



COMUNE DI CALOLZIOCORTE

Provincia di Lecco

**PROGETTO PER LA REALIZZAZIONE DI PISTA CICLOPEDONALE
IN VIA FABBRICONE/VIALE ALCIDE DE GASPERI**

PROGETTO DEFINITIVO-ESECUTIVO

RELAZIONE DI CALCOLO PASSERELLA IN ACCIAIO

GENNAIO 2020

Progettista: Ing. Piergiorgio Locatelli



1 - DESCRIZIONE GENERALE DELL'OPERA

Oggetto della relazione è la formazione di una piccola porzione di passerella in acciaio all'interno del progetto denominato "Formazione di nuova pista ciclo-pedonale nel comune di Calolziocorte tra la via al Fabbricone e viale A. De Gasperi". La nuova struttura è costituita da una trave principale HEB160 fissata tramite piastre e tasselli alle pareti in c.a. esistenti; al di sopra di tale profilo vi appoggiano tre travi HEA120 vincolate da un latro alle murature in c.a. e dall'altro a sbalzo. A chiusura della struttura è stato inserito un cosciale UPN120. L'opera è completata con il sovrastante assito in doghe di legno marino.

2 - NORMATIVA DI RIFERIMENTO

Le fasi di analisi e verifica della struttura sono state condotte in accordo alle seguenti disposizioni normative, per quanto applicabili in relazione al criterio di calcolo adottato dal progettista, evidenziato nel prosieguo della presente relazione:

Legge 5 novembre 1971 n. 1086 (G. U. 21 dicembre 1971 n. 321)

"Norme per la disciplina delle opere di conglomerato cementizio armato, normale e precompresso ed a struttura metallica".

Legge 2 febbraio 1974 n. 64 (G. U. 21 marzo 1974 n. 76)

"Provvedimenti per le costruzioni con particolari prescrizioni per le zone sismiche".

Indicazioni progettive per le nuove costruzioni in zone sismiche a cura del Ministero per la Ricerca scientifica - Roma 1981.

D. M. Infrastrutture Trasporti 17 gennaio 2018 (G.U. 20 febbraio 2018 n. 42 - Suppl. Ord.)

"Norme tecniche per le Costruzioni".

Inoltre, in mancanza di specifiche indicazioni, ad integrazione della norma precedente e per quanto con esse non in contrasto, sono state utilizzate le indicazioni contenute nella:

Circolare 21 gennaio 2019 n. 7 del Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti (G.U. 11 febbraio 2019 n. 35 – Suppl. Ord.)

"Istruzioni per l'applicazione delle 'Norme Tecniche delle Costruzioni' di cui al D.M. 17 gennaio 2018".

Eurocodice 3 - *"Progettazione delle strutture in acciaio"* - ENV 1993-1-1.

3 - MATERIALI IMPIEGATI E RESISTENZE DI CALCOLO

Per la realizzazione dell'opera in oggetto saranno impiegati i seguenti materiali:

ACCIAIO DA CARPENTERIA METALLICA

È previsto l'impiego di acciaio da carpenteria tipo S275, certificato e dotato di marcatura CE in conformità di quanto previsto nel DM 17/01/2018.

Modulo elastico $E_s = 210000 \text{ N/mm}^2$

Coefficiente di Poisson $\nu = 0,30$

Modulo elastico trasversale $G = 80769 \text{ N/mm}^2$

Coefficiente di espansione termica lineare $\alpha = 12 \cdot 10^{-6} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$

Resistenza di rottura del materiale $f_u = 430 \text{ N/mm}^2$ per $(t \leq 40 \text{ mm})$

Tensione caratteristica di snervamento $f_{yk} = 275 \text{ N/mm}^2$ per $(t \leq 40 \text{ mm})$

BULLONERIE

È previsto l'impiego di dadi e bulloni, certificato e dotato di marcatura CE in conformità di quanto previsto nel DM 17/01/2018.

Per quanto riguarda le unioni si considerano bulloni di classe 8.8 con le seguenti caratteristiche:

Tensione di snervamento $f_{yb} = 649 \text{ N/mm}^2$

Tensione di rottura $f_{ub} = 800 \text{ N/mm}^2$

Tutti i materiali impiegati dovranno essere comunque verificati con opportune prove di laboratorio secondo le prescrizioni della vigente Normativa.

4 - ANALISI DEI CARICHI

La valutazione dei carichi e dei sovraccarichi è stata effettuata in accordo con le disposizioni del **D.M. 17/01/2018**.

La valutazione dei carichi permanenti è effettuata sulle dimensioni definitive.

ANALISI CARICHI

N _{id}	T. C.	Descrizione del Carico	Tipologie di Carico	Peso Proprio		Permanente NON Strutturale		Sovraccarico Accidentale		Carico Neve
				Descrizione	PP	Descrizione	PNS	Descrizione	SA	
001	S	Passerella in legno	Ambienti suscettibili di affollamento	Solaio in legno a semplice orditura	800			Scale comuni, balconi e ballatoi (Cat. C – Tab. 3.1.II - DM 17.01.2018)	4000	0

LEGENDA:

N_{id} Numero identificativo dell'analisi di carico.

T. C. Identificativo del tipo di carico: [S] = Superficiale - [L] = Lineare - [C] = Concentrato.

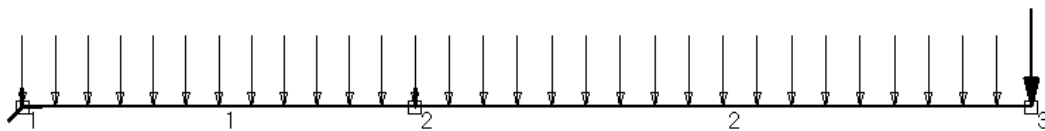
PP, PNS, SA Valori, rispettivamente, del Peso Proprio, del Sovraccarico Permanente NON strutturale, del Sovraccarico Accidentale. Secondo il tipo di carico indicato nella colonna "T.C." ("S" - "L" - "C"), i valori riportati nelle colonne "PP", "PNS" e "SA", sono espressi in [N/m²] per carichi Superficiali, [N/m] per carichi Lineari, [N] per carichi Concentrati.

5 - TRAVI SECONDARIE

Le 3 travi secondarie sono a sostegno dell'assito in legno, realizzate con profili HEA 120. Vengono analizzate separatamente le due tipologie: 1) Trave laterale; 2) Trave centrale.

5.1 - TRAVE SECONDARIA LATERALE

Le 2 travi secondarie laterali sono costituite da uno schema statico di trave a 2 campate con un'estremità a sbalzo; presentano una luce di calcolo di 0,70 m la prima campata e di 1,10 m lo sbalzo. In testa allo sbalzo è presente un carico concentrato dovuto alla struttura del parapetto.



Di seguito si riportano le caratteristiche geometriche e di resistenza del profilo HEA120 e i carichi a cui è sottoposto:

Carico distribuito permanente $q_p = 0,80 \times \text{larghezza infl.} = 0,85 \text{ kN/m}$
 Carico distribuito variabile $q_v = 4,00 \times \text{larghezza infl.} = 4,20 \text{ kN/m}$

Carico concentrato permanente $F_p = 0,90 \text{ kN}$
 Carico concentrato variabile $F_v = 3,00 \text{ kN}$

File Tipo Profilo Collegamenti Giunto Flangiato AcciaioClis Normativa: NTC ?

☐ IPE ☐ IPN ☐ HEAA ☐ HL ☐ Ordina per ☐ Wy ☐ ly ☐ g

☒ HEA ☐ IPEA ☐ HEX ☐ UB

☐ HEB ☐ IPEO ☐ HD ☐ UC

☐ HEM ☐ IPEX ☐ HP ☐ W

Acciaio: S275 (Fe430) f_y (N/mm²): 275 f_u : 430

Lunghezze di libera inflessione [m]: l_{0y} : 0 l_{0z} : 0

N_{Sd} [kN]: 0

Aggiorna Tabella

designation	g (Kg/m)	h (mm)	b (mm)	tw (mm)	tf (mm)	r1 (mm)
HE 100 A	16,7	96	100	5,00	8,00	12,00
HE 120 A	19,9	114	120	5,00	8,00	12,00
HE 140 A	24,7	133	140	5,50	8,50	12,00
HE 160 A	30,4	152	160	6,00	9,00	15,00
HE 180 A	36,0	171	180	6,00	9,50	15,00
HE 200 A	42,3	190	200	6,50	10,00	18,00
HE 220 A	50,5	210	220	7,00	11,00	18,00

Plotta

HE 120 A

$N_{by,Rd}$ [kN]: 663,7 $M_{cy,Rd}$ [kNm]: 31,30

$N_{bz,Rd}$ [kN]: 663,7 $M_{cz,Rd}$ [kNm]: 15,41

$V_{ply,Rd}$ [kN]: 127,9 $V_{plz,Rd}$ [kN]: 290,3

g (Kg/m): 19,9 r_2 (mm): 0

h (mm): 114 A (cm²): 25,34 i_y (cm): 4,89 i_z (cm): 3,02

b (mm): 120 I_y (cm⁴): 606,2 I_z (cm⁴): 230,9 I_T (cm⁴): 5,99

tw (mm): 5 W_y (cm³): 106,3 W_z (cm³): 38,48 I_w (cm⁶): 6,470

tf (mm): 8 W_{ply} (cm³): 119,5 W_{plz} (cm³): 58,85

r1 (mm): 12 W_{plz} (cm³): 58,85

Classe Sezione

Compressione: 1

Flessione My: 1

Flessione Mz: 1

Presso-Flessione: 1

Verifiche

Presso-Flessione

Svergolamento

Classificazione - EC3 #5.5.2

HE 120 A Acciaio: S275 (Fe430) f_y (N/mm²): 275

$\epsilon = \sqrt{\frac{235}{275}} = 0,924$

AL

$\frac{c}{t_f \epsilon} = \frac{60}{8 \times 0,92} = 8,11$

FLESSIONE Mz: $0 < \frac{c}{t_f \epsilon} \leq 10$ Classe 1

COMPRESSIONE: $0 < \frac{c}{t_w \epsilon} \leq 10$ Classe 1

ANIMA

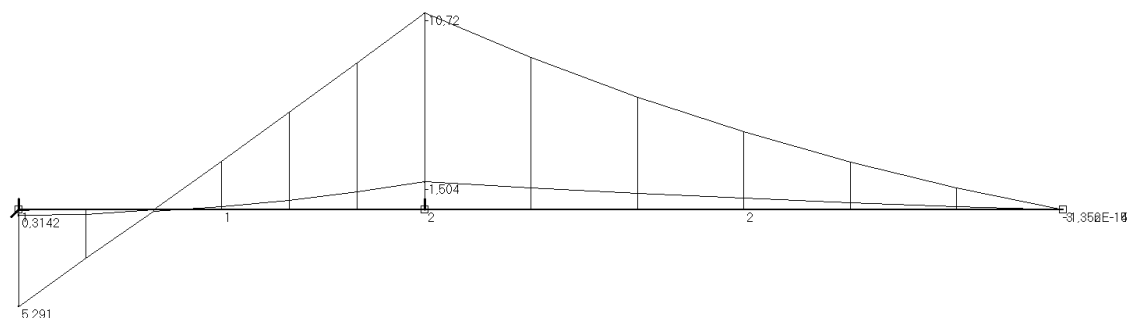
$\frac{d}{t_w \epsilon} = \frac{74,0}{5 \times 0,92} = 16,01$

FLESSIONE My: $0 < \frac{d}{t_w \epsilon} \leq 72$ Classe 1

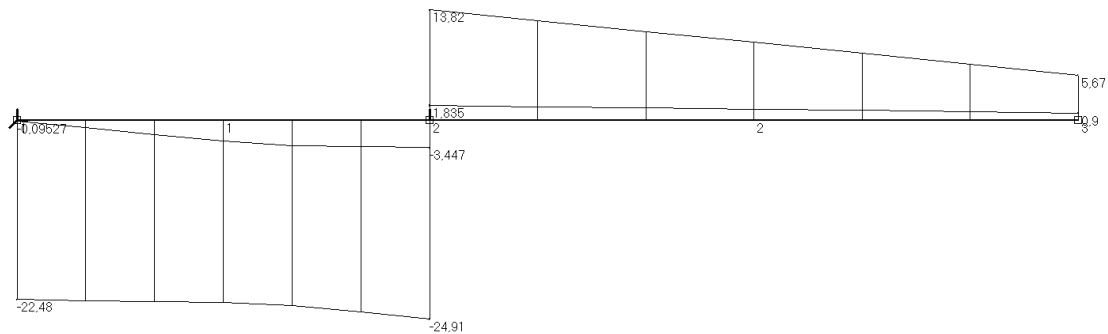
COMPRESSIONE: $0 < \frac{d}{t_w \epsilon} \leq 33$ Classe 1

Classe Presso-Flessione: 1

SOLLECITAZIONE FLESSIONALE (SLU)



SOLLECITAZIONE TAGLIANTE (SLU)



VERIFICA A FLESSIONE SLU

Il valore di calcolo dell'azione flettente M_{Ed} deve rispettare la seguente condizione (NTC2018 §4.2.11)

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

Come indicato il profilo HEA 120 (S275) a flessione è un profilo di classe 1 e quindi avrà un momento resistente

$$M_{c,Rd} = M_{pl,Rd} = (119,5 \times 10^3 \times 275) / 1,05 = 31,29 \text{ kNm.}$$

$$M_{c,Rd} = \frac{W_{pl} \times f_{yk}}{\gamma_{M0}}$$

La trave è soggetta ad un momento flettente $M_{Ed} = 10,80 \text{ kNm}$ e quindi la verifica è soddisfatta infatti:

$$\eta = \frac{M_{Ed}}{M_{c,Rd}} = 0,35 \leq 1$$

Verifica a flessione ampiamente soddisfatta.

VERIFICA A TAGLIO SLU

Il valore di calcolo dell'azione tagliante V_{Ed} deve rispettare la seguente condizione (NTC2008 §4.2.16)

$$\frac{V_{Ed}}{V_{c,Rd}} \leq 1$$

Dove la resistenza di calcolo a taglio $V_{c,Rd}$, in assenza di torsione, vale

$$V_{c,Rd} = \frac{A_v \cdot f_{yk}}{\sqrt{3} \cdot \gamma_{M0}}$$

con A_v detta area resistente a taglio che per profilati ad I caricati nel piano dell'anima assume il valore di

$$A_v = A - 2bt_f + (t_w + 2r)t_f$$

dove $A_v = 8,46 \text{ cm}^2$ con quindi una resistenza a taglio di

$$V_{c,Rd} = (8,46 \times 10^2 \times 275) / (\sqrt{3} \times 1,05) = 127,92 \text{ kN.}$$

La trave è soggetta ad un'azione tagliante $V_{Ed} = 25 \text{ kN}$ e quindi la verifica è soddisfatta infatti:

$$\eta = \frac{V_{Ed}}{V_{c,Rd}} = 0,20 \leq 1$$

Verifica a taglio ampiamente soddisfatta.

VERIFICA A TAGLIO-FLESSIONE SLU

Il taglio di calcolo V_{Ed} è inferiore al 50% della resistenza a taglio $V_{c,Rd}$ e quindi si può trascurare l'influenza del taglio sulla resistenza a flessione.

VERIFICA A INSTABILITA' FLESSO-TORSIONALE SLU

La sezione viene anche verificata a instabilità dovuta alla sollecitazione flessionale che induce uno svergolamento del profilo.

$$\frac{M_{Ed}}{M_{b,Rd}} \leq 1$$

dove $M_{b,Rd} = \chi_{LT} \cdot W_y \cdot \frac{f_{yk}}{\gamma_{M1}}$

Il profilo HEA 120, come detto sopra è in classe 1 e quindi $W_y = W_{pl} = 119,5 \text{ cm}^3$. Considerando la trave, nella condizione più sfavorevole, a mensola (parte di estremità) otteniamo un diagramma dei momenti tipico delle mensole a sbalzo che ci porta ad assumere $k = k_w = 1$ e quindi dal prospetto F1.2 dell'eurocodice otteniamo $C_1 = 1,563$, da cui:

$$M_{cr} = c_1 \frac{\pi^2 EI_z}{L^2} \left[\frac{I_w}{I_z} + \frac{L^2 GI_t}{\pi^2 EI_z} \right]^{0,5}$$

da cui si ottiene $M_{cr} = 135,60 \text{ kNm}$
e quindi avendo

$$\bar{\lambda}_{LT} = \left(\frac{\lambda_{LT}}{\lambda_1} \right) \cdot \beta_w^{0,5} = \sqrt{\frac{\pi^2 E W_{pl}}{M_{cr}}} \cdot \frac{f_y}{\pi^2 E} \cdot \beta_w^{0,5}$$

$$\phi_{LT} = 0,5 \cdot [1 + \alpha_{LT} \cdot (\bar{\lambda}_{LT} - 0,2) + \bar{\lambda}_{LT}^2]$$

dove $\alpha_{LT} = 0,21$ per sezioni laminate

$$\chi_{LT} = \frac{1}{\phi_{LT} + [\bar{\lambda}_{LT}^2 - \bar{\lambda}_{LT}^2]} \quad \text{e quindi} \quad M_{b,Rd} = \chi_{LT} \cdot \beta_w \cdot W_{pl} \cdot f_y / \gamma_{M1}$$

Resistenza della membratura all'instabilità flessio-torsionale - EC3 (edizione 1992) #5.5.2.

HE 120 A

Acciaio S275 (Fe430)

f_y (N/mm²) 275

z [mm] 0,0 L [m] 2,2 = l_{0z} [m]

Coefficienti C

? Momenti ? Carichi trasversali

C_1 1,563 C_2 0 C_3 0,525

Coefficienti di lunghezza efficace

k 1 k_w 1,0

Momento resistente di progetto all'instabilità flessio-torsionale (solo M_y) - EC3 #5.5.2.

M_{cr} [kNm] = 135,6 $M_{c,Rd}$ [kNm] = 31,30

$\bar{\lambda}_{LT} = \sqrt{\frac{M_{c,Rd} \gamma_{M0}}{M_{cr}}} = 0,492$ $\chi_{LT} = 0,927$ $M_{b,Rd}$ [kNm] = 29,00

Resistenza all'instabilità flessio torsionale (flessione e compressione)- Classe 1/2 - EC3 #5.5.4. (2)

N_{Sd} [kN] 0,0 $M_{y,Sd}$ [kNm] 10,8 $M_{z,Sd}$ [kNm] 0,0

$\frac{N_{Sd}}{N_{b,Rd}} + \frac{k_{LT} M_{y,Sd}}{M_{b,Rd}} + \frac{k_z M_{z,Sd}}{M_{cz,Rd1}} = \frac{0}{423,1} + \frac{1 \times 10,8}{29,00} + \frac{1 \times 0}{15,41}$

= 0 + 0,372 + 0 = 0,372

OK

si ottiene un $M_{b,Rd} = 29,0 \text{ kNm}$

$$\eta = \frac{M_{Ed}}{M_{b,Rd}} = 0,372 \leq 1$$

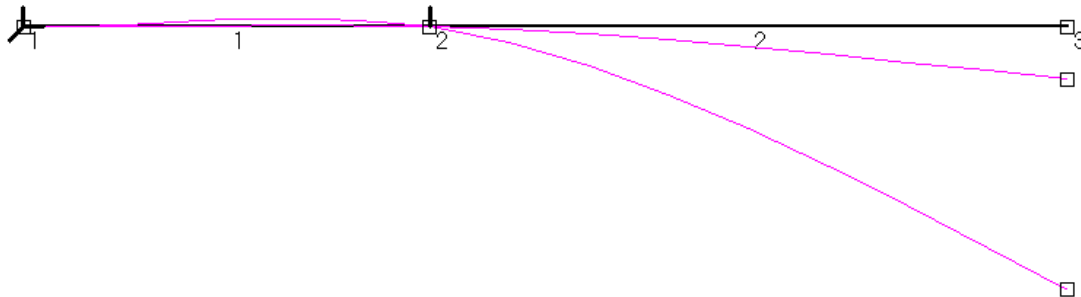
Verifica a instabilità ampiamente soddisfatta.

VERIFICA DI DEFORMABILITA' SLE

La verifica si considera soddisfatta se è rispettata la seguente relazione:

$$\frac{f_{\max}}{L} \leq \frac{1}{250}$$

con $f_{\max}$ = freccia massima allo stato finale, L lunghezza della trave ossia distanza tra i due appoggi in accordo con lo schema statico ipotizzato:



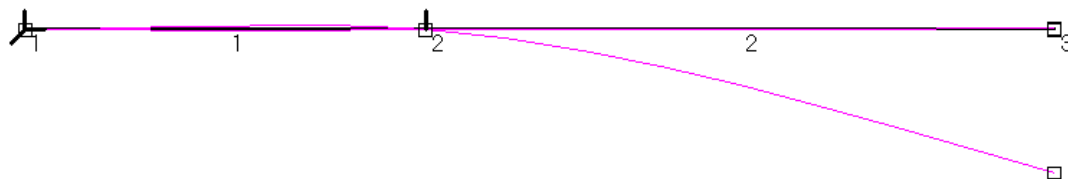
$f_{\max} = 0,0032 \text{ m}$ con $L = 1,10 \text{ m}$ che rappresenta una deformabilità pari a

$$\frac{L}{343} \ll \frac{L}{250}$$

La verifica si considera soddisfatta se è rispettata la seguente relazione:

$$\frac{f_2}{L} \leq \frac{1}{300}$$

con f_2 = freccia elastica dovuta ai carichi variabili, L lunghezza della trave ossia distanza tra i due appoggi in accordo con lo schema statico ipotizzato:



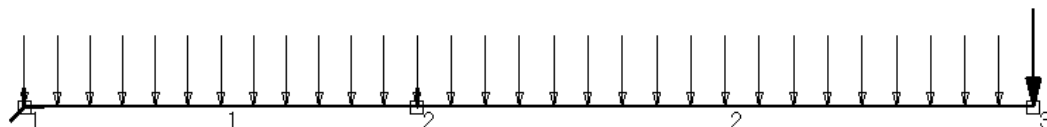
$f_2 = 0,0026$ m con $L = 1,10$ m che rappresenta una deformabilità pari a

$$\frac{L}{423} \ll \frac{L}{300}$$

Le verifiche sono ampiamente soddisfatte entrambe.

5.2 - TRAVE SECONDARIA CENTRALE

La trave secondaria centrale è costituita da uno schema statico di trave a 2 campate con un'estremità a sbalzo; presentano una luce di calcolo di 1,30 m la prima campata e di 1,20 m lo sbalzo. In testa allo sbalzo è presente un carico concentrato dovuto alla struttura del parapetto.



Di seguito si riportano le caratteristiche geometriche e di resistenza del profilo HEA120 e i carichi a cui è sottoposto:

Carico distribuito permanente

$$q_p = 0,80 \times \text{larghezza infl.} = 0,80 \text{ kN/m}$$

Carico distribuito variabile

$$q_v = 4,00 \times \text{larghezza infl.} = 3,80 \text{ kN/m}$$

Carico concentrato permanente

$$F_p = 0,30 \text{ kN}$$

Carico concentrato variabile

$$F_v = 2,00 \text{ kN}$$

File Tipo Profilo Collegamenti Giunto Flangiato AcciaioClis Normativa: NTC ?

☐ IPE ☐ IPN ☐ HEAA ☐ HL ☐ Ordina per ☐ Wy ☐ ly ☐ g

☒ HEA ☐ IPEA ☐ HEX ☐ UB

☐ HEB ☐ IPEO ☐ HD ☐ UC

☐ HEM ☐ IPEX ☐ HP ☐ W

Acciaio: S275 (Fe430) f_y (N/mm²) 275 f_u 430

Lunghezze di libera inflessione [m]: l_{0y} 0 l_{0z} 0

N_{Sd} [kN] 0

Aggiorna Tabella

designation	g (Kg/m)	h (mm)	b (mm)	tw (mm)	tf (mm)	r1 (mm)
HE 100 A	16,7	96	100	5,00	8,00	12,00
HE 120 A	19,9	114	120	5,00	8,00	12,00
HE 140 A	24,7	133	140	5,50	8,50	12,00
HE 160 A	30,4	152	160	6,00	9,00	15,00
HE 180 A	36,0	171	180	6,00	9,50	15,00
HE 200 A	42,3	190	200	6,50	10,00	18,00
HE 220 A	50,5	210	220	7,00	11,00	18,00

Plotta

HE 120 A

$N_{by,Rd}$ [kN] 663,7 $M_{cy,Rd}$ [kNm] 31,30

$N_{bz,Rd}$ [kN] 663,7 $M_{cz,Rd}$ [kNm] 15,41

$V_{ply,Rd}$ [kN] 127,9 $V_{plz,Rd}$ [kN] 290,3

g (Kg/m): 19,9 r_2 (mm): 0

h (mm): 114 A (cm²): 25,34 i_y (cm): 4,89 i_z (cm): 3,02

b (mm): 120 I_y (cm⁴): 606,2 I_z (cm⁴): 230,9 I_T (cm⁴): 5,99

tw (mm): 5 W_y (cm³): 106,3 W_z (cm³): 38,48 I_w (cm⁶): 6,470

tf (mm): 8 W_{ply} (cm³): 119,5 W_{plz} (cm³): 58,85

r1 (mm): 12

Classe Sezione

Compressione 1

Flessione My 1

Flessione Mz 1

Presso-Flessione 1

Verifiche

Presso

Flessione

Svergolamento

Classificazione - EC3 #5.5.2

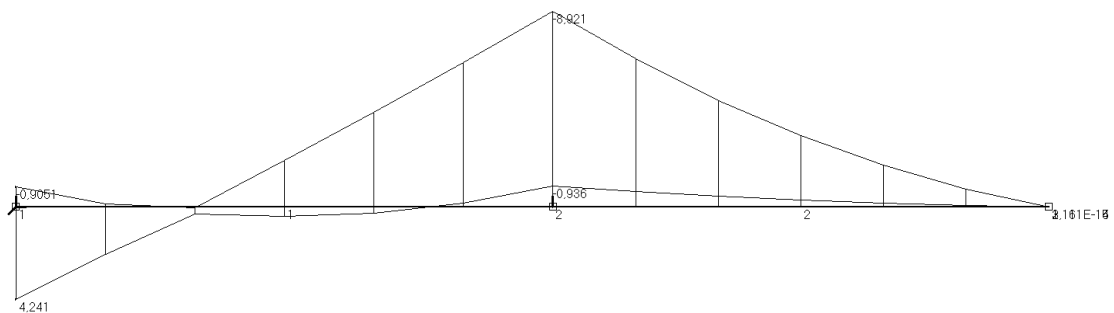
HE 120 A Acciaio S275 (Fe430) f_y (N/mm²) 275

$$\epsilon = \sqrt{\frac{235}{275}} = 0.924$$

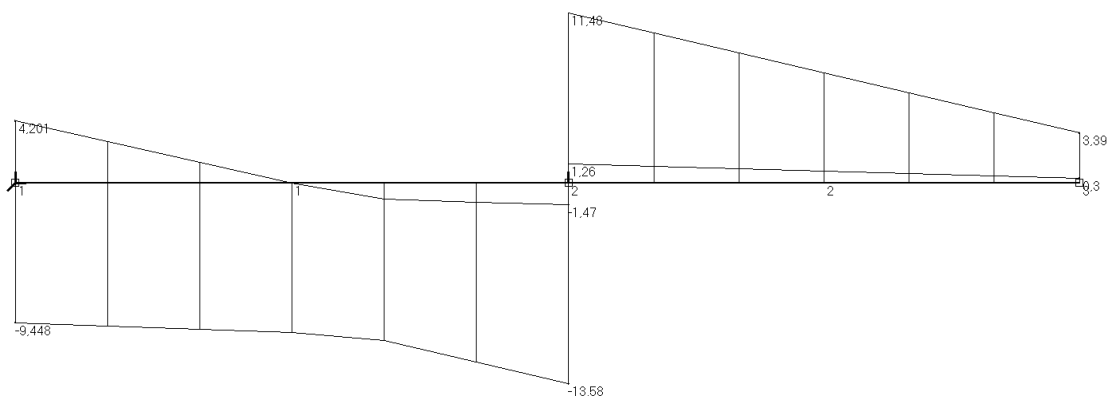
A L A	$\frac{c}{t_f \epsilon} = \frac{60}{8 \times 0.92} = 8.11$	
	FLESSIONE M_z $0 < \frac{c}{t_f \epsilon} \leq 10$ Classe 1	COMPRESSIONE $0 < \frac{c}{t_w \epsilon} \leq 10$ Classe 1
A N I M A	$\frac{d}{t_w \epsilon} = \frac{74.0}{5 \times 0.92} = 16.01$	
	FLESSIONE M_y $0 < \frac{d}{t_w \epsilon} \leq 72$ Classe 1	COMPRESSIONE $0 < \frac{d}{t_w \epsilon} \leq 33$ Classe 1

Classe Presso-Flessione 1 ?

SOLLECITAZIONE FLESSIONALE (SLU)



SOLLECITAZIONE TAGLIANTE (SLU)



VERIFICA A FLESSIONE SLU

Il valore di calcolo dell'azione flettente M_{Ed} deve rispettare la seguente condizione (NTC2018 §4.2.11)

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

Come indicato il profilo HEA 120 (S275) a flessione è un profilo di classe 1 e quindi avrà un momento resistente

$$M_{c,Rd} = M_{pl,Rd} = (119,5 \times 10^3 \times 275) / 1,05 = 31,29 \text{ kNm.}$$

$$M_{c,Rd} = \frac{W_{pl} \times f_{yk}}{\gamma_{M0}}$$

La trave è soggetta ad un momento flettente $M_{Ed} = 9,00$ kNm e quindi la verifica è soddisfatta infatti:

$$\eta = \frac{M_{Ed}}{M_{c,Rd}} = 0,29 \leq 1$$

Verifica a flessione ampiamente soddisfatta.

VERIFICA A TAGLIO SLU

Il valore di calcolo dell'azione tagliante V_{Ed} deve rispettare la seguente condizione (NTC2008 §4.2.16)

$$\frac{V_{Ed}}{V_{c,Rd}} \leq 1$$

Dove la resistenza di calcolo a taglio $V_{c,Rd}$, in assenza di torsione, vale

$$V_{c,Rd} = \frac{A_v \cdot f_{yk}}{\sqrt{3} \cdot \gamma_{M0}}$$

con A_v detta area resistente a taglio che per profilati ad I caricati nel piano dell'anima assume il valore di

$$A_v = A - 2bt_f + (t_w + 2r)t_f$$

dove $A_v = 8,46$ cm² con quindi una resistenza a taglio di

$$V_{c,Rd} = (8,46 \times 10^2 \times 275) / (\sqrt{3} \times 1,05) = 127,92 \text{ kN.}$$

La trave è soggetta ad un'azione tagliante $V_{Ed} = 14$ kN e quindi la verifica è soddisfatta infatti:

$$\eta = \frac{V_{Ed}}{V_{c,Rd}} = 0,11 \leq 1$$

Verifica a taglio ampiamente soddisfatta.

VERIFICA A TAGLIO-FLESSIONE SLU

Il taglio di calcolo V_{Ed} è inferiore al 50% della resistenza a taglio $V_{c,Rd}$ e quindi si può trascurare l'influenza del taglio sulla resistenza a flessione.

VERIFICA A INSTABILITA' FLESSO-TORSIONALE SLU

La sezione viene anche verificata a instabilità dovuta alla sollecitazione flessionale che induce uno svergolamento del profilo.

$$\frac{M_{Ed}}{M_{b,Rd}} \leq 1$$

dove
$$M_{b,Rd} = \chi_{LT} \cdot W_y \cdot \frac{f_{yk}}{\gamma_{M1}}$$

Il profilo HEA 120, come detto sopra è in classe 1 e quindi $W_y = W_{pl} = 119,5$ cm³

Considerando la trave, nella condizione più sfavorevole, a mensola (parte di estremità) otteniamo un diagramma dei momenti tipico delle mensole a sbalzo che ci porta ad assumere $k = k_w = 1$ e quindi dal prospetto F1.2 dell'eurocodice otteniamo $C_1 = 1,563$, da cui:

$$M_{cr} = c_1 \frac{\pi^2 EI_z}{L^2} \left[\frac{I_w}{I_z} + \frac{L^2 GI_t}{\pi^2 EI_z} \right]^{0,5}$$

da cui si ottiene $M_{cr} = 120,60$ kNm
e quindi avendo

$$\bar{\lambda}_{LT} = \left(\frac{\lambda_{LT}}{\lambda_1} \right) \cdot \beta_w^{0,5} = \sqrt{\frac{\pi^2 E W_{pl}}{M_{cr}} \cdot \frac{f_y}{\pi^2 E}} \cdot \beta_w^{0,5}$$

$$\phi_{LT} = 0,5 \cdot [1 + \alpha_{LT} \cdot (\bar{\lambda}_{LT} - 0,2) + \bar{\lambda}_{LT}^2]$$

dove $\alpha_{LT} = 0,21$ per sezioni laminate

$$\chi_{LT} = \frac{1}{\phi_{LT} + [\phi_{LT}^2 - \bar{\lambda}_{LT}^2]}$$

e quindi

$$M_{b,Rd} = \chi_{LT} \cdot \beta_w \cdot W_{pl} \cdot f_y / \gamma_{M1}$$

Resistenza della membratura all'instabilità flessio-torsionale - EC3 (edizione 1992) #5.5.2.

HE 120 A

Acciaio S275 (Fe430)

f_y (N/mm²) 275

z [mm] 0,0 L [m] 2,4 = l_{0z} [m]

Coefficienti C

? Momenti ? Carichi trasversali

C_1 1,563 C_2 0 C_3 1

Coefficienti di lunghezza efficace

k 1 k_w 1,0

Momento resistente di progetto all'instabilità flessio-torsionale (solo My) - EC3 #5.5.2.

M_{cr} [kNm] = 120,6 $M_{c,Rd}$ [kNm] = 31,30

$\bar{\lambda}_{LT} = \sqrt{\frac{M_{c,Rd} \gamma_{M0}}{M_{cr}}} = 0,522$ $\chi_{LT} = 0,917$ $M_{b,Rd}$ [kNm] = 28,71

Resistenza all'instabilità flessio torsionale (flessione e compressione)- Classe 1/2 - EC3 #5.5.4. (2)

N_{Sd} [kN] 0,0 $M_{y,Sd}$ [kNm] 9 $M_{z,Sd}$ [kNm] 0,0

$\frac{N_{Sd}}{N_{b,Rd}} + \frac{k_{LT} M_{y,Sd}}{M_{b,Rd}} + \frac{k_z M_{z,Sd}}{M_{cz,Rd1}} = \frac{0}{391,8} + \frac{1 \times 9}{28,71} + \frac{1 \times 0}{15,41}$

= 0 + 0,313 + 0 = 0,313

OK

si ottiene un $M_{b,Rd} = 28,71$ kNm

$$\eta = \frac{M_{Ed}}{M_{b,Rd}} = 0,313 \leq 1$$

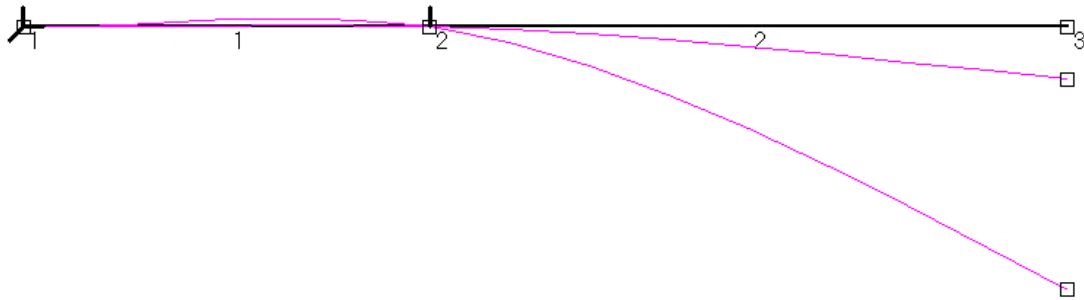
Verifica a instabilità ampiamente soddisfatta.

VERIFICA DI DEFORMABILITA' SLE

La verifica si considera soddisfatta se è rispettata la seguente relazione:

$$\frac{f_{\max}}{L} \leq \frac{1}{250}$$

con $f_{\max}$ = freccia massima allo stato finale, L lunghezza della trave ossia distanza tra i due appoggi in accordo con lo schema statico ipotizzato:



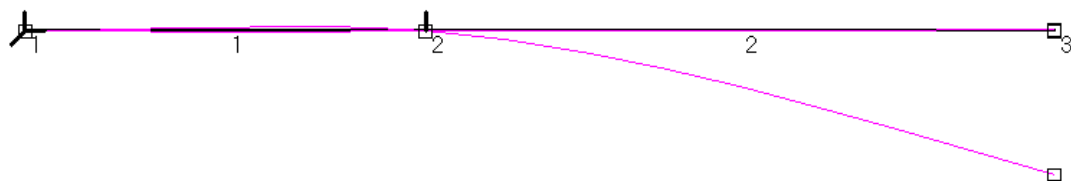
$f_{\max} = 0,0038$ m con $L = 1,20$ m che rappresenta una deformabilità pari a

$$\frac{L}{315} \ll \frac{L}{250}$$

La verifica si considera soddisfatta se è rispettata la seguente relazione:

$$\frac{f_2}{L} \leq \frac{1}{300}$$

con f_2 = freccia elastica dovuta ai carichi variabili, L lunghezza della trave ossia distanza tra i due appoggi in accordo con lo schema statico ipotizzato:



$f_2 = 0,0033$ m con $L = 1,20$ m che rappresenta una deformabilità pari a

$$\frac{L}{363} \ll \frac{L}{300}$$

Le verifiche sono ampiamente soddisfatte entrambe.

6 - TRAVE PRINCIPALE

Le travi principali sono a sostegno delle travi secondarie (HEA 120), realizzate con HEB 160, con luce di calcolo di 3,70 m.

Titolo: TRAVE PRINCIPALE-SLU

Vincoli:
☒ App. - App.
☐ Inc. - Inc.
☐ Inc. - App.
☐ Mensola
☐ Fondazione

N° Carichi dist. TRAPEZI 1 Zoom

N°	q1	q2	d1	d2
1	0,46	0,46	0	3,7

N° Carichi CONCENTRATI 3 Zoom

N°	F	d
1	40	1
2	25	0,85
3	40	0,85

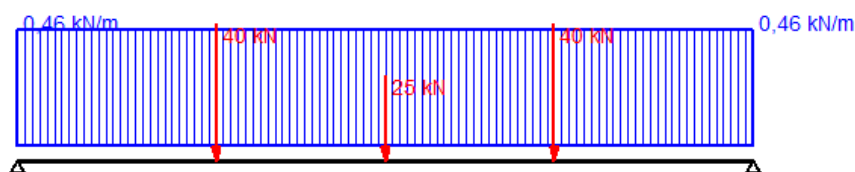
N° Coppie CONCENTRATE 0 Zoom

Risultati all'ascissa x
 x → M(x) V(x) f(x)
 0 → 0 53,35 0

Diagrammi
 Visualizza M V C Stampa

Calcola

Di seguito si riportano le caratteristiche geometriche e di resistenza del profilo HEB160 e i carichi a cui è sottoposto:



File **Tipo Profilo** **Collegamenti** **Giunto Flangiato** **AcciaioCis** **Normativa: NTC** ?

☐ IPE ☐ IPN ☐ HEAA ☐ HL ☐ Wy
☐ HEA ☐ IPEA ☐ HEX ☐ UB ☐ ly
☒ HEB ☐ IPEO ☐ HD ☐ UC ☐ g
☐ HEM ☐ IPEX ☐ HP ☐ W

Ordina per
☒ Wy
☐ ly
☐ g

Lunghezze di libera inflessione [m]
 l_{0y} 3,70 l_{0z} 3,70

Aggiorna Tabella

designation	g (Kg/m)	h (mm)	b (mm)	t _w (mm)	t _f (mm)	r ₁ (mm)
HE 100 B	20,4	100	100	6,00	10,00	12,00
HE 120 B	26,7	120	120	6,50	11,00	12,00
HE 140 B	33,7	140	140	7,00	12,00	12,00
HE 160 B	42,6	160	160	8,00	13,00	15,00
HE 180 B	51,2	180	180	8,50	14,00	15,00
HE 200 B	61,3	200	200	9,00	15,00	18,00
HE 220 B	71,5	220	220	9,50	16,00	18,00

Plotta

HE 160 B

N _{by,Rd} [kN]	N _{bz,Rd} [kN]	N _{pl,y,Rd} [kN]	M _{oy,Rd} [kNm]	M _{cz,Rd} [kNm]	V _{pl,z,Rd} [kN]
1.168	724,8	266,0	92,71	44,52	629,0

g (Kg/m): 42,6
h (mm): 160
b (mm): 160
t_w (mm): 8
t_f (mm): 13
r₁ (mm): 15

r₂ (mm): 0
A (cm²): 54,25
I_y (cm⁴): 2.492
W_y (cm³): 311,5
W_{pl,y} (cm³): 354

i_y (cm): 6,78
I_z (cm⁴): 889,2
W_z (cm³): 111,2
W_{pl,z} (cm³): 170

iz (cm): 4,05
IT (cm⁴): 31,24
I_w (cm⁶): 47.940

Classe Sezione
 Compressione 1
 Flessione My 1
 Flessione Mz 1
 Presso-Flessione 1

Verifiche
 Presso-Flessione
 Svergolamento

Classificazione - EC3 #5.5.2

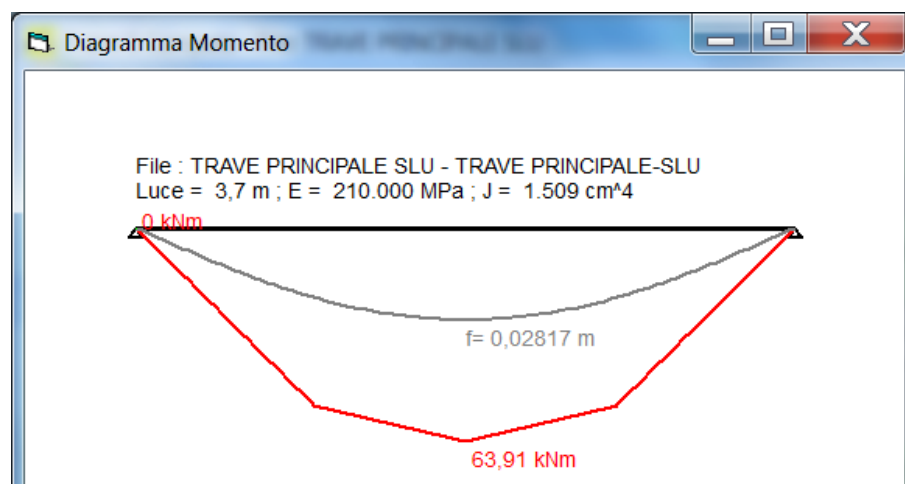
HE 160 B Acciaio S275 (Fe430) f_y (N/mm²) 275

$$\epsilon = \sqrt{\frac{235}{275}} = 0,924$$

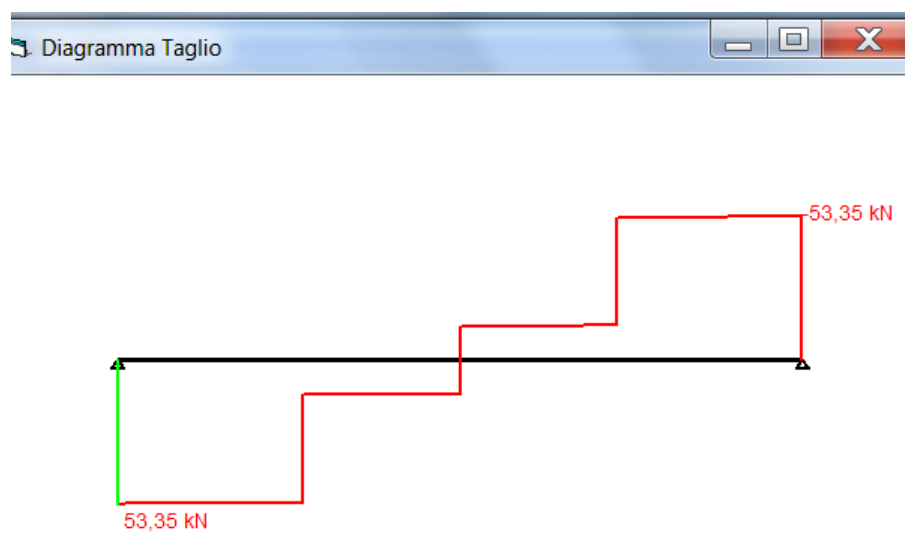
A L A	$\frac{c}{t_f \epsilon} = \frac{80}{13 \times 0,92} = 6,66$	
	FLESSIONE M_z $0 < \frac{c}{t_f \epsilon} \leq 10$ Classe 1	COMPRESSIONE $0 < \frac{c}{t_w \epsilon} \leq 10$ Classe 1
A N I M A	$\frac{d}{t_w \epsilon} = \frac{104,0}{8 \times 0,92} = 14,06$	
	FLESSIONE M_y $0 < \frac{d}{t_w \epsilon} \leq 72$ Classe 1	COMPRESSIONE $0 < \frac{d}{t_w \epsilon} \leq 33$ Classe 1

Classe Presso-Flessione 1 ?

SOLLECITAZIONE FLESSIONALE (SLU)



SOLLECITAZIONE TAGLIANTE (SLU)



VERIFICA A FLESSIONE SLU

Il valore di calcolo dell'azione flettente M_{Ed} deve rispettare la seguente condizione (NTC2018 §4.2.11)

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

Come indicato il profilo HEB 160 (S275) a flessione è un profilo di classe 1 e quindi avrà un momento resistente

$$M_{c,Rd} = M_{pl,Rd} = (354 \times 10^3 \times 275) / 1,05 = 92,71 \text{ kNm.}$$

$$M_{c,Rd} = \frac{W_{pl} \times f_{yk}}{\gamma_{M0}}$$

La trave è soggetta ad un momento flettente $M_{Ed} = 64,00 \text{ kNm}$ e quindi la verifica è soddisfatta infatti:

$$\eta = \frac{M_{Ed}}{M_{c,Rd}} = 0,69 \leq 1$$

Verifica a flessione ampiamente soddisfatta.

VERIFICA A TAGLIO SLU

Il valore di calcolo dell'azione tagliante V_{Ed} deve rispettare la seguente condizione (NTC2008 §4.2.16)

$$\frac{V_{Ed}}{V_{c,Rd}} \leq 1$$

Dove la resistenza di calcolo a taglio $V_{c,Rd}$, in assenza di torsione, vale

$$V_{c,Rd} = \frac{A_v \cdot f_{yk}}{\sqrt{3} \cdot \gamma_{M0}}$$

con A_v detta area resistente a taglio che per profilati ad I caricati nel piano dell'anima assume il valore di

$$A_v = A - 2bt_f + (t_w + 2r)t_f$$

dove $A_v = 17,59 \text{ cm}^2$ con quindi una resistenza a taglio di

$$V_{c,Rd} = (17,59 \times 10^2 \times 275) / (\sqrt{3} \times 1,05) = 265,97 \text{ kN.}$$

La trave è soggetta ad un'azione tagliante $V_{Ed} = 54 \text{ kN}$ e quindi la verifica è soddisfatta infatti:

$$\eta = \frac{V_{Ed}}{V_{c,Rd}} = 0,20 \leq 1$$

Verifica a taglio ampiamente soddisfatta.

VERIFICA A TAGLIO-FLESSIONE SLU

Il taglio di calcolo V_{Ed} è inferiore al 50% della resistenza a taglio $V_{c,Rd}$ e quindi si può trascurare l'influenza del taglio sulla resistenza a flessione.

VERIFICA A INSTABILITA' FLESSO-TORSIONALE SLU

La sezione viene anche verificata a instabilità dovuta alla sollecitazione flessionale che induce uno svergolamento del profilo.

$$\frac{M_{Ed}}{M_{b,Rd}} \leq 1$$

dove $M_{b,Rd} = \chi_{LT} \cdot W_y \cdot \frac{f_{yk}}{\gamma_{M1}}$

Il profilo HEB 160, come detto sopra è in classe 1 e quindi $W_y = W_{pl} = 354 \text{ cm}^3$
 Considerando la trave, nella condizione più sfavorevole, doppio appoggio otteniamo un diagramma dei momenti tipico a parabola che ci porta ad assumere $k = k_w = 1$ e quindi dal prospetto F1.2 dell'eurocodice otteniamo $C_1 = 1,132$, da cui:

$$M_{cr} = c_1 \frac{\pi^2 EI_z}{L^2} \left[\frac{I_w}{I_z} + \frac{L^2 GI_t}{\pi^2 EI_z} \right]^{0,5}$$

da cui si ottiene $M_{cr} = 92,71 \text{ kNm}$
 e quindi avendo

$$\bar{\lambda}_{LT} = \left(\frac{\lambda_{LT}}{\lambda_1} \right) \cdot \beta_w^{0,5} = \sqrt{\frac{\pi^2 EW_{pl}}{M_{cr}}} \cdot \frac{f_y}{\pi^2 E} \cdot \beta_w^{0,5}$$

$$\phi_{LT} = 0,5 \cdot [1 + \alpha_{LT} \cdot (\bar{\lambda}_{LT} - 0,2) + \bar{\lambda}_{LT}^2]$$

dove $\alpha_{LT} = 0,21$ per sezioni laminate

$$\chi_{LT} = \frac{1}{\phi_{LT} + [\phi_{LT}^2 - \bar{\lambda}_{LT}^2]} \quad \text{e quindi} \quad M_{b,Rd} = \chi_{LT} \cdot \beta_w \cdot W_{pl} \cdot f_y / \gamma_{M1}$$

Resistenza della membratura all'instabilità flessio-torsionale - EC3 (edizione 1992) #5.5.2.

HE 160 B

Acciaio S275 (Fe430)

f_y (N/mm²) 275

z [mm] 0,0 L [m] 3,7 = l_{0z} [m]

Coefficienti C

? Momenti ? Carichi trasversali

C_1 1,132 C_2 0,459 C_3 0,525

Coefficienti di lunghezza efficace

k 1 k_w 1,0

Momento resistente di progetto all'instabilità flessio-torsionale (solo My) - EC3 #5.5.2.

M_{cr} [kNm] = 236,7 $M_{c,Rd}$ [kNm] = 92,71

$\bar{\lambda}_{LT} = \sqrt{\frac{M_{c,Rd} \gamma_{M0}}{M_{cr}}} = 0,641$ $\chi_{LT} = 0,874$ $M_{b,Rd}$ [kNm] = 81,00

Resistenza all'instabilità flessio torsionale (flessione e compressione) - Classe 1/2 - EC3 #5.5.4. (2)

N_{Sd} [kN] 0,0 $M_{y,Sd}$ [kNm] 64 $M_{z,Sd}$ [kNm] 0,0

$\frac{N_{Sd}}{N_{b,Rd}} + \frac{k_{LT} M_{y,Sd}}{M_{b,Rd}} + \frac{k_z M_{z,Sd}}{M_{cz,Rd1}} = \frac{0}{724,8} + \frac{1 \times 64}{81,00} + \frac{1 \times 0}{44,52}$

= 0 + 0,790 + 0 = 0,790

OK

si ottiene un $M_{b,Rd} = 81,0 \text{ kNm}$

$$\eta = \frac{M_{Ed}}{M_{b,Rd}} = 0,79 \leq 1$$

Verifica a instabilità ampiamente soddisfatta.

VERIFICA DI DEFORMABILITA' SLE

La verifica si considera soddisfatta se è rispettata la seguente relazione:

$$\frac{f_{\max}}{L} \leq \frac{1}{250}$$

con $f_{\max}$ = freccia massima allo stato finale, L lunghezza della trave ossia distanza tra i due appoggi in accordo con lo schema statico ipotizzato:

$f_{\max} = 0,0116$ m con $L = 3,70$ m che rappresenta una deformabilità pari a

$$\frac{L}{318} \ll \frac{L}{250}$$

La verifica si considera soddisfatta se è rispettata la seguente relazione:

$$\frac{f_2}{L} \leq \frac{1}{300}$$

con f_2 = freccia elastica dovuta ai carichi variabili, L lunghezza della trave ossia distanza tra i due appoggi in accordo con lo schema statico ipotizzato:

$f_2 = 0,0097$ m con $L = 3,70$ m che rappresenta una deformabilità pari a

$$\frac{L}{381} \ll \frac{L}{300}$$

Le verifiche sono ampiamente soddisfatte entrambe.

Lecco, 10/02/2020

Il progettista strutturale e direttore dei lavori



Ing. Piergiorgio Locatelli