si aspetta alcuna instabilità locale a causa della curvatura continua di tale prodotto.

Sulla base di un'analisi classica dell'inerzia geometrica, è prima possibile stabilire un metodo per determinare il momento di area di una tipica geometria di lamiere corrugate in acciaio, come nella Figura 1.1.1, considerando i seguenti parametri:

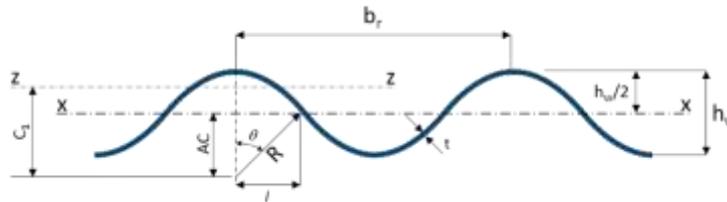


Figura 1.2.1 – Parametri geometrici per determinare il momento di inerzia classico di una lamiera corrugata.

Il momento di area può essere determinato applicando:

- Raggio di curvatura: $R = 5 \cdot h_w / 4$;
- Lunghezza $l = h_w$;
- Angolo θ : $\sin \theta = l / R$;
- Distanza tra il centro di gravità dell'arco (assi 'z-z') e il centro dell'arco: $C_1 = (R \cdot \sin \theta) / \theta$;
- Distanza tra il centro dell'arco e l'asse 'x-x': $AC = R - (h_w / 2)$;
- E infine, il momento dell'area per un quarto della sezione lorda:

$$I'_{xx} = R^3 \cdot \left(\frac{\theta + \sin \theta \cdot \cos \theta}{2} - \frac{(\sin \theta)^2}{\theta} \right) + (R \cdot \theta) \left[C_1 - \left(R - \frac{h_w}{2} \right) \right]^2$$

E quindi, il modulo di sezione è ottenuto da:

$$W_{xx} = \frac{4 \cdot I'_{xx} \cdot t}{b_R \cdot h_w / 2}$$

Nella normativa tedesca [3], vengono fornite alcune caratteristiche statiche, in un intervallo di valori del rapporto altezza/ raggio in cui non è prevista alcun fenomeno di instabilità.

Nell'articolo [4], è presente un calcolo sviluppato a partire dal confronto con i calcoli FE. Questa procedura, corrispondente alla procedura standard per i problemi di instabilità, contiene i parametri elaborati dal confronto con i calcoli FE e consente di calcolare un fattore di riduzione χ da applicare per determinare lo sforzo portante di un segmento di cilindro. Resta da verificare se le lamiere corrugate si adattano alla curvatura del campo dello studio CTICM. I diversi passaggi sono mostrati di seguito:

- Parametri della curvatura: $Z = b^2 / (R \cdot t)$, con b lunghezza dell'arco (larghezza della lamiera corrugata), R raggio di curvatura e t spessore;
- Carico critico euleriano:

$$\sigma_E = \frac{\pi^2 \cdot E}{12(1-\nu^2)} \cdot \left(\frac{t}{b} \right)^2 ;$$

- Coefficiente di instabilità:

$$k_c^{(Z)} = \frac{k_c^{plate}}{2} \left(1 + \sqrt{1 + \frac{48 \cdot (1-\nu^2)}{\pi^4 \cdot (k_c^{plate})^2} \cdot Z^2} \right) \text{ and } k_c^{plate} = 4 ;$$

- Sforzo critico di instabilità:

$$\sigma_{cr}^{(Z)} = k_c^{(Z)} \cdot \sigma_E ;$$

Manuale di progettazione per lamiere corrugate

- Snellezza ridotta: $\bar{\lambda} = \sqrt{f_y / \sigma_{cr}^{(Z)}}$;
- Parametri intermedi per il fattore di riduzione χ : $\bar{\lambda}_0 = 0,33$, $\beta = 0,73$ e α_z forniti da una tabella in funzione di Z;
- Fattore di riduzione:

$$\chi = \frac{2\beta}{\beta + \bar{\lambda} + \sqrt{(\beta + \bar{\lambda})^2 - 4\beta(\bar{\lambda} - \alpha_z(\bar{\lambda} - \bar{\lambda}_0))}}$$

- Sforzo portante: $\sigma_u = \chi \cdot f_y$.

Viene fornito un esempio del metodo di calcolo proposto, per rendere chiara la procedura.

La normativa [5], Eurocodici per i silos, fornisce le relazioni per determinare la rigidità, il secondo momento di area e il momento resistente per le lamiere corrugate, come segue:

- Rigidezza per compressione assiale:

$$C_y = Et \left(1 + \frac{\pi^2 d^2}{4l^2} \right);$$

- Momento di inerzia: $I_y = 0,13 \cdot t \cdot d^2$ con notazione presa dalle strutture shell, e $I_x = 0,13 \cdot t \cdot h_w^2$ in accordo con la tipologia di notazioni adottata in [2];

Con i seguenti parametri geometrici:

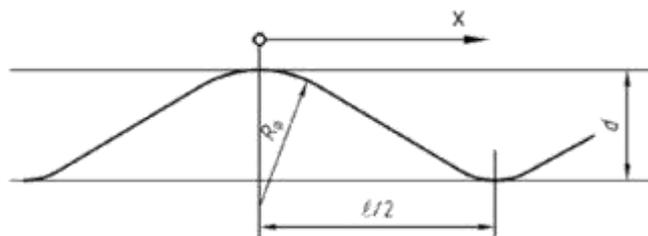


Figura 1.2.2 – Parametri geometrici in accordo con EN 1993-4-1.

Possiamo dedurre che il momento resistente $M_{c,Rd}$ può essere ottenuto con la seguente relazione:

$$M_{c,Rd} = \frac{0,13 \cdot t \cdot h_w^2}{\frac{h_w}{2}} \cdot \frac{f_{yb}}{\gamma_{M0}} = \frac{0,26 \cdot t \cdot h_w \cdot f_{yb}}{\gamma_{M0}}$$

La normativa svedese [6] contiene un approccio per determinare il momento flettente ultimo per i profili corrugati con sezione trasversale sinusoidale o simile, considerando l'aspetto di instabilità locale.

A seconda del rapporto tra il raggio di curvatura r e lo spessore t della lamiera, il calcolo del momento caratteristico è diverso.

Se $r/t \leq 0,04 \cdot E/f_{yb}$: la sezione trasversale non deve essere verificata nei confronti dell'instabilità locale e il momento flettente caratteristico è determinato con: $M_{c,Rk} = W_y \cdot f_{yb}$.

Se $r/t > 0,04 \cdot E/f_{yb}$: il momento flettente caratteristico deve essere calcolato usando uno sforzo di compressione ridotto, in accordo con i seguenti passi:

Manuale di progettazione per lamiere corrugate

- Coefficiente η : $\eta = 0,19 + 0,67/\sqrt{1 + r/(100 \cdot t)}$;
- Sforzo di instabilità ridotto: $\sigma_{elr} = 0,60 \cdot \eta \cdot E \cdot t/r$;
- Fattore di snellezza: $\alpha = \sqrt{f_{yb}/\sigma_{elr}}$;
- Per $\alpha \leq 0,30$: $\sigma_c = f_{yb}$;
- Per $0,30 < \alpha < 1,10$: $\sigma_c = (1,126 - 0,419 \cdot \alpha) \cdot f_{yb}$;
- Per $1,10 \leq \alpha$: $\sigma_c = \frac{0,8}{\alpha^2} \cdot f_{yb}$.

E infine: $M_{c,Rk} = W_y \cdot \sigma_c$.

La figura 1-2-3 riportata di seguito mostra l'evoluzione dello sforzo di compressione ultimo in funzione del rapporto di snellezza usato in [6]:

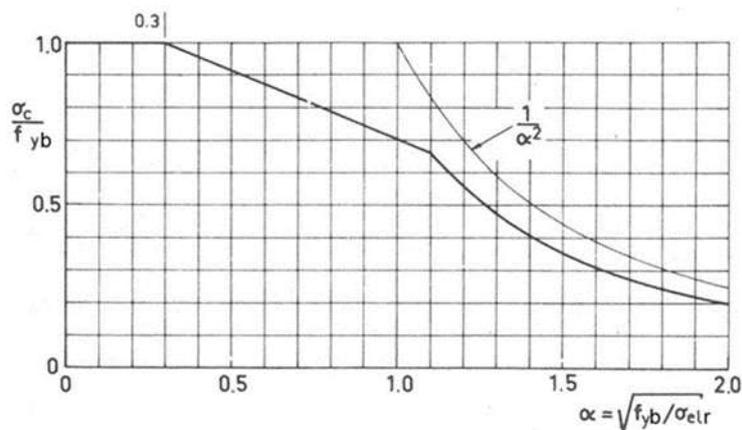


Figura 1.2.3 – Sforzo di compressione ultimo con rispetto dell'instabilità locale della parte cilindrica del profilo.

Il momento di inerzia che è usato per calcolare le deformazioni allo stato limite di esercizio deve essere calcolato usando la stessa procedura del momento flettente, ma senza lo sforzo ridotto $f_{yb}/1,5$.

1.3. Principali risultati del progetto GRISPE

Lo scopo del progetto GRISPE è stato quello di sviluppare un modello di progettazione per calcolare la capacità portante tra i supporti e la capacità di supporto sotto carichi locali (resistenza del supporto terminale).

Per le prove sperimentali sono stati selezionati due tipi di profili, rappresentativi delle lamiere corrugate più utilizzate:

- Profondità di 18 mm con raggio di 23 mm e altezza di 76 mm, come mostrato nella Figura 1.3.1 riportata di seguito:



Figura 1.3.1 – Piccola lamiera d'acciaio corrugata selezionata per le prove.

Manuale di progettazione per lamiere corrugate

- Profondità di 46 mm con raggio di 29,25 mm e passo di 150 mm, come mostrato nella Figura 1.3.2 di seguito:

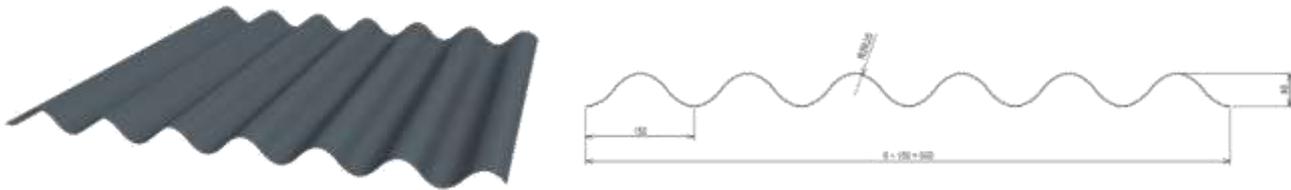


Figura 1.3.2 – Lamiera di acciaio corrugata selezionata per le prove.

Per determinare la capacità a momento flettente e la capacità portante in campata e sui supporti intermedi (combinazione di momento flettente e reazione di supporto) sono state eseguite un totale di 95 prove sperimentali su lamiere corrugate, comprensive di test di campata singola per il caso di carico "carico gravitazionale" (flessione positiva), test di supporto interno per i casi di carico "carico gravitazionale" e "carico di sollevamento" e test di supporto finale e prove di taglio per il caso di carico "carico gravitazionale" per la determinazione dei valori caratteristici della resistenza del supporto terminale.

Type of test	Thickness [mm]	Support width [mm] / Fastening	Span [mm]		Number of tests	
			18/76	46/150	18/76	46/150
Single span test with gravity loading	0.63	-	1500	2000	3	6
	1.00	-	2000	3000	3	3
Internal support tests with gravity loading	0.63	10	400	600	2	2
			800	1000	2	2
		40	400	600	2	2
			800	1000	2	2
	1.00	10	400	600	2	2
			1000	1200	2	2
40	400	600	2	2		
	1000	1200	2	2		
Internal support tests with uplift loading	0.63	valley	400	600	2	2
			800	1000	2	2
		crest	400	600	2	2
			800	1000	2	2
	1.00	valley	400	900	2	2
			1000	1400	2	2
		crest	400	900	2	2
			1000	1400	2	2
End support tests with gravity loading	0.63	-	1000	1050	4	3
	1.00	-	1000	1050	4	3
Shear test	0.63	-	1000	1000	1	1

Tabella 1.3 – Campagna di prove sperimentali eseguite durante il progetto GRISPE.

Le prove sui supporti per il caso di carico "carico di sollevamento" sono state divise in due serie: una per il fissaggio in cresta e l'altra per il fissaggio nell'avvallamento (vedere paragrafo 1.1).

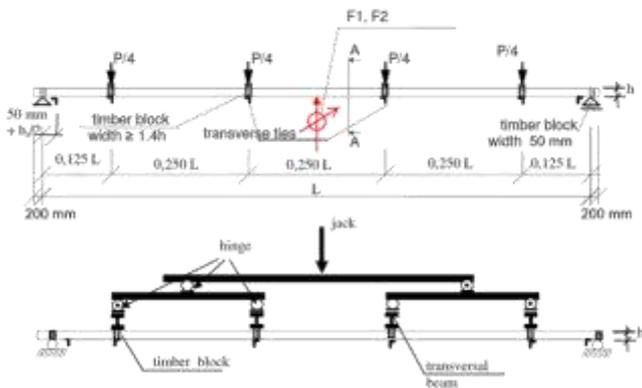


Figura 1.3.3 – Configurazione schematica della prova sperimentale ed esempio di collasso per la prova su campata singola.

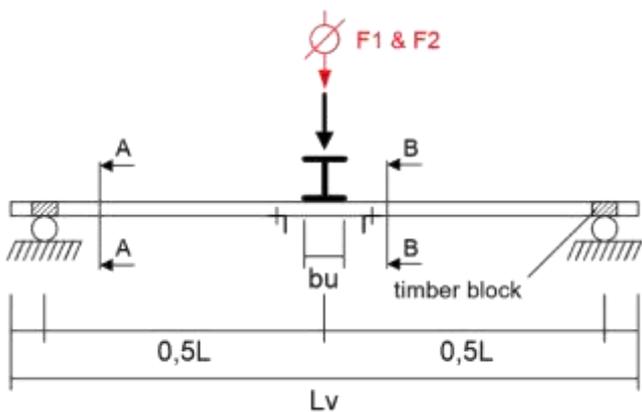


Figura 1.3.4 – Configurazione schematica della prova sperimentale ed esempio di collasso per la prova su supporto interno a carichi gravitazionali.

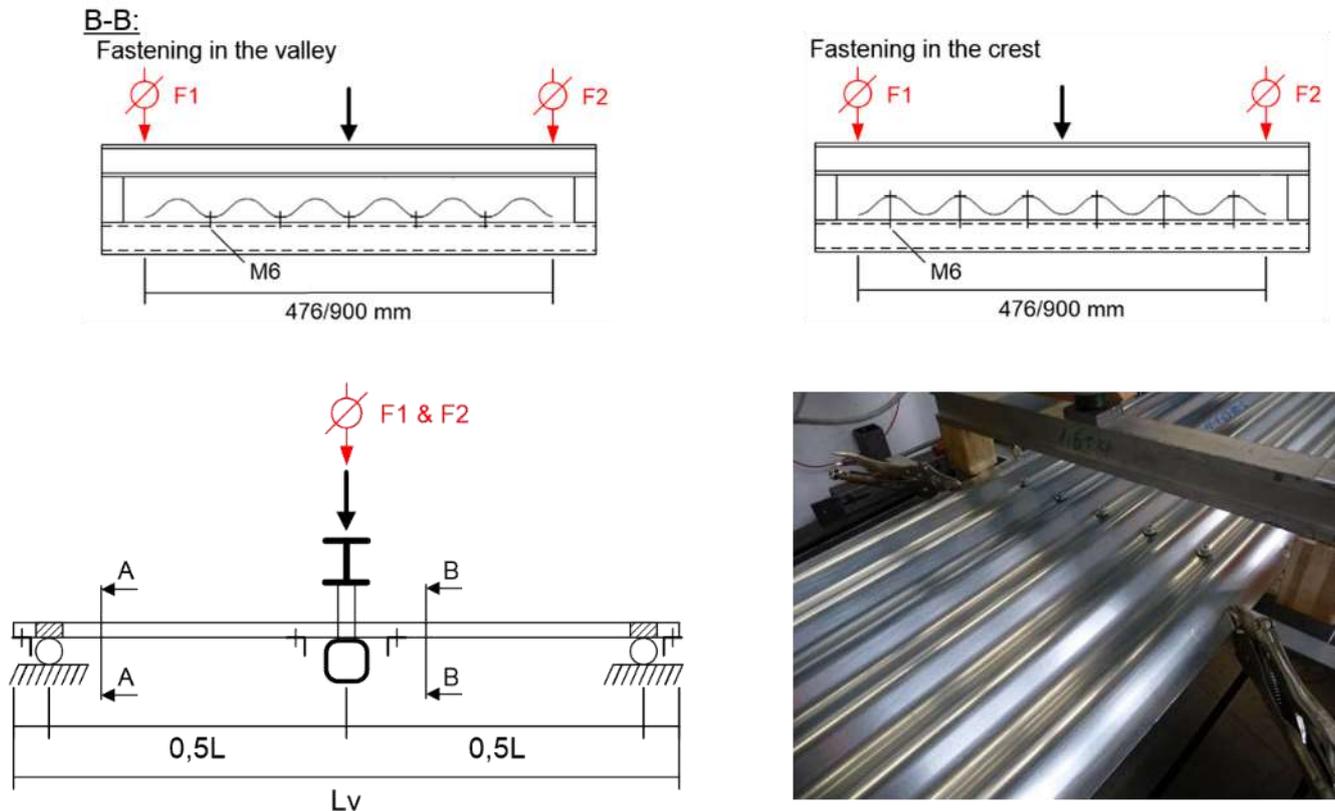


Figura 1.3.5 – Configurazione schematica della prova sperimentale ed esempio di collasso (fissaggio nell'avvallamento) per la prova di supporto interno a carichi di sollevamento.

Una serie di prove di trazione è stata inoltre inserita nel piano di prove sperimentali al fine di determinare le proprietà dei materiali dei campioni. L'analisi e l'interpretazione delle prove hanno riguardato la capacità portante e i valori caratteristici delle lamiera corrugata con sezione trasversale sinusoidale o similare.

Per la resistenza sotto carico di taglio, il progetto ha dimostrato sperimentalmente che, sui profili attualmente testati, la resistenza a taglio è sempre superiore alla resistenza al supporto (cioè non critica).

Per il comportamento nel caso di flessione semplice in pressione, sono state proposte due formule:

- una che considera EN 1993-4-1 art. 4.4, basata su una proprietà di flessione equivalente (rigidezza a flessione)
- e una basata su un metodo svedese (sforzo di instabilità).

Un foglio Excel è stato elaborato per consentire la progettazione del profilo corrugato soggetto a flessione con questi due metodi.

Per il comportamento del profilo sul supporto intermedio, i risultati non hanno indicato una regola chiara a causa del fatto che troppi parametri interferiscono sul comportamento ed è necessaria l'esecuzione di più prove sperimentali per raggiungere una conclusione praticabile. La riduzione del momento flettente finale è influenzata dai seguenti parametri:

- Rapporto R/t della parte della sezione trasversale che è a contatto con il supporto;
- Passo della sezione trasversale e lunghezza della parte curva;
- Larghezza e tipo di supporto;

Manuale di progettazione per lamiere corrugate

- Valore della reazione di supporto/ carico, posizione e direzione del carico.

Il fatto che la reazione carico/ supporto agisca come pressione o come tensione, gioca un ruolo molto importante. Non c'è alcun effetto sul momento flettente legato al fatto che la reazione di supporto agisce come forza di trazione sulla sezione trasversale.

Per quanto riguarda la capacità di supporto finale e la capacità di taglio, i risultati erano troppo disparati per supportare una regola generale di progettazione.

In sintesi: il progetto GRISPE ha proposto 2 metodi per il caso di flessione in campata e di tutte le altre situazioni elencate in precedenza. Il progetto ha concluso che il numero di parametri che influenzano il comportamento sul supporto è troppo elevato e di conseguenza è necessaria l'esecuzione di numerose altre prove sperimentali per determinare un metodo di progettazione affidabile.

È stato deciso che il metodo di calcolo sviluppato per la sola flessione in mezzzeria, comportamento isostatico della lamiera, può essere proposto per l'integrazione negli Eurocodici.

1.4. Regole e requisiti di progettazione generali

Il seguente metodo di progettazione offre solo un modo per calcolare la resistenza di progetto M_{Rd} di lamiere corrugate di acciaio su 2 supporti, secondo [7], il suo emendamento [8] e la sua rettifica [9]. I valori di progettazione degli effetti delle azioni devono essere valutati in conformità a ogni parte rilevante di [10] e alla sua rettifica [11], [12] e alla rettifica [13] e all'emendamento [14], [15] e alla sua rettifica [16] e l'emendamento [17].

La procedura successiva rispetta le regole generali fornite in [18] e la rettifica [19] e l'emendamento [20] e le basi della progettazione definite nella parte 2 di [2] e la sua rettifica [21].

2. CONSIDERAZIONI PRELIMINARI

2.1. Campo di applicazione del nuovo metodo di progettazione

Questo manuale illustra un metodo di progettazione per determinare la resistenza delle lamiere corrugate in acciaio conformi a [1].

Questo metodo è stabilito nell'ambito di disposizioni tecnologiche minime, vedere i seguenti paragrafi.

Questo manuale non copre la disposizione del carico per i carichi durante l'esecuzione e la manutenzione.

Le regole di calcolo riportate in questo manuale sono valide solo se le tolleranze dei membri formati a freddo sono conformi a [2] e [21].

2.2. Disposizioni tecnologiche minime per il telaio

La lamiera di acciaio ondulata deve essere posizionata su 2 supporti e sottoposta a carichi uniformemente distribuiti.

Non è consentito che la lamiera di acciaio corrugata sia direttamente a contatto con un supporto in calcestruzzo.

2.3. Disposizioni tecnologiche minime per la lamiera corrugata in acciaio

Le lamiere profilate hanno, all'interno delle tolleranze ammesse, uno spessore nominale costante su tutta la loro lunghezza e possono avere una sezione trasversale uniforme o una sezione trasversale rastremata lungo la loro lunghezza.

Le lamiere corrugate d'acciaio hanno una curvatura continua anziché sezioni piane come i profili trapezoidali.

Lo spessore, t , è uno spessore di progetto in acciaio (lo spessore del nucleo in acciaio estratto meno la tolleranza, se necessario, come specificato al punto 3.2.4 della norma EN [2]), se non diversamente specificato.

La lamiera corrugate in acciaio deve presentare tutti i seguenti parametri:

- Rapporto $r/t \leq 0,1 \cdot E/f_{yb}$;
- Passo: $76 \text{ mm} \leq p \leq 150 \text{ mm}$;
- Altezza: $18 \text{ mm} \leq h \leq 46 \text{ mm}$;
- Spessore minimo del nucleo in acciaio 0,55 mm.

3. REQUISITI TECNOLOGICI DI BASE

3.1. Supporti

I supporti sono conformi con [18] a [20] per quanto riguarda l'acciaio o con [22] a [25] per quanto riguarda il legno.

3.2. Lamiera in acciaio e marcatura CE

Le lamiere in acciaio sono marcate CE, in accordo con quanto riportato in [1].

4. PROPRIETÀ DEI MATERIALI

4.1. Lamiere corrugate in acciaio

Le proprietà dei materiali devono soddisfare i requisiti elencati in [2], sezione 3 con un grado minimo dell'acciaio pari a S 320 GD +Z.

4.2. Elementi di fissaggio

Le proprietà dei materiali devono soddisfare i requisiti elencati in [2], sezione 8.

4.3. Fattori di sicurezza

I fattori di sicurezza devono soddisfare i requisiti elencati in [2], sezione 2.

5. SOLLECITAZIONI E COMBINAZIONI

Le sollecitazioni e le combinazioni devono essere prese in considerazione e determinate in accordo con:

- [8] e [9] per basi e combinazioni di carico,

Manuale di progettazione per lamiere corrugate

- [10] e [11] per peso proprio e carichi imposti,
- Da [12] a [14] per il carico neve,
- Da [15] a [17] per il carico vento.

6. BASI DELLA PROGETTAZIONE

6.1. Principi

Questo nuovo metodo di progettazione è fornito per calcolare la rigidità flettente e il momento resistente di una lamiera corrugata in acciaio con una sezione trasversale sinusoidale o simile.

6.2. Campo di applicazione per il nuovo metodo di calcolo

Questo nuovo metodo di calcolo è stato elaborato per lamiere corrugate in acciaio su due supporti, caricate con una distribuzione di carico uniformemente distribuita.

6.3. Procedura di progettazione

6.3.1. Procedura di progettazione generalmente applicabile

Questa procedura è stabilita per quanto riguarda l'instabilità locale nell'area compressa.

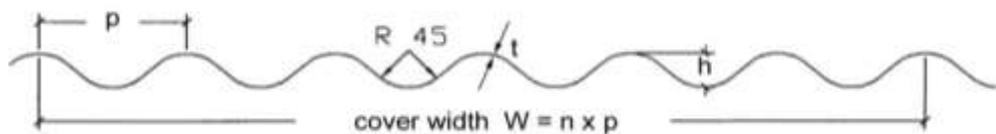


Figura 6.3.1.1 – Tipica sezione trasversale

Due situazioni possono verificarsi:

- Se $R/t \leq 0,04 \cdot E/f_{yb}$: la sezione trasversale non deve essere verificata nei confronti dell'instabilità locale e il momento flettente caratteristico è determinato tramite: $M_{c,Rk} = W_y \cdot f_{yb} i$
- Se $R/t > 0,04 \cdot E/f_{yb}$: il momento flettente caratteristico deve essere calcolato usando uno sforzo di compressione ridotto σ_c : $M_{c,Rk} = W_y \cdot \sigma_c$.

Con:

- Rapporto di snellezza: $\lambda = (f_{yb}/\sigma_{elr})^{0,5}$;
- Sforzo di instabilità: $\sigma_{elr} = 0,60 \cdot \eta \cdot E \cdot t/R$;
- Coefficiente η : $\eta = 0,19 + 0,67/(1 + R/(100 \cdot t))^{0,5}$;
- Per $\lambda \leq 0,30$: $\sigma_c = f_{yb} i$;
- Per $0,30 < \lambda < 1,10$: $\sigma_c = (1,126 - 0,419 \cdot \lambda) \cdot f_{yb} i$;
- Per $\lambda \geq 1,10$: $\sigma_c = (0,8/\lambda^2) \cdot f_{yb} i$.

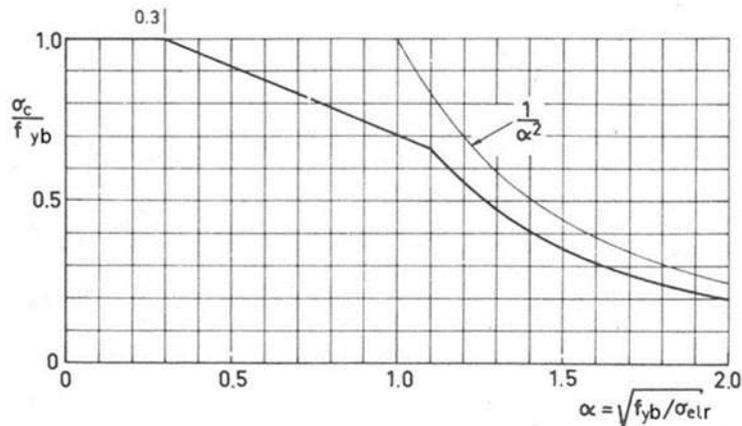


Figura 6.3.1.2 – Sforzo di compressione ultimo rispetto all'instabilità locale della parte cilindrica del profilo.

Il momento di inerzia, che è usato per calcolare le deformazioni allo stato limite di esercizio, dovrebbe essere calcolato considerando il momento flettente caratteristico ma con sforzo ridotto $f_{yb}/1,5$.

6.3.2. Procedura semplificata per campo di applicazione limitato

Se le condizioni:

- Lamiera corrugate in acciaio come trave a campata singola e,
- Carichi uniformemente distribuiti e,
- Rapporto $R/t \leq 0,1 \cdot E/f_y$ e,
- Spessore del nucleo di acciaio $t_{cor} \geq 0,55 \text{ mm}$ and,
- Altezza del profilo $18 \text{ mm} \leq h \leq 46 \text{ mm}$ and,
- Passo del profilo $76 \text{ mm} \leq p \leq 150 \text{ mm}$,

sono verificate, la seguente procedura semplificata può essere adottata:

- Momento di inerzia per unità di larghezza: $I_y = 0,13 \cdot t \cdot h^2$;
- Modulo di sezione per unità di larghezza: $W_y = 0,26 \cdot t \cdot h$;
- Momento flettente caratteristico: $M_{c,Rk} = W_y \cdot f_{yb}$

7. CONSIDERAZIONI SPECIFICHE SULLA PROGETTAZIONE

Le seguenti questioni non sono trattate nel presente manuale:

- Per la progettazione antincendio: devono essere rispettate le norme nazionali in accordo con EN 1998-1-2 e EN 1993-1-2;
- Per la progettazione sismica: devono essere rispettate le norme nazionali in accordo con EN 1998-1;
- Per gli aspetti ambientali: devono essere rispettate le norme nazionali;
- Per gli aspetti termici: devono essere rispettate le norme nazionali in accordo con EN 1991-1-5;
- Per gli aspetti acustici: devono essere rispettate le norme nazionali;

Manuale di progettazione per lamiere corrugate

Tutti gli altri temi non chiaramente identificati più in alto o più in basso

8. ESEMPIO DI PROGETTAZIONE

8.1. Descrizione del telaio e assunzioni di carico

Questo esempio di progettazione riguarda una semplice applicazione di tetto a falde di un edificio per il quale il telaio in acciaio è composto da travi IPE 80 con una luce di 1,15 m e una verifica è situata in area H e I secondo il paragrafo 7.2.4 della EN 1991-1 -4.

8.1.1. Informazioni sulla struttura

L'edificio di 16 m di altezza, edificio 1, si trova in una zona industriale vicino a Ostenda (Belgio) con tetto a falde semplici inclinato a 45 °.

Il valore fondamentale della velocità del vento di base $v_{b,0}$ è 26 m.s⁻¹.

La categoria del terreno è assunta pari a 0.

Il fattore direzionale c_{dir} e il fattore di stagione c_{season} sono fissati a 1. Il fattore di orografia $c_0(z)$ è preso pari a 1.

Il valore raccomandato pari a 1 è considerato per il fattore di turbolenza k_t .

Per la densità dell'aria ρ , è utilizzato il valore raccomandato: $\rho = 1,25 \text{ kg/m}^3$.

La posizione dell'edificio è in una zona topografica battuta dal vento: $C_e = 0,8$ in accordo con [12].

Coefficiente di forma del carico di neve μ_i of 0,8.

8.1.2. Assunzioni di carico

Questo esempio di progettazione non tratta la fase di montaggio. Nella fase di servizio, i carichi sono dati dagli effetti del vento e dai pesi propri.

I carichi neve sono trascurati a causa del valore caratteristico del carico neve s_k sul suolo. Tale valore a livello del mare è pari a 0,2 kN/m², in accordo con [12], e con un fattore di combinazione Ψ_0 di 0,5 in accordo con l'allegato nazionale belga [12] ($s = \mu_i \cdot C_e \cdot C_t \cdot s_k = 0,064 \text{ daN/m}^2$ per l'esatta applicazione).

Determinazione dell'azione del vento in accordo con [15] e [17]

Velocità base del vento $v_b = c_{dir} \cdot c_{season} \cdot v_{b,0} = 1,00 \cdot 1,00 \cdot 26 = 26 \text{ m.s}^{-1}$.

Velocità media del vento $v_m(z)$:

- Categoria del terreno 0: $z_0 = 0,003 \text{ m}$ e $z_{min} = 1 \text{ m}$;
- $z_{0,II} = 0,05 \text{ m}$;
- Fattore del terreno $k_r = 0,19 \cdot \left(\frac{z_0}{z_{0,II}}\right)^{0,07} = 0,19 \cdot \left(\frac{0,003}{0,05}\right)^{0,07} = 0,156$;
- Fattore di rugosità $c_r(z) = k_r \cdot \ln\left(\frac{z}{z_0}\right) = 0,156 \cdot \ln\left(\frac{16}{0,003}\right) = 1,339$;
- $v_m(z) = c_r(z) \cdot c_0(z) \cdot v_b = 1,339 \cdot 1,00 \cdot 26 \approx 34,8 \text{ m.s}^{-1}$;

Turbolenza del vento $I_v(z) = \frac{k_t}{c_0(z) \cdot \ln(z/z_0)} = \frac{1,00}{1,00 \cdot \ln(16/0,003)} = 0,117$

Manuale di progettazione per lamiera corrugate

$$\text{Pressione di picco } q_p(z) = [1 + 7 \cdot I_v(z)] \cdot \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v_m^2(z) = [1 + 7 \cdot 0,117] \cdot \frac{1}{2} \cdot 1,25 \cdot 34,8^2 \approx 1,38 \text{ kN/m}^2$$

Coefficienti di pressione per tetto monofalda:

- $\theta = 45^\circ$;
- Coefficienti di pressione esterna $c_{pe,10}$:
 - o Zona H:
 - Wind at 0° : 0,6;
 - Wind at 180° : -0,7;
 - Wind at 90° : -1,0;
 - o Zona I: -0,9;
- Coefficienti di pressione interna $c_{pi} = +0,2/-0,3$;
- Coefficiente globale $c_{p,net}$:
 - o Effetti di pressione per il vento: $c_{p,net} = 0,9$;
 - o Effetti di aspirazione per il vento: $c_{p,net} = -1,2$.

Carichi vento W_{50} :

- Per effetto della pressione: $W_{50}^+ = 1,24 \text{ kN/m}^2$
- Per effetto dell'aspirazione: $W_{50}^- = -1,65 \text{ kN/m}^2$

Combinazione di carico in accordo con [8], [9] e con l'allegato nazionale belga [8]

La combinazione più sfavorevole per gli effetti di pressione è: $Q^+ = 1,50 \cdot W_{50}^+ + 1,35 \cdot g_0 = 1,50 \cdot 1,24 + 1,35 \cdot 0,061 \approx 1,94 \text{ kN/m}^2$

La combinazione più sfavorevole per gli effetti di aspirazione è: $Q^- = 1,50 \cdot W_{50}^- + g_0 = 1,50 \cdot (-1,65) + 0,061 \approx -2,41 \text{ kN/m}^2$

Per g_0 vedere il paragrafo 8.2.

Per la verifica delle deformazioni allo stato limite di servizio (SLS): $Q_{SLS} = W_{50}^+ + g_0 = 1,30 \text{ kN/m}^2$.

8.2. Descrizioni delle lamiere corrugate in acciaio

La lamiera corrugata in acciaio ha una sezione sinusoidale con passo 76mm, altezza 18mm e spessore nominale di 0.64mm.



Figura 8.2 – 76.18 lamiera corrugate in acciaio.

Il profilo corrugato è in acciaio di grado S 320 GD + Z 275 con 0,65mm di spessore nominale. Il peso proprio g_0 del profilo è 0,060 kN/m².

Il fattore di sicurezza γ_{M0} è assunto pari a 1,00.

8.3. Procedura di verifica tramite approccio semplificato

8.3.1. Applicazione dei carichi

È presa in considerazione una campata di 1,15m di lunghezza, soggetta a carico uniformemente distribuito.

Per effetto della pressione del vento, l'applicazione della combinazione di carico porta a: un momento applicato in campata $M_{c,Ed} = (Q^+ \cdot L^2)/8 = (1,94 \cdot 1,15^2)/8 = 0,321$ kNm/m (vedere paragrafo 8.1.2).

Per effetto dell'aspirazione del vento, l'applicazione della combinazione di carico porta a: un momento applicato in campata $M_{c,Ed} = (Q^- \cdot L^2)/8 = (2,41 \cdot 1,15^2)/8 = 0,399$ kNm/m (vedere paragrafo 8.1.2).

Per gli stati limite di esercizio, applicando il criterio classico di L/150, la massima inflessione è pari a 7,67mm.

8.3.2. Applicazione del metodo semplificato

In base allo spessore nominale, lo spessore di progettazione vale $t = 0,60$ mm.

Prima di applicare il metodo semplificato, è necessario verificare se $R/t \leq 0,1 \cdot E/f_{yb}$:

- $R = 5h_w/4 = 22,5$ mm;
- $R/t = 37,50$;
- $0,1 \cdot E/f_{yb} = 0,1 \cdot \frac{210\,000}{320} = 65,625$.

Il criterio è soddisfatto e pertanto è possibile applicare il metodo semplificato:

- Momento di inerzia per unità di larghezza: $I_y = 0,13 \cdot t \cdot h^2 = 0,13 \cdot 0,60 \cdot 18^2 = 25,27$ mm⁴/mm;
- Modulo di sezione per unità di larghezza: $W_y = 0,26 \cdot t \cdot h = 0,26 \cdot 0,60 \cdot 18 = 2,81$ mm³/mm;
- Momento flettente caratteristico: $M_{c,Rk} = W_y \cdot f_{yb} = 2,808 \cdot 320 = 0,899$ kN.m/m.

Conseguentemente, la resistenza flettente caratteristica vale: $M_{c,Rd} = 0,899$ kN.m/m.

Si presume che, considerando la simmetria della sezione sinusoidale della lamiera, i valori della resistenza di progetto a flessione per carico diretto verso il basso e per carico di sollevamento, siano gli stessi.

Verifica della resistenza e della deformazione

Sotto carichi diretti verso il basso: Momento in campata: $\frac{M_{c,Ed}}{M_{c,Rd}} = \frac{0,321}{0,899} = 0,357 \leq 1,00$;

Per carichi di sollevamento: Momento in campata: $\frac{M_{c,Ed}}{M_{c,Rd}} = \frac{0,399}{0,899} = 0,444 \leq 1,00$.

La resistenza della lamiera corrugata in acciaio allo stato limite di servizio è verificata.

L'inflessione della lamiera corrugata in acciaio su due supporti è determinata da:

$$y = \frac{5 \cdot (W_{50}^+ + g_0) \cdot L^4}{384 \cdot E \cdot I_y} = 8,57 \text{ mm}$$

Manuale di progettazione per lamiere corrugate

Il criterio di inflessione di L/150 non è rispettato perché l'inflessione della lamiera corrugate in acciaio ($y = 8,57 \text{ mm}$) supera il valore massimo consentito pari a $7,67 \text{ mm}$.

In aggiunta, i sistemi di fissaggio possono essere verificati in accordo con [2], sezione 8.

8.4. Procedura di verifica tramite approccio dettagliato

8.4.1. Lamiera corrugata in acciaio

La lamiera corrugata in acciaio è la stessa del progetto descritto al paragrafo 8.2: passo di 76 mm e altezza di 18 mm .

Il profilo corrugato è in acciaio di grado S320 GD + Z 275 con $0,65 \text{ mm}$ di spessore nominale. Il peso proprio g_0 del profilo è $0,60 \text{ kN/m}^2$.

Il fattore di sicurezza γ_{M0} è assunto pari a $1,00$.

8.4.2. Applicazione dei carichi

Riprendiamo i carichi descritti nel paragrafo 8.3.1 per studiare l'utilità del metodo dettagliato rispetto al metodo semplificato.

8.4.3. Applicazione del metodo dettagliato

Sulla base dello spessore nominale, lo spessore di progettazione vale $t = 0,60 \text{ mm}$.

È necessario verificare se $R/t \leq 0,04 \cdot E/f_{yb}$:

- $R = 5h_w/4 = 22,5 \text{ mm}$;
- $R/t = 37,50$;
- $0,04 \cdot E/f_{yb} = 0,04 \cdot \frac{210000}{320} = 26,25$.

$R/t > 0,04 \cdot E/f_{yb}$ e il momento a flessione caratteristico deve essere calcolato usando uno sforzo di compressione ridotto σ_c : $M_{c,Rk} = W_y \cdot \sigma_c$.

Determinazione del momento di inerzia e del modulo di sezione

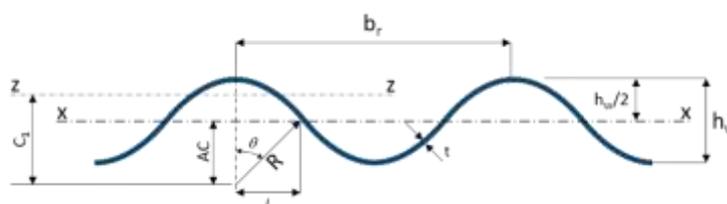


Figura 8.4.3.1 – Parametri geometrici per determinare il momento di inerzia e il modulo di sezione.

Raggio di curvatura: $R = 5 \cdot h_w/4 = 22,5 \text{ mm}$;

Lunghezza $l = h_w = 18 \text{ mm}$;

Angolo θ : $\sin \theta = l/R = 18/22,5$ and $\theta = 0,927 \text{ rad}$;

Distanza tra il centro di gravità dell'arco (assi 'z-z') e il centro dell'arco:

$$C_1 = (R \cdot \sin \theta) / \theta = \frac{22,5 \cdot \sin 0,927}{0,927} = 19,41 \text{ mm};$$

Manuale di progettazione per lamiere corrugate

Distanza tra il centro dell'arco e gli assi 'x-x':

$$AC = R - (h_w/2) = 22,5 - 0,5 \cdot 18 = 13,5 \text{ mm};$$

E, infine, il momento di area per un quarto della sezione lorda:

$$I'_{xx}/t = R^3 \cdot \left(\frac{\theta + \sin \theta \cdot \cos \theta}{2} - \frac{(\sin \theta)^2}{\theta} \right) + (R \cdot \theta) \left[C_1 - \left(R - \frac{h_w}{2} \right) \right]^2$$

$$\frac{I'_{xx}}{t} = 22,5^3 \left(\frac{0,927 + \sin 0,927 \cdot \cos 0,927}{2} - \frac{(\sin 0,927)^2}{0,927} \right) + (22,5 \cdot 0,927) [19,41 - 13,5]^2 = 882,48 \text{ mm}^3/\text{mm}$$

E il momento di inerzia per unità di larghezza è:

$$I_{xx} = \frac{4 \cdot I'_{xx} \cdot t}{b_R} = \frac{4 \cdot 882,48 \cdot 0,60}{76} = 27,87 \text{ mm}^4/\text{mm}$$

Il modulo di sezione è dato da:

$$W_y = \frac{4 \cdot I'_{xx} \cdot t}{b_R \cdot h_w/2} = \frac{4 \cdot 882,48 \cdot 0,60}{76 \cdot 9} = 3,10 \text{ mm}^3/\text{mm}$$

Determinazione del momento flettente caratteristico calcolando lo sforzo ridotto

Coefficiente

$$\eta = 0,19 + 0,67/(1 + R/(100 \cdot t))^{0,5} = 0,19 + 0,67/(1 + 22,5/(100 \cdot 0,60))^{0,5} = 0,761;$$

Sforzo di instabilità:

$$\sigma_{elr} = 0,60 \cdot \eta \cdot E \cdot t/R = 0,60 \cdot 0,763 \cdot 210\,000 \cdot 0,60/22,5 = 2558,23 \text{ N/m}^2;$$

Rapporto di snellezza:

$$\lambda = (f_{yb}/\sigma_{elr})^{0,5} = (320/2558,23)^{0,5} = 0,354;$$

Dato che $0,30 < \lambda < 1,10$, lo sforzo ridotto è dato da:

$$\sigma_c = (1,126 - 0,419 \cdot \lambda) \cdot f_{yb} = (1,126 - 0,419 \cdot 0,354) \cdot 320 = 312,9 \text{ N/mm}^2$$

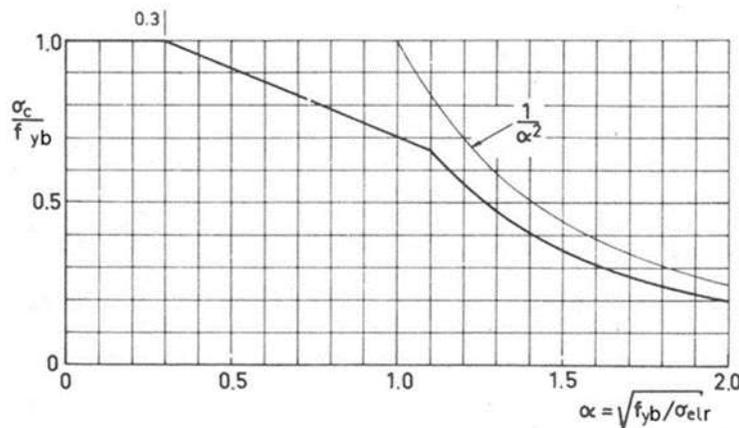


Figura 8.4.3.2 – Sforzo di compressione ultimo rispetto all'instabilità locale della parte cilindrica del profilo.

Il momento flettente caratteristico vale:

Manuale di progettazione per lamiere corrugate

$$M_{c,Rk} = W_y \cdot \sigma_c = 3,15 \cdot 313,33 = 0,969 \text{ kN.m/m}$$

Conseguentemente, il momento resistente a flessione di progetto vale: $M_{c,Rd} = 0,969 \text{ kN.m/m}$.

Si assume che, considerando la simmetria della sezione sinusoidale della lamiera, i valori della resistenza a flessione di progetto nei confronti del carico diretto verso il basso e del carico di sollevamento, siano gli stessi.

Per il momento di inerzia da usare allo stato limite di servizio SLS: $W_{y,SLS} = M_{c,Rk} / (f_{yb} / 1,5) = 4,54 \text{ mm}^3/\text{mm}$, and $I_{y,SLS} = W_{y,SLS} \cdot (h_w / 2) = 40,87 \text{ mm}^4/\text{mm}$.

Verifica della resistenza e della deformazione

Nei confronti di carico diretto verso il basso: Momento in campata: $\frac{M_{c,Ed}}{M_{c,Rd}} = \frac{0,321}{0,969} = 0,331 \leq 1,00$;

Nei confronti di carico di aspirazione: Momento in campata: $\frac{M_{c,Ed}}{M_{c,Rd}} = \frac{0,399}{0,969} = 0,412 \leq 1,00$.

La verifica di resistenza della lamiera corrugata in acciaio allo stato limite ultimo è soddisfatta. Il metodo dettagliato presenta un vantaggio pari a circa l'8% rispetto al metodo semplificato.

Per lo stato limite di servizio, l'inflessione della lamiera corrugate in acciaio su 2 supporti è determinata da:

$$y = \frac{5 \cdot (W_{50}^+ + g_0) \cdot L^4}{384 \cdot E \cdot I_{y,SLS}} = 5,30 \text{ mm}$$

Il criterio di inflessione di L/150 è rispettato perché l'inflessione della lamiera corrugata in acciaio ($y = 5,30\text{mm}$) non supera in massimo valore consentito pari a 7,67mm.

In aggiunta, i sistemi di fissaggio possono essere verificati in accordo con [2], sezione 8.

8.5. Verifica tramite Software

8.5.1. Informazioni sul Software

Un software Excel è disponibile su sito web di GRISPE plus (www.grispeplus.eu).

8.5.2. Validazione dell'esempio

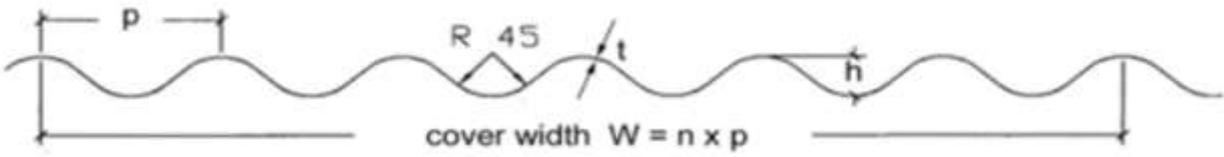
I primi dati di input sono I parametri geometrici:

- Raggio di curvatura: $R = 22,5 \text{ mm}$ per l'esempio trattato;
- Altezza del profilo: $h = 18 \text{ mm}$;
- Passo: $p = 76 \text{ mm}$.

In secondo luogo, è necessario implementare il modulo di Young ($E = 210 \text{ 000 N/mm}^2$), lo sforzo di snervamento ($f_{yb} = 320 \text{ N/mm}^2$) e il modulo di sezione ($W_y = 3150 \text{ mm}^3/\text{m}$ dato al paragrafo 8.4.3).

Please fill in the red cells

results



R	22,50	[mm]	E	210 000,00	[N/mm ²]
t _{cor}	0,61	[mm]	f _{yb}	320,00	[N/mm ²]
h	18,00	[mm]	W _y	3 150,00	[mm ³ /m]
p	76,00	[mm]			

Generally applicable design procedure with respect to local buckling in the compressed area

R/t	36,885246 [-]	≤	0,04*E/f _{yb}	26,25 [-]			
slenderness ratio	α [-]	buckling stress	σ _{dir} [N/mm ²]	coefficient	η [-]	compressive stress	σ _c [N/mm ²]
	0,350		2 605,245		0,763		313,329

M_{c,Rk} 0,987 [kNm/m]

Simplified procedure for restricted application range

Check conditions (all must be fulfilled):

single span girder	true/false?
uniformly distributed loads	true/false?
ratio R/t 36,885246 [-] ≤ 0,1*E/f _{yb} 65,625 [-]	true
steel core thickness t _{cor} ≥ 0,55 mm	true
profile height 18 mm ≤ h ≤ 46 mm	true
profile pitch 76 mm ≤ p ≤ 150 mm	true

M_{c,Rk} 0,914 [kNm/m]

Figura 8.5.2 – Tabella excel per le lamiere corrugate in acciaio.

Confronto tra il risultato analitico e quello ottenuto dal software Excel

Manuale di progettazione per lamiere corrugate

Entrambi i metodi sono convalidati data la corrispondenza esatta di tutti i parametri e, precisamente, dei seguenti risultati:

- Rapporto di snellezza;
- Sforzo di instabilità;
- coefficiente η ;
- Sforzo di compressione;
- Momento caratteristico a flessione per il metodo dettagliato e per quello semplificato.

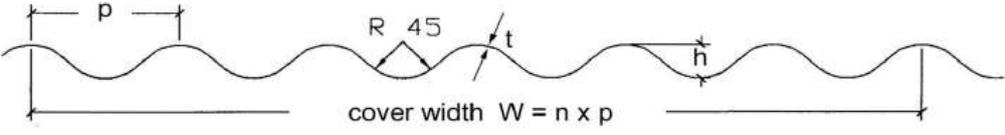
BIBLIOGRAFIA

- [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 1993-1-3:2007 – Eurocode 3: Design of steel structures – Part 1-3: General rule - Supplementary rules for cold-formed member and sheeting, Brussels, 2007.
- [3] DIN 59231:2003 – Hot-dip metal coated corrugated and profiled steel sheets – Dimensions, mass and static parameters, Berlin, 2003.
- [4] K. Le TRAN, L. DAVAINÉ, C. DOUTHE, K. SAB and J. DALLOT – Etude de la résistance et de la stabilité des panneaux cylindriques non-raidis soumis à une compression uniforme : application aux ouvrages d'arts, Revue Construction Métallique, 1-2012.
- [5] CEN, EN 1993-4-1:2007 – Eurocode 3: Design of steel structures - Part 4-1: Silos, Brussels, 2007.
- [6] StBK-N5, Swedish code for light-gauge metal structures, Stockholm, 1982.
- [7] CEN, EN 1990:2002 – Eurocode – Basis of structural design, Brussels, 2002.
- [8] CEN, EN 1990:2002/A1:2005 – Eurocode – Basis of structural design – Amendment A1, Brussels, 2005.
- [9] CEN, EN 1990:2002/A1:2005/AC:2010 – Eurocode – Basis of structural design – Amendment A1 - Corrigendum, Brussels, 2010.
- [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 1991-1-1:2002/AC:2009 – Eurocode 1: Actions on structures – Part 1-1: General actions - Densities, self-weight, imposed loads for buildings - Corrigendum, Brussels, 2009.
- [12] CEN, EN 1991-1-3:2003 – Eurocode 1: Actions on structures – Part 1-3: General actions – Snow loads, Brussels, 2003.
- [13] CEN, EN 1991-1-3:2003/AC:2009 – Eurocode 1: Actions on structures – Part 1-3: General actions – Snow loads - Corrigendum, Brussels, 2009.
- [14] CEN, EN 1991-1-3:2003/A1:2015 – Eurocode 1: Actions on structures – Part 1-3: General actions – Snow loads - Amendment A1, Brussels, 2015.
- [15] CEN, EN 1991-1-4:2005 – Eurocode 1: Actions on structures – Part 1-4: General actions - Wind actions, Brussels, 2005.
- [16] CEN, EN 1991-1-4:2005/AC:2010 – Eurocode 1: Actions on structures – Part 1-4: General actions - Wind actions – Corrigendum, Brussels, 2010.
- [17] CEN, EN 1991-1-4:2005/A1:2010 – Eurocode 1: Actions on structures – Part 1-4: General actions - Wind actions – Amendment A1, Brussels, 2010.

Manuale di progettazione per lamiere corrugate

- [18] CEN, EN 1993-1-1:2005 – Eurocode 3: Design of steel structures - Part 1-1: General rules and rules for buildings, Brussels, 2005.
- [19] CEN, EN 1993-1-1:2005/AC:2009 – Eurocode 3: Design of steel structures - Part 1-1: General rules and rules for buildings - Corrigendum, Brussels, 2005.
- [20] 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.
- [21] CEN, EN 1993-1-3:2007/AC:2009 – Eurocode 3: Design of steel structures – Part 1-3: General rule - Supplementary rules for cold-formed member and sheeting - Corrigendum, Brussels, 2009.
- [22] CEN, EN 1995-1-1:2005 – Eurocode 5: Design of timber structures – Part 1-1: General – Common rules and rules for buildings, Brussels, 2005.
- [23] CEN, EN 1995-1-1:2005/AC:2006 – Eurocode 5: Design of timber structures – Part 1-1: General – Common rules and rules for buildings, Corrigendum, Brussels, 2006.
- [24] CEN, EN 1995-1-1:2005/A1:2008 – Eurocode 5: Design of timber structures – Part 1-1: General – Common rules and rules for buildings, Amendment A1, Brussels, 2008.
- [25] CEN, EN 1995-1-1:2005/A2:2014 – Eurocode 5: Design of timber structures – Part 1-1: General – Common rules and rules for buildings, Amendment A1, Brussels, 2014.

ALLEGATO: PROGETTO DI MODIFICA DELL'EUROCODICE, PRESENTATO AL CEN

AM-1-3-2013-75	
Subject	Load bearing capacity / characteristic values of corrugated profiles with sinusoidal or similar cross section
Clause No/ Subclause No/ Annex	
Reason for Amendment	No design rules by calculation available in EN 1993-1-3
Proposed Change	<p>In order to calculate the bending stiffness and the ultimate bending moment for corrugated profiles with sinusoidal or similar cross section, two approaches are proposed</p> <p>1. Generally applicable design procedure with respect to local buckling in the compressed area</p>  <p>Fig nn: Typical cross section, definition of parameters σ</p> <ul style="list-style-type: none"> • If $R/t \leq 0,04 * E / f_{yb}$: The cross section needs not be checked for local buckling

characteristic bending moment: $M_{c,Rk} = W_y * f_{yb}$

- If $R/t > 0,04 * E / f_{yb}$: The characteristic bending moment should be calculated using the reduced compressive stress $\sigma_c M_{c,Rk} = W_y * \sigma_c$

with:

slenderness ratio: $\lambda = (f_{yb} / \sigma_{eLr})^{0,5}$

buckling stress $\sigma_{eLr} = 0,60 * \eta * E * t / R$

coefficient η $\eta = 0,19 + 0,67 / (1 + R / (100 * t))^{0,5}$

for $\lambda < 0,30$ $\sigma_c = f_{yb}$

for $0,30 < \lambda < 1,10$ $\sigma_c = (1,126 - 0,419 * \lambda) * f_{yb}$

for $1,10 \geq \lambda$ $\sigma_c = (0,8 / \lambda^2) * f_{yb}$

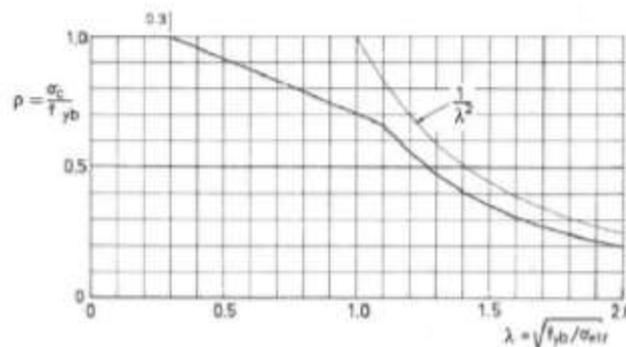


Fig nn: ultimate compressive stress with respect to local buckling of the cylindrical part of the profile

The moment of inertia, which is used to calculate deformations in serviceability limit state, should be calculated using the same procedure as for bending moment, but with reduced stress $f_{yb} / 1,5$.

2. Simplified procedure for restricted application range

If the conditions

- profile installed as single span girder and
- uniformly distributed loads and
- ratio $R/t \leq 0,1 * E / f_{yb}$ and
- steel core thickness $t_{cor} \geq 0,55 \text{ mm}$ and
- profile height $18 \text{ mm} \leq h \leq 46 \text{ mm}$ and
- profile pitch $76 \text{ mm} \leq p \leq 150 \text{ mm}$

are met, the following simplified procedure may be adopted:

	<p>moment of inertia per unit width $I_y = 0,13 * t * h^2$</p> <p>section modulus per unit width $W_y = 0,26 * t * h$</p> <p>characteristic bending moment: $M_{c,Rk} = W_y * f_{yb}$</p>
<p>Background Information</p>	<p>[1] D2.5 WP2 Background and draft annexes for EN 1993-1-3 for corrugated sheets, 31.12.2015, KIT</p> <p>[2] StBK-N5 Swedish Code for Light-Gauge Metal Structures, March 1982, SBI</p> <p>[3] EN 1993-4-1 Tanks</p>