


WP N°: 3
WP Title: eLectures: Interactive electronic lectures
Deliverable N°: D3.1
Deliverable Title: Profili perforati
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(s)
Sokol Palisson Consultants, Anna Palisson
Drafting history
DRAFT N° 1 -DATE:
DRAFT N° 2- DATE:
FINAL- DATE: 31st of March
Dissemination Level

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

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. **754092**.

SOMMARIO

Lo scopo di questo manuale di progettazione è quello di presentare un nuovo metodo di progettazione per profili perforati, così come sviluppato all'interno del progetto europeo GRISPE PLUS.

Il manuale si basa in generale sui principi dell'Eurocodice ed in particolare sugli Eurocodici EN 1993-1-3 e EN 1993-1-5.

Questo nuovo metodo di progettazione per profili perforati si basa su test effettuati all'interno del progetto europeo GRISPE (2013-2016).

Il background di questo metodo è descritto nell'Allegato 1.

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

Il capitolo 2 delinea gli aspetti che devono essere presi in considerazione durante le fasi preliminari, compresa, in particolar modo, la verifica del campo di applicazione del nuovo metodo di progettazione;

Il capitolo 3 stabilisce i requisiti tecnologici che devono essere rispettati, compresi il telaio di supporto, le caratteristiche dei profili e l'assemblaggio;

Il capitolo 4 elenca le proprietà dei materiali che costituiscono i profili;

Il capitolo 5 specifica come determinare le azioni e le combinazioni di carico;

Il capitolo 6 fornisce le basi della progettazione;

Il capitolo 7 elenca aspetti specifici di progettazione che non sono coperti dal presente manuale;

Il capitolo 8 spiega in dettaglio il software sviluppato per i profili perforati;

Il capitolo 9 fornisce un'applicazione del nuovo metodo di progettazione;

Il capitolo 10 fornisce il controllo automatico del software.

Sono inoltre inclusi una bibliografia ed un allegato.

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	Italy
Daniel SPAGNI	Francia

I soci corrispondenti hanno incluso:

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

Figure

Le figure sono state fornite dalle seguenti fonti:

Figura 1.1.1 – JORIS IDE

Figura 1.1.2 – KIT

Figura 1.1.3 – KIT

Da Figura 1.3.1 a Figura 1.3.12 – KIT

Figura 2.2.1.1 – Copia di EN 1993-1-3

Figura 2.2.2.1 – Copia di EN 1993-1-3

Figura 6.2.1 - Sokol Palisson Consultants

Figura 6.2.2 - Sokol Palisson Consultants

Figura 6.3.2.1 – Copia di EN 1993-1-3

Figura 8.1 – Sokol Palisson Consultants

Figura 8.1.1 - Sokol Palisson Consultants

Figura 8.1.2 - Sokol Palisson Consultants

Figura 8.1.3 – Copia di EN 1993-1-3

Figura 9.1- Sokol Palisson Consultants

Figura 9.1.1- Sokol Palisson Consultants

Figura 9.1.3.1- Sokol Palisson Consultants

Figura 9.2.1 – Copia di EN 1993-1-3

Figura 9.3.1.1 – Copia di EN 1993-1-3

Figura 9.3.1.2 – Copia di EN 1993-1-3

Figura 9.3.1.1 - Sokol Palisson Consultants

Figura 9.5.1 – Copia di EN 1993-1-3

Figura 9.5.2 – Copia di EN 1993-1-3

INDICE

Disclaimer notice and EU acknowledgement of support.....	2
1. INTRODUZIONE	9
1.1. Tipi di lamiere sagomate	9
1.2. Stato dell'arte ante GRISPE	10
1.3. Risultati principali di GRISPE.....	10
1.4. Regole e requisiti di progettazione generale.....	15
2. CONSIDERAZIONI PRELIMINARI: FASE PRE-PROGETTUALE	15
2.1. Campo di applicazione del nuovo metodo di progettazione	15
2.2. Disposizioni tecnologiche delle lamiere sagomate.....	15
3. REQUISITI TECNOLOGICI DI BASE	16
4. PROPRIETÀ DEI MATERIALI.....	16
5. AZIONI E COMBINAZIONI DI CARICO	16
6. REGOLE BASE DI PROGETTAZIONE	16
6.1. Principi.....	16
6.2. Campo di applicazione del nuovo metodo di progettazione	17
6.3. Procedura di progettazione	17
7. CONSIDERAZIONI DI PROGETTAZIONE SPECIFICA	19
8. SPIEGAZIONE DEL SOFTWARE DI CALCOLO	20
8.1. Dati.....	20
8.2. Controllo delle proporzioni geometriche.....	22
8.3. Risultati.....	22
9. ESEMPIO DI PROGETTAZIONE.....	23
9.1. Sezione trasversale della lamiera	23
9.2. Calcolo di A_g , area lorda della sezione	25
9.3. Calcolo dell'area efficace A_{eff} della sezione.....	26
9.4. Calcolo del momento resistente in campata	32
9.5. Calcolo della reazione all'appoggio di estremità	33
10. AUTO-CONTROLLO DEL SOFTWARE	34
10.1. Calcolo del momento resistente in campata:.....	34
10.2. Calcolo della resistenza all'appoggio:	35
11. BIBLIOGRAFIA.....	36

SCOPO DELLA PUBBLICAZIONE

Lo scopo di questa pubblicazione è quello di presentare un nuovo metodo di progettazione per lamiere perforate; questo metodo è stato proposto per essere incluso all'interno dell'Eurocodice EN 1993-1-3.

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

Per questioni specifiche (ad es. aperture) o per situazioni eccezionali (sisma, incendio, ecc.) è necessario seguire le regole contenute negli Eurocodici e/o in EN 1090-4.

NOTAZIONI

Sono stati utilizzati i simboli seguenti:

t : spessore di progetto

t_{nom} : spessore nominale

t_{eff} : spessore efficace

h_w : altezza del profilo

h_a : altezza della parte dell'anima sopra l'irrigidimento

h_{sa} : altezza dell'irrigidimento dell'anima

d_s : altezza dell'irrigidimento della flangia

d : diametro dei fori

a : spazio tra i centri di perforazione (interasse tra le perforazioni)

f_{yb} : tensione di snervamento

E : modulo di Young

t_{red} : spessore ridotto

b_{pi} : larghezze delle parti della sezione trasversale piana

$b_{i,eff}$: larghezza effettiva

A_g : area della sezione lorda

A_{eff} : area efficace

z_G : posizione dell'asse neutro

σ_{xx} : tensione

χ_d : fattore di riduzione per la resistenza ad instabilità distorsionale

$M_{c,Rd}$: momento resistente

M_{span} : momento resistente in campata

e_c : distanza tra la flangia compressa e la posizione dell'asse neutro

s_{per} : altezza inclinata della porzione perforata dell'anima

s_n : larghezza della parte dell'anima tra la flangia compressa e la posizione dell'asse neutro

s_{eff} : sezione efficace dell'anima

W_{eff} : modulo efficace della sezione

$R_{w,Rd}$: resistenza trasversale locale

1. INTRODUZIONE

1.1. Tipi di lamiera sagomate

Questo manuale di progettazione tratta di lamiera sagomate in acciaio (Figura 1.1.1) con perforazioni disposte a quadrato sulle flange (Figura 1.1.2) o sulle anime (Figura 1.1.3).



Figure 1.1.1 – Lamiera sagomata in acciaio



Figura 1.1.2 – Lamiera sagomata in acciaio con perforazioni disposte a quadrato sulla flangia superiore



Figura 1.1.3 – Lamiera sagomata in acciaio con perforazioni disposte a quadrato sulle anime

1.2. Stato dell'arte ante GRISPE

I profili perforati sono sempre più utilizzati nella parte interna dell'involucro dell'edificio per migliorarne le prestazioni acustiche. Le società siderurgiche di laminazione a freddo hanno sviluppato, per questo tipo di applicazione, diversi tipi, geometrie e distribuzioni di perforazioni sulle anime e sulle flange della lamiera.

Nell'Eurocodice EN 1993-1-3, il capitolo 10.4 tratta soltanto le pareti piane con perforazioni disposte secondo triangolari equilateri mentre sul mercato sono presenti molte lamiere con distribuzione diversa delle perforazioni.

Esistono diversi studi su lastre con perforazioni a triangolo [1], [2], [3], [4], [5]. Per quanto riguarda le perforazioni disposte in quadrato, alcune ricerche iniziali condotte a KIT in Germania [2], [3] hanno fornito alcune utili informazioni sulla larghezza efficace e sulla resistenza dell'anima, ma, poiché queste si basavano su analisi numeriche al computer, non hanno portato direttamente alla formulazione analitica e necessitano pertanto di essere estese per coprire le soluzioni attualmente presenti sul mercato.

Quindi, l'unico modo per progettare le lamiere con perforazioni disposte in quadrato è quello di determinare i valori di resistenza mediante test, il che richiede tempi e costi non trascurabili.

1.3. Risultati principali di GRISPE

Al fine di determinare e confrontare i valori di resistenza delle lamiere in acciaio con e senza perforazioni, è stato eseguito un programma di 224 test secondo l'allegato A di EN 1993-1-3 su elementi in acciaio a sezione trapezia (da Figura 1.3.1 a Figura 1.3.4):

- con perforazioni disposte in quadrato sulle anime
- con perforazioni disposte in quadrato sulle flange
- senza perforazioni

Sono stati inoltre eseguiti 48 test locali su provini con e senza perforazioni disposte in quadrato e perforazioni disposte a triangolo al fine di determinare la loro influenza sul comportamento locale.

L'analisi di questi test locali ha permesso di definire gli spessori efficaci per le lamiere aventi perforazioni disposte in quadrato in funzione dello spessore efficace delle lamiere con perforazioni disposte a triangolo e di adattare per le perforazioni disposte in quadrato le formule definite in EN 1993-1-3 per le perforazioni disposte a triangolo. Queste formule innovative potrebbero essere convalidate da un'analisi dettagliata dei risultati sperimentali di test globali. Sono stati sviluppati metodi di calcolo per determinare il momento resistente in campata, la resistenza al crippling dell'anima e resistenza a momento della lamiera con perforazioni (sulle flange o sull'anima) disposte in quadrato che non è stato possibile determinare prima.



Figura 1.3.1 – Test su una singola campata su lamiera senza perforazioni



Figura 1.3.2 – Test su una singola campata con perforazioni sulle anime



Figura 1.3.3 – Test su una singola campata su lamiera con perforazioni sulle flange

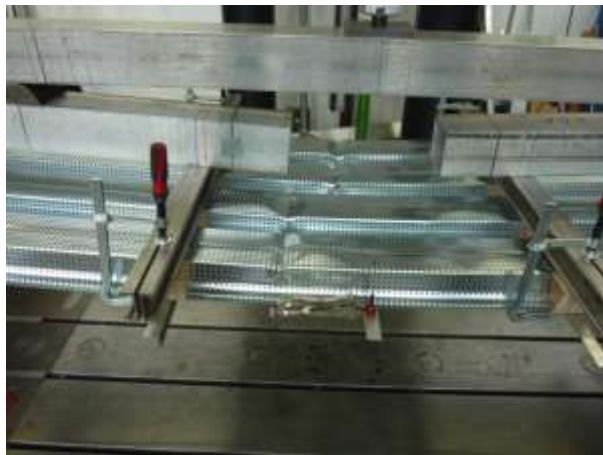


Figura 1.3.4 – Test su una singola campata su lamiere con perforazioni su anime e flange



Figura 1.3.5 – Test all'appoggio su lamiere senza perforazioni



Figura 1.3.6 – Test all'appoggio su lamiere con perforazioni sulle anime



Figura 1.3.7 – Test all'appoggio su lamiere con perforazioni sulle flange



Figura 1.3.8 – Test all'appoggio su lamiere con perforazioni su anime e flange



Figura 1.3.9 – Lamiera senza perforazioni dopo un test sull'appoggio interno



Figura 1.3.10 – Lamiera con perforazioni sulle anime dopo un test sull'appoggio interno

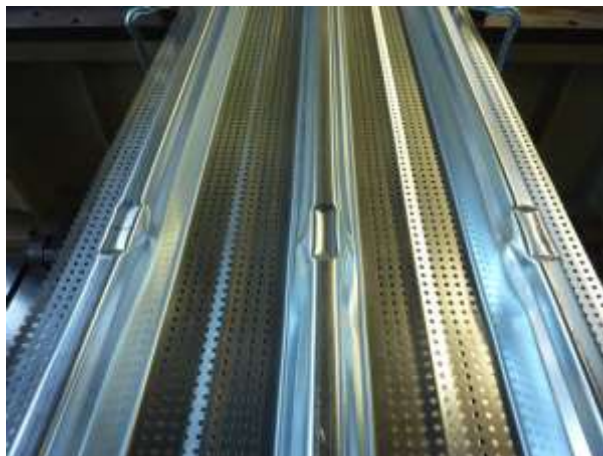


Figura 1.3.11 – Lamiera con perforazioni sulle flange dopo un test sull'appoggio interno



Figura 1.3.12 – Lamiera con perforazioni su anime e flange dopo un test sull'appoggio interno

1.4. Regole e requisiti di progettazione generale

(1) La progettazione di lamiere con perforazioni deve seguire le regole generali contenute in EN 1993-1-1.

(2) Devono essere adottati opportuni coefficienti parziali per gli stati limite ultimi e stati limite di esercizio secondo EN 1993-1-3.

2. CONSIDERAZIONI PRELIMINARI: FASE PRE-PROGETTUALE

2.1. Campo di applicazione del nuovo metodo di progettazione

Questo manuale fornisce i requisiti di progettazione per lamiere in acciaio con perforazioni disposte in quadrato sulle anime o sulle flange. L'esecuzione di strutture in acciaio composte da lastre è compresa all'interno di EN 1090.

Questo manuale fornisce metodi per la progettazione mediante calcolo. Questo metodo si applica all'interno di determinati intervalli di proprietà del materiale e proporzioni geometriche.

Questo manuale non copre la disposizione dei carichi durante la messa in opera e la manutenzione.

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

2.2. Disposizioni tecnologiche delle lamiere sagomate

2.2.1. Forma delle sezioni

(1) Le lamiere sagomate 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.

(2) Le sezioni trasversali delle lamiere sagomate consistono essenzialmente in un numero di elementi piani uniti da elementi curvi.

(3) Alcuni esempi di sezioni trasversali di lamiere sagomate sono illustrati in figura 2.2.1.1.

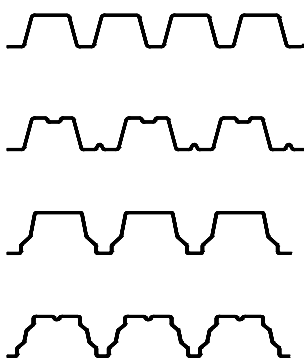


Figura 2.2.1.1 – Esempi di lamiere sagomate

(4) Le sezioni possono essere non irrigidite o possono prevedere irrigidimenti longitudinali in corrispondenza delle anime, delle flange o in entrambe.

2.2.2. Dimensioni della sezione trasversale

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

(1) Lo spessore t è uno spessore di progetto dell'acciaio (lo spessore del nucleo in acciaio estratto meno la tolleranza, se necessario, come specificato al punto 3.2.4 di EN 1993-1-3), se non diversamente indicato.

(2) Le disposizioni per la progettazione riportate in questo manuale non dovrebbero essere applicate a sezioni trasversali al di fuori dell'intervallo avente come rapporti tra la larghezza e lo spessore b/t , h/t , c/t e d/t quelli indicati in Tabella (Tabella 5.1 di EN 1993-1-3).

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

Tabella 2.2.2.1 – Controlli delle proporzioni geometriche

3. REQUISITI TECNOLOGICI DI BASE

Lamiere sagomate e marcatura CE

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

4. PROPRIETÀ DEI MATERIALI

Lamiere in acciaio

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

Gli acciai comunemente usati sono del tipo S320GD + ZA e S350GD + ZA

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

5. AZIONI E COMBINAZIONI DI CARICO

Le azioni e le combinazioni da prendere in considerazione devono essere determinate in accordo con EN 1991-1-6 Eurocodice 1: Azioni sulle strutture, Parti 1-6: Azioni generali – Azioni durante l'esecuzione, 2005.

6. REGOLE BASE DI PROGETTAZIONE

6.1. Principi

Questo nuovo metodo di progettazione nasce per calcolare in lamiere con perforazioni disposte in quadrato, sulle anime o sulle flange:

- La resistenza a flessione
- La resistenza a carichi locali o alle reazioni all'appoggio

- La resistenza a flessione combinata con carichi locali o reazioni all'appoggio

6.2. Campo di applicazione del nuovo metodo di progettazione

Questo nuovo metodo di progettazione è riferito a lamiera con perforazioni disposte in quadrato (Figura 6.2.1) sulle anime o sulle flange (Figura 6.2.2).

Intervallo di validità: $0.2 \leq d/a \leq 0.9$

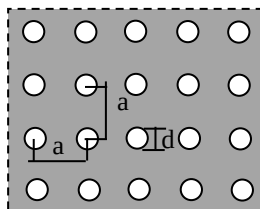


Figura 6.2.1 – Perforazioni disposte in quadrato

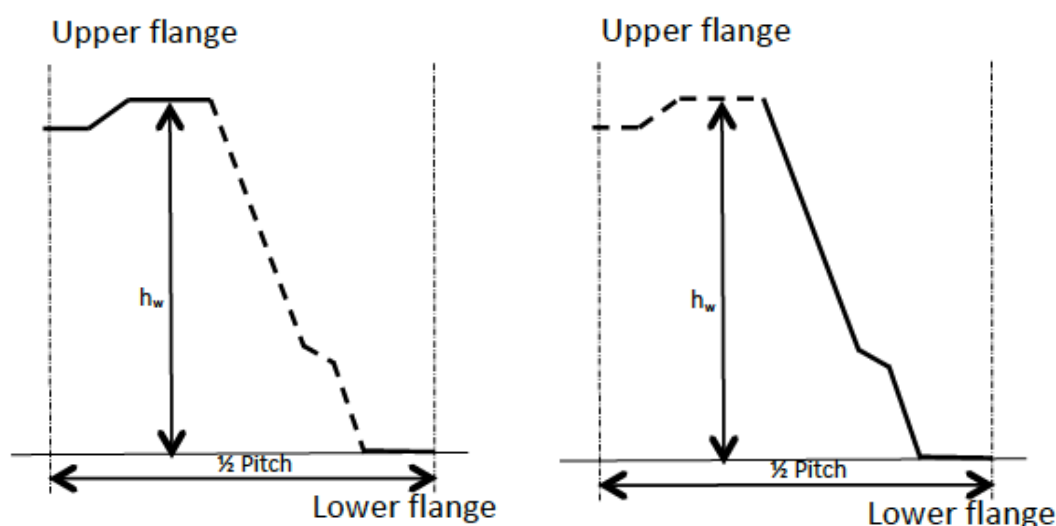


Figura 6.2.2 – Lamiera con perforazioni sull'anima (a sinistra) o sulla flangia (a destra)

6.3. Procedura di progettazione

6.3.1. Sezione lorda della lamiera con perforazioni disposte in quadrato

Le proprietà della sezione lorda sono calcolate utilizzando la Sezione 5.1 di EN 1993-1-3, sostituendo t con $t_{a,eff}$ ottenuto da:

$$t_{a,eff} = 1,09t \left(1 - \frac{1,03d}{a} \right)$$

dove:

d è il diametro del foro;

a è la distanza tra i centri dei fori - interasse (Figura 6.2.1).

6.3.2. Sezione efficace della lamiera con perforazioni disposte in quadrato

Le proprietà della sezione efficace sono calcolate utilizzando la Sezione 5 di EN 1993-1-3, sostituendo t con $t_{b,eff}$ ottenuto da:

$$t_{b,eff} = t \sqrt[3]{1,18(1 - d/a)}$$

dove:

d è il diametro del foro;

a è la distanza tra i centri dei fori - interasse (Figura 6.2.1).

6.3.3. Momento resistente della lamiera con perforazioni disposte in quadrato

Il momento resistente di progetto di una sezione trasversale soggetta a flessione attorno ad un asse principale $M_{c,Rd}$ è determinato in accordo con EN 1993-1-3 "6.1.4 Momento flettente", come segue:

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

Il modulo della sezione efficace dovrebbe essere basato su una sezione efficace che è soggetta solo al momento flettente attorno all'asse principale, con una sollecitazione massima $\sigma_{max,Ed}$ pari a f_{yb} / γ_{M0} , tenendo conto degli effetti locali e dell'instabilità come specificato nelle Sezioni 5.5. e 7.1

6.3.4. Carico locale o reazione all'appoggio sull'anima con perforazioni disposte in quadrato

La resistenza trasversale locale dell'anima di una lamiera con perforazioni disposte in quadrato sull'anima stessa è calcolata in accordo alla formula (6.18) di EN 1993-1-3

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

sostituendo t con $t_{c,eff}$ ottenuto da:

$$t_{c,eff} = t \left[1 - \left(d/a \right)^2 s_{per} / s_w \right]^{3/2}$$

dove:

s_{per} è l'altezza inclinata della porzione perforata dell'anima

s_w è l'altezza totale inclinata dell'anima.

6.3.5. Momento flettente combinato con carico o locale o reazione all'appoggio con perforazioni disposte in quadrato

(1) Nel caso di lamiere con perforazioni disposte in quadrato le equazioni (6.28a), (6.28b) e (6.28c) di EN 1993-1-3 possono essere utilizzate con:

$M_{c,Rd}$ = momento resistente determinato come in 6.3.3

$R_{w,Rd}$ = resistenza trasversale locale determinata come in 6.3.4

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

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

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

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

7. CONSIDERAZIONI DI PROGETTAZIONE SPECIFICA

Le seguenti questioni non sono trattate nel presente manuale:

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

8. SPIEGAZIONE DEL SOFTWARE DI CALCOLO

Questo software consente di calcolare la resistenza a flessione in campata e la reazione di estremità all'appoggio per un profilo con un irrigidimento sulla flangia superiore, con un irrigidimento sull'anima e con perforazioni disposte in quadrato sull'anima.

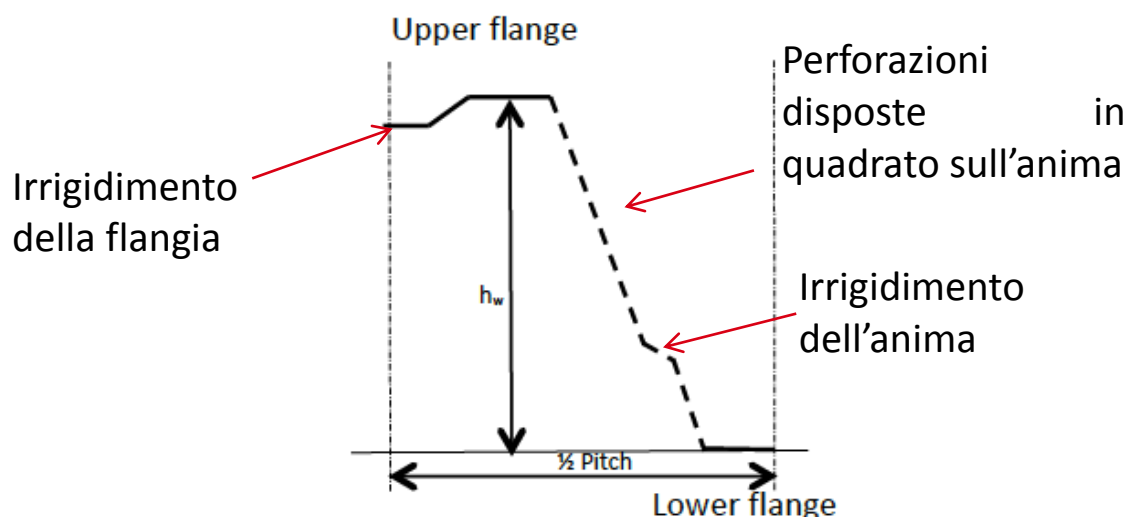


Figura 8.1. – Lamiera in acciaio con un irrigidimento sulla flangia superiore, un irrigidimento sull'anima e con perforazioni disposte in quadrato sull'anima

8.1. Dati

In tutte le celle evidenziate in rosso devono essere inserite le dimensioni del profilo (Figure 8.1.1 e 8.1.2): raggio di piegatura interno R , angoli θ , angolo dell'anima rispetto alle flange ϕ , spessore di progetto t , spessore nominale t_{nom} , passo, altezza dell'anima h_w , altezza della parte dell'anima sopra l'irrigidimento h_a , altezza dell'irrigidimento dell'anima h_{sa} , altezza dell'irrigidimento della flangia d_s , tensione di snervamento f_{yb} , modulo di Young E , diametro dei fori d ; interasse tra i centri dei fori a , altezza inclinata della porzione perforata dell'anima s_{per} :

$R1$ (mm)	θ_1 (rad)	$R2_{sup}$ (mm)	$R2_{inf}$ (mm)	θ_2 (rad)	$R3$ (mm)	θ_3 (rad)	ϕ (rad)
t_{nom} (mm)	t (mm)	Pitch (mm)	h_w (mm)	h_a (mm)	h_{sa} (mm)	d_s (mm)	
f_{yb} (N/mm ²)	E (N/mm ²)	γ_{M0}	a (mm)	d (mm)	s_{per} (mm)		

Tabella 8.1.1 – Celle Excel da compilare con le dimensioni del profilo

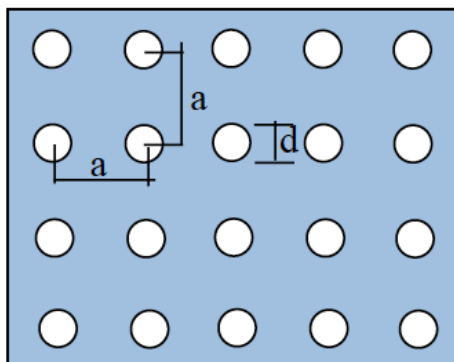


Figura 8.1.1 – Schema di perforazione

Le celle evidenziate in rosso della seguente tabella devono essere riempite con le dimensioni (b_{pi}) di tutti gli elementi di metà del passo. La numerazione degli elementi è riportata in Figura 8.1.2. La lunghezza degli elementi è misurata dai punti medi «P» degli elementi d'angolo adiacenti, come indicato nella figura 8.1.3.

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

Tabella 8.1.2 – Celle Excel da compilare con le dimensioni degli elementi

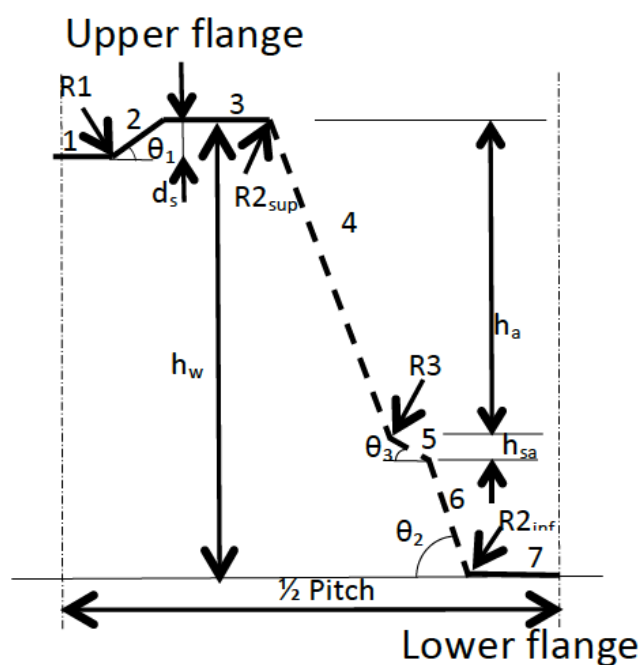


Figura 8.1.2 – Dati e numerazione degli elementi

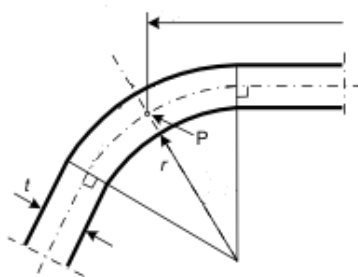


Figura 8.1.3 – Lunghezza degli elementi misurata dai punti medi « P »

8.2. Controllo delle proporzioni geometriche

La cella evidenziata in rosso della tabella seguente deve essere compilata con le dimensioni (b).

Il software visualizza automaticamente il controllo delle proporzioni geometriche.

				$b/t \leq 500$
	$b =$			
	$b/t =$			
	$\theta_2 =$			
	$h/t =$			
	$500 \sin(\theta_2) =$			
$r <$	$0,04 t E / f_y$			$45^\circ \leq \phi \leq 90^\circ$ $h/t \leq 500 \sin \phi$

Tabella 8.2.1 – Controllo automatico delle proporzioni geometriche

8.3. Risultati

Il software visualizza automaticamente i risultati:

⇒ Momento resistente in campata

$M_{span} =$ xxx kNm/m

⇒ Reazioni all'appoggio di estremità

$R_{endsupport} =$ xxx kN/m

9. ESEMPIO DI PROGETTAZIONE

Questo esempio mostra come trattare i profili in acciaio con perforazioni disposte in quadrato sulle anime, quando si vuole determinare la capacità a flessione e la resistenza al danneggiamento dell'anima di un elemento avente un irrigidimento sulla flangia superiore ed un irrigidimento sull'anima.

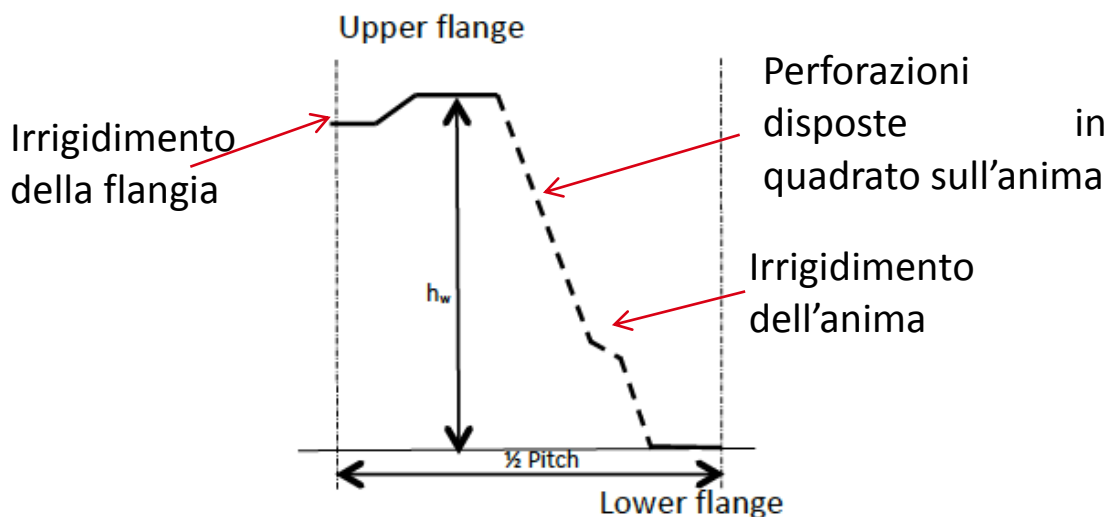


Figura 9.1 - Lamiera in acciaio con un irrigidimento sulla flangia superiore, un irrigidimento sull'anima e con perforazioni disposte in quadrato sull'anima

9.1. Sezione trasversale della lamiera

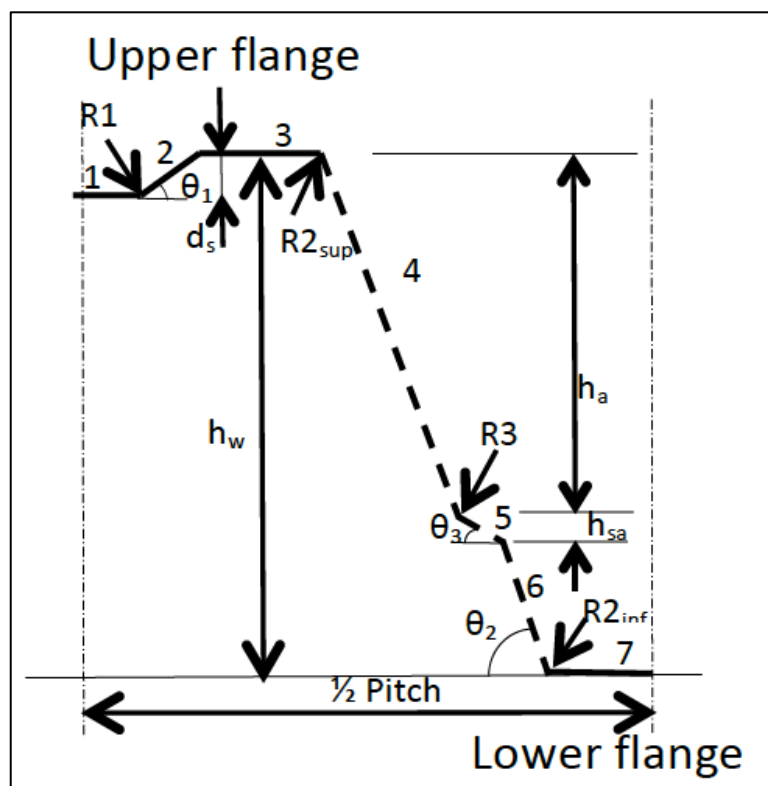


Figura 9.1.1 - Sezione trasversale della lamiera

9.1.1. Valori caratteristici della lamiera

L'esempio si basa sul calcolo del valore del momento resistente in campata di un profilo con le seguenti caratteristiche:

R1 (mm)	θ_1 (rad)	R2 _{sup} (mm)	R2 _{inf} (mm)	θ_2 (rad)	R3 (mm)	θ_3 (rad)	ϕ (rad)
0	0.22	6	6	1.31	3	0.99	1.27

t _{nom} (mm)	t (mm)	Pitch (mm)	h _w (mm)	h _a (mm)	h _{sa} (mm)	d _s (mm)
0.75	0.71	195	73	45	9	3

f _{yb} (N/mm ²)	E (N/mm ²)	γ_{M0}	a (mm)	d (mm)	s _{per} (mm)
320	210000	1	11.30	5.00	46.64

Tabella 9.1.1.1 – Dati della lamiera

Element	b _{pi} (mm)
1	0.00
2	15.30
3	47.50
4	45.44
5	10.34
6	18.52
7	12.00

Tabella 9.1.1.2 – Dimensioni degli elementi

9.1.2. Controllo delle proporzioni geometriche

b = 125; t = 0.71; h = 73; f_y = 320

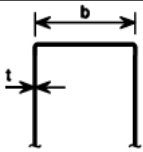
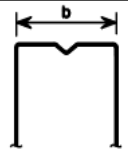
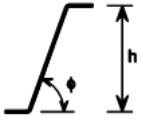
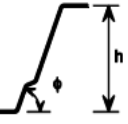
	b=	125.00			b/t ≤ 500
	b/t=	176.06			
	θ_2 =	75.00			
	h/t=	102.82			45° ≤ ϕ ≤ 90°
	500sin(θ2)=	482.96			
r <	0,04 t E / f _y	18.64			h/t ≤ 500 sinϕ

Tabella 9.1.2.1 – Controllo delle proporzioni geometriche

9.1.3. Dimensioni dei fori

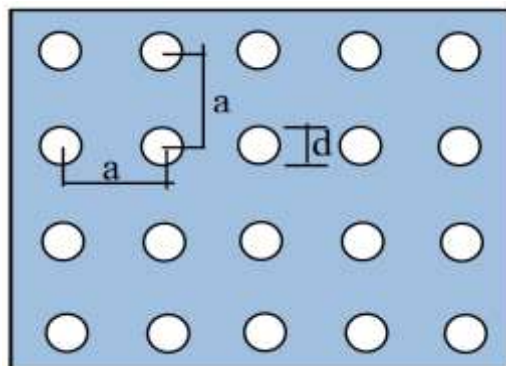


Figura 9.1.3.1 – Dimensioni dei fori

$$d/a = 0.4$$

Intervallo di validità controllato: $0.2 \leq d/a \leq 0.9$

9.2. Calcolo di A_g , area lorda della sezione

Le proprietà della sezione lorda sono calcolate utilizzando la Sezione 5.1 di EN 1993-1-3, sostituendo lo spessore dell'anima t con $t_{a,eff}$ ottenuto con:

$$t_{a,eff} = 1,09t \left(1 - \frac{1,03d}{a} \right)$$

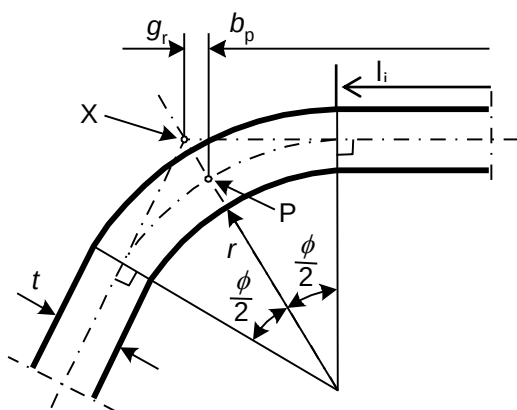
dove:

d è il diametro dei fori;

a è lo spazio tra i centri dei fori - interasse (Figura 9.1.3.1).

A_g è la somma delle aree di ogni elemento (lunghezza $\times$ t)

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



(a) punto medio dell'angolo o della piegatura

midpoint of corner or bend

X è l'intersezione delle linee medie

P è il punto medio dell'angolo

$$r_m = r + t/2$$

Figura 9.2.1 - Simbologia per l'ampiezza delle parti della sezione trasversale b_p considerando i raggi di curvatura

Element	l_i (mm)	A_i (mm ²)	z (mm)	S_i (mm ³)	$z0$ (mm)
1	0.0	0.0	70.0	0.00	-18.5
Corner 1 _{inf}	0.0	0.0	70.0	0.00	-18.5
2	15.3	10.9	71.5	776.56	-20.0
Corner 1 _{sup}	0.0	0.0	73.0	0.00	-21.5
3	43.8	31.1	73.0	2272.61	-21.5
Corner 2 _{sup}	7.9	5.6	71.4	398.30	-19.9
4	40.4	17.0	50.5	858.37	1.0
Corner 3 _{sup}	3.0	1.3	28.0	35.18	23.5
5	7.5	3.2	23.5	74.03	28.0
Corner 3 _{inf}	3.0	1.3	19.0	23.87	32.5
6	13.4	5.7	9.5	53.77	42.0
Corner 2 _{inf}	7.9	5.6	1.6	8.77	49.9
7	8.3	5.9	0.0	0.00	51.5
TOTAL		87.4		4501.5	51.5

Tabella 9.2.1 – Dimensioni degli elementi

$$A_g = 87.4 \text{ mm}^2$$

$$\text{Posizione dell'asse neutro: } z_G = S / A_g = 51.5 \text{ mm}$$

9.3. Calcolo dell'area efficace A_{eff} della sezione

Le proprietà della sezione efficace sono calcolate in accordo alla Sezione 5 di EN 1993-1-3, sostituendo lo spessore dell'anima t con $t_{b,eff}$ ottenuto come:

$$t_{b,eff} = t \sqrt[3]{1,18(1-d/a)}$$

dove:

d è il diametro dei fori;

a è lo spazio tra i centri dei fori – interasse (Figura 9.1.3.1).

A_{eff} è la somma delle aree efficaci di ogni elemento.

9.3.1. Step 1

Area efficace della flangia superiore

La flangia superiore presenta un irrigidimento. La sezione trasversale efficace della flangia si calcola in accordo a EN 1993-1-3 § "5.5.3.4.2 Flange con irrigidimenti intermedi".

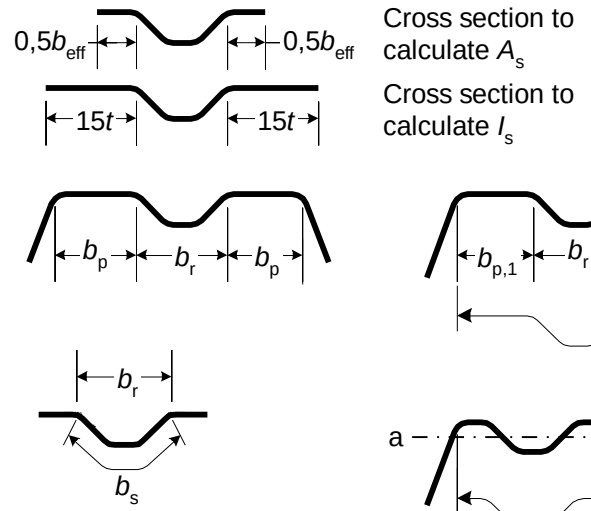


Figura 9.3.1.1 - Flangia con due irrigidimenti

La tensione nelle flangia superiore è pari a $\sigma_{com} = f_{yb} \times (h_w - z_G) / z_G = 134 \text{ N / mm}^2$

$b_p = 47.5 \text{ mm}$

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

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

$$\lambda_p = 1.374$$

$$\lambda_{pred} = \lambda_p \times \sqrt{\frac{\sigma_{com}}{f_y / \gamma_{M0}}} \rightarrow \lambda_{pred1} = 0.888$$

$$\lambda_{pred} > 0.673 \rightarrow \rho = \frac{1 - 0.055(3 + \psi) / \bar{\lambda}_{p,red}}{\bar{\lambda}_{p,red}} + 0.18 \frac{(\bar{\lambda}_p - \bar{\lambda}_{p,red})}{(\bar{\lambda}_p - 0.6)} \rightarrow \rho = 0.96$$

$$b_{eff} = \rho * b_p = 45.6 \rightarrow \boxed{0.5 b_{eff} = 22.8 \text{ m}}$$

Irrigidimento della flangia superiore:

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

Calcolo della tensione critica di instabilità $\sigma_{cr,s}$

$$\sigma_{cr,s} = \frac{4.2 k_w E}{A_s} \sqrt{\frac{I_s t^3}{4 b_p^2 (2 b_p + 3 b_s)}}$$

$$b_s = 30.6 \text{ mm}, b_p = 47.5 \text{ mm}$$

Calcolo di A_s

Element	l_i (mm)	A_i (mm ²)
plane part	22.81	16.19
Corner l_{sup}	0.00	0.00
2	15.30	10.86
Corner l_{inf}	0.00	0.00
1	0.00	0.00
Corner l_{inf}	0.00	0.00
2	15.30	10.86
Corner l_{sup}	0.00	0.00
plane part	22.81	16.19
TOTAL		54.1

Tabella 9.3.1.1 – Lunghezza ed area degli elementi

$$A_s = 54.1 \text{ mm}^2$$

Calcolo di I_s

Element	l_i (mm)	A_i (mm ²)	z (mm)	S_i (mm ³)	$z0$ (mm)	h	I_i (mm ⁴)
plane part	10.65	7.56	0.00	0.00	0.88	0.71	6.23
Corner l_{sup}	0.00	0.00	0.00	0.00	0.88	0.00	0.00
2	15.30	10.86	1.50	16.29	-0.62	3.30	13.95
Corner l_{inf}	0.00	0.00	3.00	0.00	-2.12	0.00	0.00
1	0.00	0.00	3.00	0.00	-2.12	0.71	0.00
Corner l_{inf}	0.00	0.00	3.00	0.00	-2.12	0.00	0.00
2	15.30	10.86	1.50	16.29	-0.62	3.30	13.95
Corner l_{sup}	0.00	0.00	0.00	0.00	0.88	0.00	0.00
plane part	10.65	7.56	0.00	0.00	0.88	0.71	6.23
TOTAL		36.8		32.6	0.88		40.4

Tabella 9.3.1.2 – dati degli elementi.

$$I_s = 40.4 \text{ mm}^4$$

$$I_b = 3,07 \sqrt[4]{\frac{I_s \cdot b_p^2 (2 b_p + 3 b_s)}{t^3}}$$

$$I_b = 254.9$$

$$s_w = 73.7$$

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

$$k_{w0} = \sqrt{\frac{s_w + 2 b_d}{s_w + 0,5 b_d}}$$

$$k_{w0} = 1.54$$

Tensione critica di instabilità $\sigma_{cr,s} = 74 \text{ N/mm}^2$

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

$$\bar{\lambda}_d = 1,77$$

$$\bar{\lambda}_d \geq 1,38 \rightarrow \chi_d = \frac{0,66}{\bar{\lambda}_d}$$

Fattore di riduzione per la resistenza ad instabilità distorsionale $\chi_d = 0,317$

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

$$\text{Spessore ridotto } t_{red} = 0.54 \text{ mm}$$

Area efficace dell'anima

9.3.2. L'area efficace dell'anima è calcolata in accordo con "5.5.3.4.3 Anime con un massimo di due irrigidimenti intermedi" of EN 1993-1-

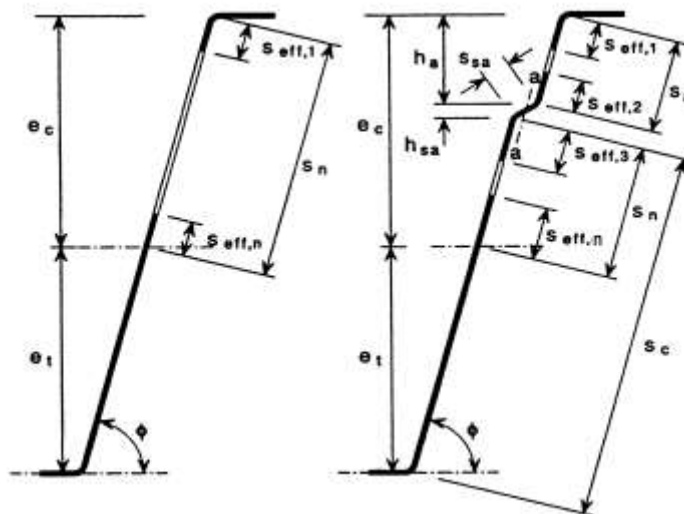


Figura 9.3.1.2 – Area efficace dell'anima

Poiché $z_g = 51.5 \text{ mm}$ e $h_a = 45 \text{ mm}$, l'irrigidimento dell'anima è al di sotto dell'asse neutro, quindi l'irrigidimento stesso non è soggetto a compressione e la larghezza effettiva dell'anima viene calcolata come quella di un'anima senza irrigidimenti.

$$e_c = h_w - z_g = 21,5 \text{ mm} \rightarrow s_n = 21,3 \text{ mm}$$

$$\sigma_{com} = f_{yb} \times (h_w - z_g) / z_g = 134 \text{ N / mm}^2$$

Proprietà della sezione efficace definite in modo iterativo →

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

$$\rightarrow s_{eff,0} = 22,0 \text{ mm}$$

$$s_{\text{eff},1} = s_{\text{eff},0} \rightarrow s_{\text{eff},1} = 22.0 \text{ mm}$$

$$s_{\text{eff},n} = 1.5 s_{\text{eff},0} \rightarrow s_{\text{eff},n} = 33.0 \text{ mm} \rightarrow s_{\text{eff},1} + s_{\text{eff},n} \geq s_n \text{ l'intera anima è efficace}$$

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

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

Area efficace della flangia inferiore

In questo caso la flangia inferiore è soggetta a trazione $\rightarrow$ tutta la larghezza è efficace

Area totale efficace

Calcolo di A_{eff}

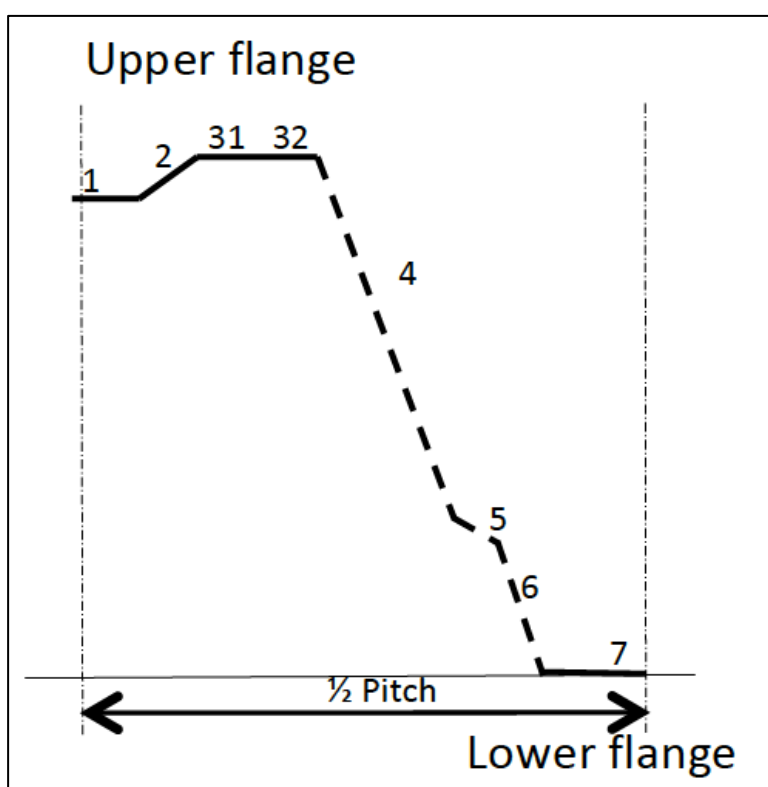


Figura 9.3.1.3 – Numerazione degli elementi

Element	l_i (mm)	t_{eff} (mm)	A_i (mm ²)	z (mm)	S_i (mm ³)	$z0$ (mm)
1	0.0	0.54	0.00	70.00	0.00	-21.94
Corner 1 _{inf}	0.0	0.54	0.00	70.00	0.00	-21.94
2	15.3	0.54	8.24	71.50	589.16	-23.44
Corner 1 _{sup}	0.0	0.54	0.00	73.00	0.00	-24.94
31	23.8	0.54	12.79	73.00	933.91	-24.94
32	19.2	0.71	13.60	73.00	992.85	-24.94
Corner 2 _{sup}	7.9	0.71	5.58	71.43	398.30	-23.36
4	40.4	0.58	23.53	50.50	1188.30	-2.44
Corner 3 _{sup}	3.0	0.58	1.74	28.00	48.70	20.06
5	7.5	0.58	4.36	23.50	102.48	24.56
Corner 3 _{inf}	3.0	0.58	1.74	19.00	33.05	29.06
6	13.4	0.58	7.84	9.50	74.44	38.56
Corner 2 _{inf}	7.9	0.71	5.58	1.57	8.77	46.49
7	8.3	0.71	5.93	0.00	0.00	48.06
TOTAL			90.9		4370.0	48.1

Tabella 9.3.1.3 – Lunghezze e aree degli elementi

$$A_{eff} = 90.9 \text{ mm}^2$$

Posizione dell'asse neutro della sezione efficace: $z_G = 48.1 \text{ mm}$

9.3.3. Iterazione: step successivo

Nello step successivo la nuova posizione dell'asse neutro della sezione efficace è assunta per calcolare la nuova σ_{com} .

L'area efficace della flangia superiore è calcolata come nello step 1 prendendo σ_{com} calcolata con la nuova posizione dell'asse neutro z_c .

L'area efficace dell'anima è calcolata come nello step 1 ma è assunta la nuova posizione dell'asse neutro della sezione efficace per calcolare la nuova σ_{com} .

Area efficace della flangia inferiore

In questo caso la flangia inferiore è soggetta a trazione → tutta la larghezza è efficace

Tutti i valori degli step 2, 3 e 4 sono indicati nella seguente tabella. La convergenza è considerata soddisfacente allo step 4, l'iterazione si ferma quindi al quarto step.

		2nd step	3rd step	4th step
Upper flange	σ_{com}	166	177	179
	ρ	0.875	0.851	0.844
	$0,5 b_{1,eff}$	20.78	20.20	20.05
Upper flange stiffener	$\sigma_{cr,s}$	77.75	79.02	79.35
	χ_{ϕ}	0.33	0.33	0.33
	t_{red}	0.45	0.42	0.42
Web	e_c	24.9	26.0	26.2
	s_n	24.9	25.9	26.2
	$s_{eff,0}$	19.7	19.1	19.0
	$s_{eff,1}$	19.7	19.1	19.0
	$s_{eff,n}$	29.6	28.7	28.4
	$s_{eff,1} + s_{eff,n}$	49.3	47.8	47.4
		entire web is effective	entire web is effective	entire web is effective
	$s_{eff,1}$	0,4sn	0,4sn	0,4sn
	$s_{eff,n}$	0,6sn	0,6sn	0,6sn
Total effective Area	A_{eff}	87.3	86.4	86.1
Position of neutral axis	z_c	47.0	46.8	46.7

Tabella 9.3.2.1 – Valori agli step 2, 3 e 4

9.4. Calcolo del momento resistente in campata

Il momento resistente in campata è calcolato con i dati allo step 4

Element	l_i (mm)	t_{eff} (mm)	A_i (mm ²)	z (mm)	S_x (mm ³)	$z0$ (mm)	h	I_i (mm ⁴)
1	0.0	0.42	0.0	70.00	0.00	-23.29	0.71	0.00
Corner 1 _{inf}	0.0	0.42	0.0	70.00	0.00	-23.29	0.00	0.00
2	15.3	0.42	6.4	71.50	455.37	-24.79	3.30	3918.40
Corner 1 _{sup}	0.0	0.42	0.0	73.00	0.00	-26.29	0.00	0.00
31	23.8	0.42	9.9	73.00	721.84	-26.29	0.71	6832.62
32	19.2	0.71	13.6	73.00	992.85	-26.29	0.71	9397.89
Corner 2 _{sup}	7.9	0.71	5.6	71.43	398.30	-24.71	0.00	3405.73
4	40.4	0.58	23.5	50.50	1188.30	-3.79	38.98	3316.80
Corner 3 _{sup}	3.0	0.58	1.7	28.00	48.70	18.71	0.00	609.15
5	7.5	0.58	4.4	23.50	102.48	23.21	6.27	2364.40
Corner 3 _{inf}	3.0	0.58	1.7	19.00	33.05	27.71	0.00	1335.93
6	13.4	0.58	7.8	9.50	74.44	37.21	12.98	10961.71
Corner 2 _{inf}	7.9	0.71	5.6	1.57	8.77	45.14	0.00	11363.27
7	8.3	0.71	5.9	0.00	0.00	46.71	0.71	12933.53
TOTAL			86.1		4024.1	46.7		66439.4

Tabella 9.4.1 – Dati allo step 4

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

Per ½ passo $I_{eff} = 66439 \text{ mm}^4$

Per il profilo $I_{eff} = 681 \text{ mm}^3$

$$v = \max(46,7; 26,3) = 46,7 \text{ mm}$$

$$W_{\text{eff}} = I_{\text{eff}} / v = 14.6 \text{ mm}^3$$

$$M_{\text{span}} = 4,7 \text{ kNm/m}$$

9.5. Calcolo della reazione all'appoggio di estremità

La resistenza trasversale locale dell'anima di una lamiera con perforazioni disposte a quadrato sull'anima è calcolata in accordo alla formula (6.18) di EN 1993-1-3

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

$$t_{c,\text{eff}} = t \left[1 - (d/a)^2 s_{\text{per}} / s_w \right]^{3/2}$$

sostituendo t con $t_{c,\text{eff}}$ ottenuto con:

Dove: s_{per} l'altezza inclinata della porzione perforata dell'anima;

s_w l'altezza inclinata totale dell'anima.

In questo caso la reazione all'appoggio presenta $c \leq 1,5 h_w$ e quindi risulta di Categoria 1.

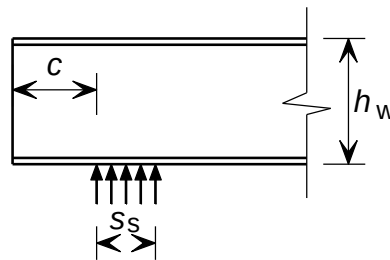


Figura 9.5.1 - Reazione all'appoggio con $c \leq 1,5 h_w$: Categoria 1

Per la Categoria 1 nelle lamiere $\alpha = 0,075$ e $l_a = 10\text{mm}$

Poiché è irrigidito la resistenza è moltiplicata per un fattore $\kappa_{a,s}$ dato da:

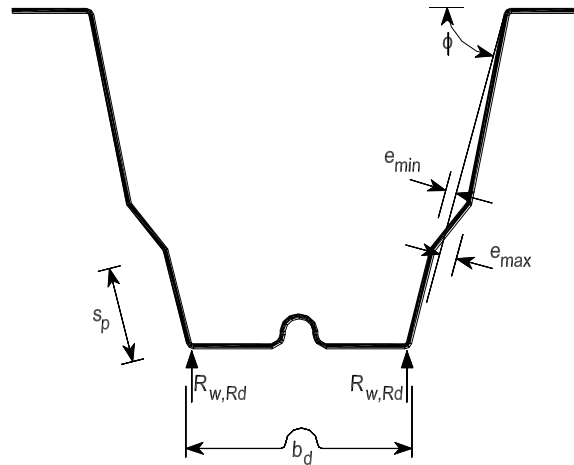
$$\kappa_{a,s} = 1,45 - 0,05 e_{\text{max}} / t \quad \text{ma} \quad \kappa_{a,s} \leq 0,95 + 35\,000 t^2 e_{\text{min}} / (b_d^2 s_p)$$

dove:

b_d è la larghezza sviluppata della flangia caricata (9.5.2);

e_{min} è l'eccentricità minore della piegatura rispetto all'allineamento dell'anima

s_p è l'altezza inclinata dell'elemento del piano dell'anima più vicino alla flangia caricata

**Figura 9.5.2 – Anime irrigidite**

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

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

$$\phi = 72$$

$$e_{\min} = 0.804 \text{ mm}$$

$$b_d = 24$$

$$\kappa_{a,s} = 1.278$$

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

$$\text{Passo} = 195$$

$$\text{Per metro: } \boxed{R_{w,Rd} = 6,5 \text{ kN/m}}$$

10. AUTO-CONTROLLO DEL SOFTWARE

L'auto controllo è basato sull'esempio precedente.

10.1. Calcolo del momento resistente in campata:

Il momento resistente in campata calcolato nell'esempio precedente è:

$$\boxed{M_{\text{span}} = 4.7 \text{ kNm/m}}$$

Il risultato del software è

$$\boxed{M_{\text{span}} = 4.7 \text{ kNm/m}}$$

I risultati coincidono

10.2. Calcolo della resistenza all'appoggio:

La resistenza all'appoggio calcolata nell'esempio precedente è $R_{w,Rd} = 6.5 \text{ kN/m}$

Il risultato del software è

$$R_{\text{endsupport}} = 6.5 \text{ kN/m}$$

I risultati coincidono

11. BIBLIOGRAFIA

[1] Baik S.C, Han H.N, Lee S.H, Oh K.H, Lee D.N, Plastic behaviour of perforated sheets under biaxial stress state, LNT J. Mech. Sc., vol39, No7, pp781-793, 1997.

[2] Misiek T. and Saal H. Load bearing capacity of perforated trapezoidal sheeting, stability and ductility of steel structure, Rio de Janeiro, Brazil, Sept. 2010.

[3] Kathage K., Misiek T., Saal H., Stiffness and critical buckling load of perforated sheeting, Thin-Walled Structures, 44, 2006.

[4] Lee Y.C., Chen F.K., Yield criterion for a perforated sheet with a uniform triangular pattern of round holes and a low ligament ratio, NTU Publ., Febr. 1999.

[5] Degtyarev V.V, Degtyareva N.V., Eleastic stability of uniformly compressed plates perforated in triangular pattern, Thin-Walled Structures, 52, 2012,

Allegato 1

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

D3.1	GRISPE WP3 Background document	Anna PALISSON (Sokol Palisson Consultants)
D3.2	GRISPE WP3 Test programme definition	Anna PALISSON (Sokol Palisson Consultants)
D3.3	GRISPE Test report	Christian FAUTH (KIT)
D3.4	GRISPE WP3 Test analysis and interpretation	Anna PALISSON (Sokol Palisson Consultants)
D3.5	GRISPE WP3 Background guidance for EN 1993-1-3 to design of sheeting with perforations or with a hole	Anna PALISSON (Sokol Palisson Consultants)