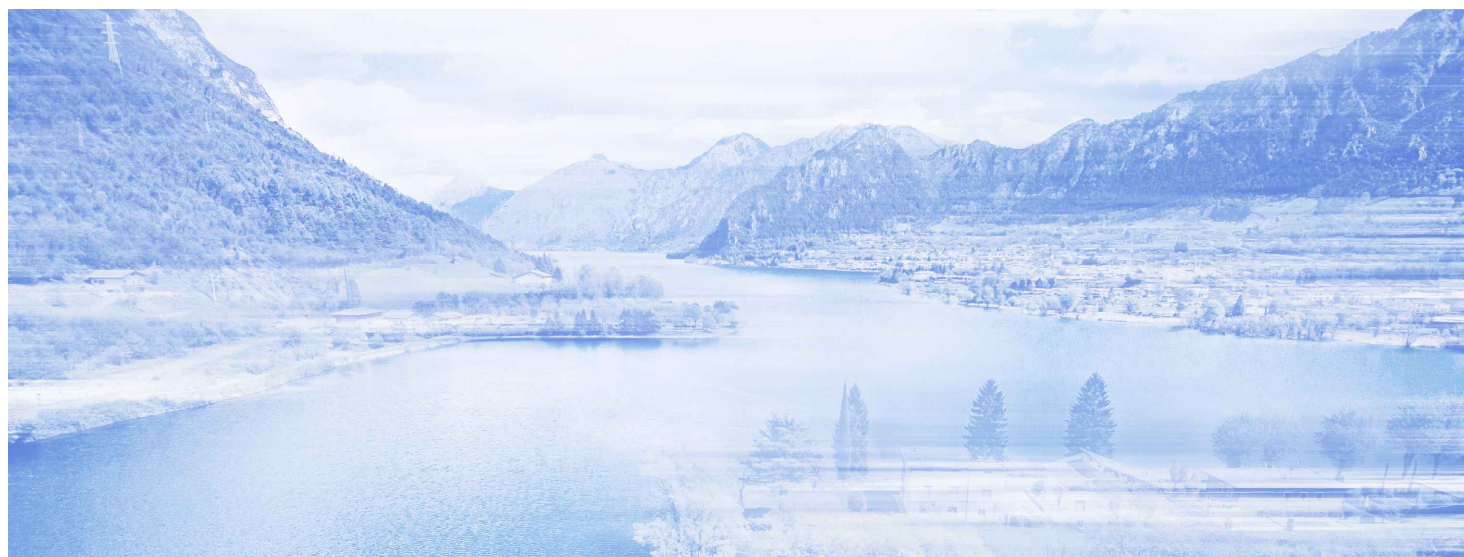


NUOVE OPERE DI REGOLAZIONE PER LA MESSA IN SICUREZZA DEL LAGO D'IDRO



RAGGRUPPAMENTO TEMPORANEO DI PROGETTISTI




PROGETTO ESECUTIVO

IMBOCCO

ORGANI DI REGOLAZIONE

Relazione di calcolo

Fase PE	Ambito IMB	Opera ORE	Argomento GE	Progressivo 001	Tipo elaborato RC	Revisione A
Redatto M. scola		Controllato N. M. Colombo		Approvato S. Croci		Scala - Data 18/10/22

 Agenzia Interregionale per il fiume Po	IL RESPONSABILE UNICO DEL PROCEDIMENTO Ing. M. Vergnani	
	RESPONSABILE INTEGRAZIONE PRESTAZIONI SPECIALISTICHE ALPINA S.p.A. Ing. Paola Erba	PROGETTAZIONE ETATEC STUDIO PAOLETTI s.r.l. Ing. Stefano Croci

REV.	DATA	OGGETTO REVISIONE	REDATTO	CONTROLLATO	APPROVATO
A	18/10/2022	Prima emissione	M. scola	N. M. Colombo	S. Croci
-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-

SOMMARIO

1	INTRODUZIONE.....	3
2	NORME DI RIFERIMENTO	4
3	MATERIALI E COEFFICIENTI DI SICUREZZA.....	5
4	CARICHI DI PROGETTO	6
5	PARATOIA DI MONTE E DI VALLE	9
5.1	Geometria	9
5.2	Calcoli e verifiche	10
6	OPERE ACCESSORIE	19
6.1	Cassone superiore	20
6.2	Rivestimento inferiore.....	29

1 INTRODUZIONE

Oggetto del presente documento è il calcolo delle paratoie e delle relative opere accessorie da installarsi presso il fabbricato paratoie lungo la nuova galleria di sicurezza del Lago Idro.

Nello specifico le opere trattate nella presente relazione sono:

- paratoie di monte e di valle
- opera accessoria: cassoni di alloggiamento delle paratoie
- opera accessoria: rivestimento delle gallerie e gargami

Le suddette opere sono rappresentate graficamente nei seguenti elaborati grafici:

PE-IMB-ORE-GE-002-PZ-A Paratoie di monte e di valle - vista frontale e sezione longitudinale

PE-IMB-ORE-GE-003-PZ-A Paratoie di monte e di valle - sezioni e particolare paratoia

2 NORME DI RIFERIMENTO

Calcoli e verifiche sono condotti con riferimento alle seguenti norme:

- Decreto Ministero Infrastrutture 17 gennaio 2018 "Aggiornamento delle Norme tecniche per le costruzioni"
- Circolare Ministero Infrastrutture 21 gennaio 2019 n.7 "Istruzioni per l'applicazione dell'aggiornamento delle "Norme tecniche per le costruzioni"
- UNI EN 1993-1-1, Eurocodice 3 - Progettazione delle strutture di acciaio - Parte 1-1: Regole generali e regole per gli edifici
- UNI EN 1993-1-8, Eurocodice 3 - Progettazione delle strutture di acciaio - Parte 1-8: Progettazione dei collegamenti
- UNI EN 1998-1, Eurocodice 8 - Progettazione delle strutture per la resistenza sismica - Parte 1: Regole generali, azioni sismiche e regole per gli edifici

Le verifiche sono svolte con il metodo agli Stati Limite.

Non si considerano fenomeni di fatica essendo il numero di cicli di sollecitazione inferiore a 10000.

3 MATERIALI E COEFFICIENTI DI SICUREZZA

Viene adottato il seguente materiale:

Acciaio S275 JR (rif. UNI EN 10025 - UNI EN 10027-2)
(Profili, lamiere e piatti)

Modulo elastico	$E = 210000 \text{ MPa}$
Modulo elastico tangenziale	$G = 80769 \text{ MPa}$
Coefficiente di Poisson	$\nu = 0.30$
Coefficiente di espansione termico ($T < 100^\circ\text{C}$)	$\alpha = 12 \times 10^{-6} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$
Densità	$\rho = 7850 \text{ kg/m}^3$
Tensione nominale di snervamento	$f_y = 275 \text{ N/mm}^2$
Tensione ultima nominale	$f_u = 430 \text{ N/mm}^2$

I coefficienti sui materiali impiegati sono:

$\gamma_{M0} = 1.05$	resistenza sezioni di classe 1, 2, 3, 4
$\gamma_{M1} = 1.05$	resistenza all'instabilità delle membrature
$\gamma_{M2} = 1.25$	resistenza a frattura delle sezioni tese indebolite dai fori
$\gamma_M = 1.25$	per collegamenti bullonati e per le saldature

4 CARICHI DI PROGETTO

I carichi di progetto considerati per il calcolo e le verifiche delle strutture descritte nei successivi paragrafi (paratoia di valle e di monte, Par. 5; opere accessorie, Par. 6) sono i seguenti.

Per la paratoia di valle e di monte

Carico idrostatico

Il carico idrostatico è calcolato in funzione del peso specifico dell'acqua ($\gamma = 10 \text{ kN/m}^3$), del livello idrico di riferimento nel bacino ($H=11.73 \text{ m}$) e dell'affondamento del componente oggetto di verifica (z_i) come:

$$q_w = \gamma \cdot (H - z_i)$$

Carico sismico

Gli effetti del sisma sono calcolati con la formula di Westergaard:

$$q_w = \frac{7 \cdot a_g \cdot \gamma}{8 \cdot g} \cdot \sqrt{H \cdot y}$$

avendo definito:

H livello idrico nel bacino di riferimento per le verifiche sismiche ($H=8.5 \text{ m}$)

y carico idrico nel punto in esame

γ peso specifico dell'acqua (10 kN/m^3)

a_g accelerazione orizzontale massima al sito

Per il sito in esame, con riferimento al Comune di Anfo (BS), l'accelerazione a_g vale $0.238g$ ed è calcolata in funzione dei seguenti parametri:

vita nominale di progetto 100 anni

classe d'uso IV

stato limite di riferimento SLV (stato limite di vita)

I carichi sopra descritti sono combinati secondo le regole previste dalle norme di riferimento al Par. 2 per il metodo degli Stati Limite:

combinazione statica di Stato Limite Ultimo

$$\gamma_{G1} \cdot G_1 + \gamma_{G2} \cdot G_2$$

combinazione statica di Stato Limite di Esercizio

$$G_1 + G_2$$

combinazione sismica

$$G_1 + G_2 + E$$

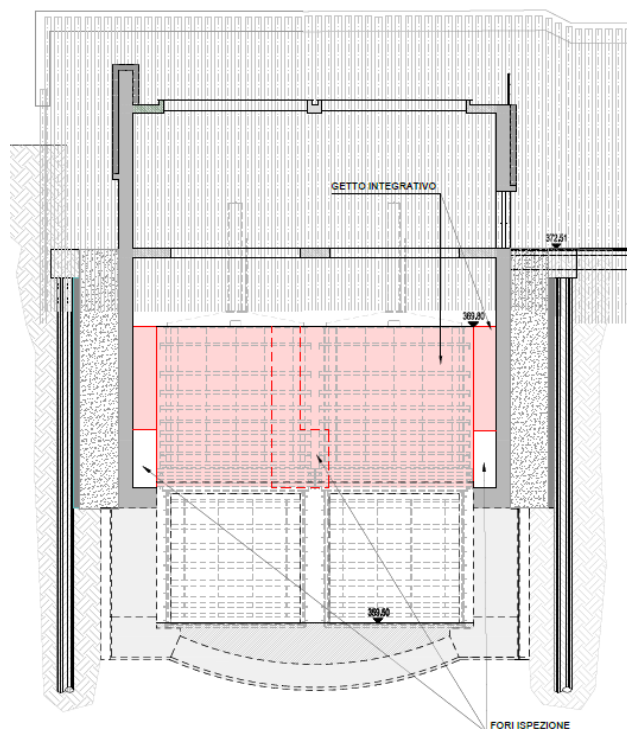
essendo: G_1 il peso proprio strutturale; G_2 il carico idrostatico ed eventuali pesi di elementi accessori non facenti parte degli elementi strutturali resistenti; E il carico sismico.

Il coefficiente di combinazione γ_{G1} vale 1.30 mentre il coefficiente di combinazione γ_{G2} è pari a 1.50.

Per le opere accessorie

Getto integrativo

Le opere accessorie sono soggette agli effetti derivanti dal getto integrativo effettuato durante la costruzione dell'opera in esame ed illustrato nell'immagine seguente:



DESCRIZIONE DELLA FASE 9 :

- PREDISPOSIZIONE CASSERI PER REALIZZAZIONI FORI ISPEZIONE
- POSA DI ARMATURA
- GETTO INTEGRATIVO DI RIEMPIMENTO FINO ALLA QUOTA PREVISTA 369.80m

Ai fini del calcolo e della verifica del cassone superiore, gli effetti del getto sono determinati in funzione del peso specifico del calcestruzzo ($\gamma = 25 \text{ kN/m}^3$), dell'altezza totale del getto ($H = 5.70 \text{ m}$) e dell'affondamento del componente oggetto di verifica (z_i) come:

$$q = \gamma \cdot (H - z_i)$$

Per lo studio del rivestimento inferiore, si considera il peso totale del getto pari a:

$$p = \gamma \cdot H = 142.50 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

I carichi sopra descritti sono combinati secondo le regole previste dalle norme di riferimento al Par. 2 per il metodo degli Stati Limite:

combinazione statica di Stato Limite Ultimo

$$\gamma_{G1} \cdot G_1 + \gamma_{G2} \cdot G_2$$

combinazione statica di Stato Limite di Esercizio

$$G_1 + G_2$$

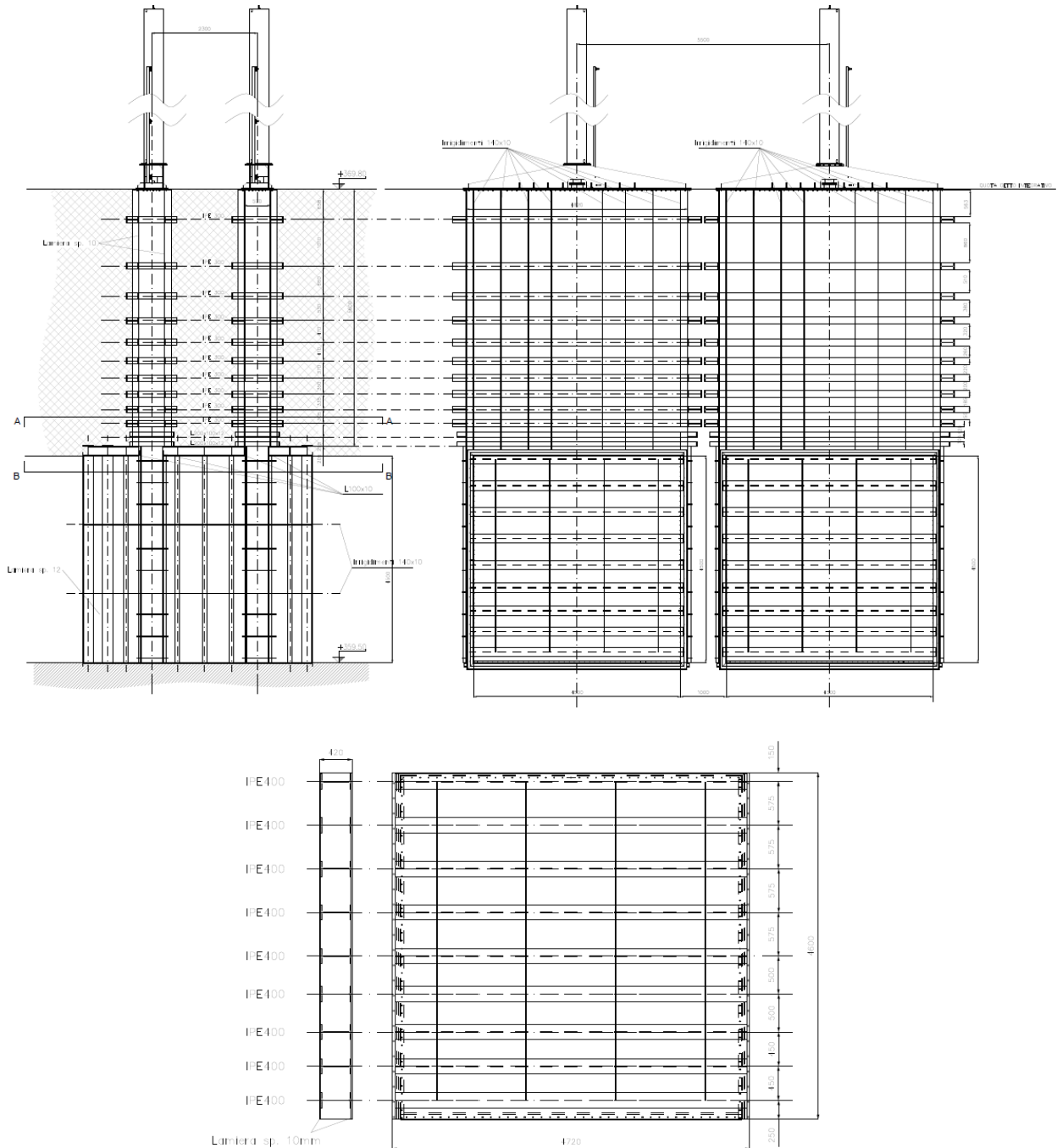
essendo: G_1 il peso proprio strutturale; G_2 gli effetti del getto ed eventuali pesi di elementi accessori non facenti parte degli elementi strutturali resistenti.

Il coefficiente di combinazione γ_{G1} vale 1.30 mentre il coefficiente di combinazione γ_{G2} è pari a 1.50.

5 PARATOIA DI MONTE E DI VALLE

5.1 Geometria

La geometria di riferimento per le verifiche al successivo paragrafo è la seguente:



5.2 Calcoli e verifiche

Le verifiche alle pagine seguenti sono svolte: in condizioni statiche, con riferimento alle combinazioni di Stato Limite Ultimo per quanto attiene la resistenza dei componenti e alle combinazioni di Stato Limite di Esercizio per il controllo della deformabilità; in condizioni sismiche, per la verifica di resistenza dei componenti.

Sia i profili principali (IPE 400) sia la lamiera di spessore 10 mm sono calcolati, a favore di sicurezza, con riferimento allo schema statico di trave in semplice appoggio.

Seguono calcolo e verifica di: profili principali IPE 400; lamiera di spessore 10 mm; pressioni esercitate sul gargame.

La massima deformata ammissibile per i profili IPE 400 è pari a $L/600$.

Tutte le verifiche sono soddisfatte.

Imbocco - Paratoie di monte e di valle

Livello idrico massimo	$l_{max} := 371.23 \text{ m}$		
Quota di fondo	$z_{min} := 359.50 \text{ m}$		
Quota di massima regolazione	$z_{reg} := 368 \text{ m}$		
Carico idrostatico massimo	$h_i := l_{max} - z_{min} = 11.73 \text{ m}$		
Carico idrostatico in condizioni sismiche	$h_{sis} := z_{reg} - z_{min} = 8.5 \text{ m}$		
Densità acqua	$\gamma_a := 1000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$	Snervamento acciaio	$f_y := 275 \text{ MPa}$
Accelerazione di gravità	$g := 9.81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$	Rottura acciaio	$f_u := 430 \text{ MPa}$
			$E := 210000 \text{ MPa}$
Accelerazione orizzontale massima al sito	$a_g := 0.238 \cdot g$		classe d'uso IV, vita nominale 100 anni

Dati di impianto

Luce paratoia	$L_s := 4500 \text{ mm}$
Altezza complessiva di ritenuta	$H_{mv} := 4800 \text{ mm}$
Altezza paratoia	$H_{mv1} := 4600 \text{ mm}$

Coefficienti parziali di sicurezza (Stati limite)

$$Y_{G1} := 1.3 \quad Y_{G2} := 1.5 \quad Y_Q := 1.5 \quad Y_{M0} := 1.05 \quad Y_{M1} := 1.05 \quad Y_{M2} := 1.25$$

Deformabilità limite

La massima deformata ammissibile è pari a L/600

1. Pressioni massime alla base

Spinta idrostatica alla base	$F_s := h_i \cdot \gamma_a \cdot g = 115.0713 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$
Spinta dinamica alla base spinta aggiuntiva alla spinta idrostatica in condizioni sismiche	$Q_w := 7 \cdot a_g \cdot \gamma_a \cdot \frac{\sqrt{h_{sis} \cdot h_{sis}}}{8} = 17.3649 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$

2. Strutture portanti

Nr. 9 IPE 400 con doppia lamiera di sp. 8 mm

Quota IPE 400 rispetto alla soglia e competenza

IPE400 - 1	$z_1 := 250 \text{ mm}$	IPE400 - 2	$z_2 := 700 \text{ mm}$
IPE400 - 3	$z_3 := 1150 \text{ mm}$	IPE400 - 4	$z_4 := 1650 \text{ mm}$
IPE400 - 5	$z_5 := 2150 \text{ mm}$	IPE400 - 6	$z_6 := 2725 \text{ mm}$
IPE400 - 7	$z_7 := 3300 \text{ mm}$	IPE400 - 8	$z_8 := 3875 \text{ mm}$
IPE400 - 9	$z_9 := 4450 \text{ mm}$	Altezza totale paratoia	$H_{tot} := H_{mv1}$
IPE400 - 1	$l_1 := z_1 + \frac{(z_2 - z_1)}{2} = 475 \text{ mm}$	IPE400 - 2	$l_2 := \frac{(z_3 - z_1)}{2} = 450 \text{ mm}$
IPE400 - 3	$l_3 := \frac{(z_4 - z_2)}{2} = 475 \text{ mm}$	IPE400 - 4	$l_4 := \frac{(z_5 - z_3)}{2} = 500 \text{ mm}$

$$\begin{aligned}
 IPE400 - 5 \quad l_5 &:= \frac{(z_6 - z_4)}{2} = 537.5 \text{ mm} & IPE400 - 6 \quad l_6 &:= \frac{(z_7 - z_5)}{2} = 575 \text{ mm} \\
 IPE400 - 7 \quad l_7 &:= \frac{(z_8 - z_6)}{2} = 575 \text{ mm} & IPE400 - 8 \quad l_8 &:= \frac{(z_9 - z_7)}{2} = 575 \text{ mm} \\
 IPE400 - 9 \quad l_9 &:= (H_{mv1} - z_9) + \frac{(z_9 - z_8)}{2} = 437.5 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

3. Carichi di progetto in condizioni statiche

$$\begin{aligned}
 IPE400 - 1 \quad q_{1SLE} &:= \gamma_a \cdot g \cdot (h_i - z_1) \cdot l_1 = 53.4939 \frac{\text{kN}}{\text{m}} \\
 q_{1SLU} &:= \gamma_{G2} \cdot q_{1SLE} = 80.2409 \frac{\text{kN}}{\text{m}} \\
 M_{Ed1SLU} &:= q_{1SLU} \cdot \frac{L_s^2}{8} = 203.1098 \text{ kN m} \\
 IPE400 - 2 \quad q_{2SLE} &:= \gamma_a \cdot g \cdot (h_i - z_2) \cdot l_2 = 48.6919 \frac{\text{kN}}{\text{m}} \\
 q_{2SLU} &:= \gamma_{G2} \cdot q_{2SLE} = 73.0379 \frac{\text{kN}}{\text{m}} \\
 M_{Ed2SLU} &:= q_{2SLU} \cdot \frac{L_s^2}{8} = 184.8772 \text{ kN m} \\
 IPE400 - 3 \quad q_{3SLE} &:= \gamma_a \cdot g \cdot (h_i - z_3) \cdot l_3 = 49.3002 \frac{\text{kN}}{\text{m}} \\
 q_{3SLU} &:= \gamma_{G2} \cdot q_{3SLE} = 73.9502 \frac{\text{kN}}{\text{m}} \\
 M_{Ed3SLU} &:= q_{3SLU} \cdot \frac{L_s^2}{8} = 187.1865 \text{ kN m} \\
 IPE400 - 4 \quad q_{4SLE} &:= \gamma_a \cdot g \cdot (h_i - z_4) \cdot l_4 = 49.4424 \frac{\text{kN}}{\text{m}} \\
 q_{4SLU} &:= \gamma_{G2} \cdot q_{4SLE} = 74.1636 \frac{\text{kN}}{\text{m}} \\
 M_{Ed4SLU} &:= q_{4SLU} \cdot \frac{L_s^2}{8} = 187.7266 \text{ kN m} \\
 IPE400 - 5 \quad q_{5SLE} &:= \gamma_a \cdot g \cdot (h_i - z_5) \cdot l_5 = 50.5141 \frac{\text{kN}}{\text{m}} \\
 q_{5SLU} &:= \gamma_{G2} \cdot q_{5SLE} = 75.7712 \frac{\text{kN}}{\text{m}} \\
 M_{Ed5SLU} &:= q_{5SLU} \cdot \frac{L_s^2}{8} = 191.7959 \text{ kN m} \\
 IPE400 - 6 \quad q_{6SLE} &:= \gamma_a \cdot g \cdot (h_i - z_6) \cdot l_6 = 50.795 \frac{\text{kN}}{\text{m}} \\
 q_{6SLU} &:= \gamma_{G2} \cdot q_{6SLE} = 76.1924 \frac{\text{kN}}{\text{m}} \\
 M_{Ed6SLU} &:= q_{6SLU} \cdot \frac{L_s^2}{8} = 192.8621 \text{ kN m} \\
 IPE400 - 7 \quad q_{7SLE} &:= \gamma_a \cdot g \cdot (h_i - z_7) \cdot l_7 = 47.5515 \frac{\text{kN}}{\text{m}}
 \end{aligned}$$

$$q_{7SLU} := \gamma_{G2} \cdot q_{7SLE} = 71.3273 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

$$M_{Ed7SLU} := q_{7SLU} \cdot \frac{L_s^2}{8} = 180.5472 \text{ kN m}$$

$$\text{IPE400 - 8} \quad q_{8SLE} := \gamma_a \cdot g \cdot (h_i - z_8) \cdot l_8 = 44.3081 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

$$q_{8SLU} := \gamma_{G2} \cdot q_{8SLE} = 66.4621 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

$$M_{Ed8SLU} := q_{8SLU} \cdot \frac{L_s^2}{8} = 168.2323 \text{ kN m}$$

$$\text{IPE400 - 9} \quad q_{9SLE} := \gamma_a \cdot g \cdot (h_i - z_9) \cdot l_9 = 31.2448 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

$$q_{9SLU} := \gamma_{G2} \cdot q_{9SLE} = 46.8673 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

$$M_{Ed9SLU} := q_{9SLU} \cdot \frac{L_s^2}{8} = 118.6328 \text{ kN m}$$

Momento di progetto per verifica SLU

$$M_{EdSLU} := M_{Ed1SLU} = 203.1098 \text{ kN m}$$

Carico di progetto per verifica di deformabilità

$$q_{SLE} := q_{1SLE} = 53.4939 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

4. Carichi di progetto in condizioni sismiche

$$\text{IPE400 - 1} \quad q_{1SIS} := \gamma_a \cdot g \cdot (h_{sis} - z_1) \cdot l_1 + 7 \cdot a_g \cdot \gamma_a \cdot \frac{\sqrt{(h_{sis} - z_1)^2}}{8} \cdot l_1 = 46.4487 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

$$M_{Ed1SIS} := q_{1SIS} \cdot \frac{L_s^2}{8} = 117.5732 \text{ kN m}$$

$$\text{IPE400 - 2} \quad q_{2SIS} := \gamma_a \cdot g \cdot (h_{sis} - z_2) \cdot l_2 + 7 \cdot a_g \cdot \gamma_a \cdot \frac{\sqrt{(h_{sis} - z_2)^2}}{8} \cdot l_2 = 41.6038 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

$$M_{Ed2SIS} := q_{2SIS} \cdot \frac{L_s^2}{8} = 105.3096 \text{ kN m}$$

$$\text{IPE400 - 3} \quad q_{3SIS} := \gamma_a \cdot g \cdot (h_{sis} - z_3) \cdot l_3 + 7 \cdot a_g \cdot \gamma_a \cdot \frac{\sqrt{(h_{sis} - z_3)^2}}{8} \cdot l_3 = 41.3816 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

$$M_{Ed3SIS} := q_{3SIS} \cdot \frac{L_s^2}{8} = 104.747 \text{ kN m}$$

$$\text{IPE400 - 4} \quad q_{4SIS} := \gamma_a \cdot g \cdot (h_{sis} - z_4) \cdot l_4 + 7 \cdot a_g \cdot \gamma_a \cdot \frac{\sqrt{(h_{sis} - z_4)^2}}{8} \cdot l_4 = 40.5963 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

$$M_{Ed4SIS} := q_{4SIS} \cdot \frac{L_s^2}{8} = 102.7594 \text{ kN m}$$

$$\text{IPE400 - 5} \quad q_{5SIS} := \gamma_a \cdot g \cdot (h_{sis} - z_5) \cdot l_5 + 7 \cdot a_g \cdot \gamma_a \cdot \frac{\sqrt{(h_{sis} - z_5)^2}}{8} \cdot l_5 = 40.4555 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

$$M_{Ed5SIS} := q_{5SIS} \cdot \frac{L_s^2}{8} = 102.4031 \text{ kN m}$$

$$\begin{aligned}
 IPE400 - 6 \quad q_{6SIS} &:= \gamma_a \cdot g \cdot (h_{sis} - z_6) \cdot l_6 + 7 \cdot a_g \cdot \gamma_a \cdot \frac{\sqrt{(h_{sis} - z_6)^2}}{8} \cdot l_6 = 39.3591 \frac{\text{kN}}{\text{m}} \\
 M_{Ed6SIS} &:= q_{6SIS} \cdot \frac{L_s^2}{8} = 99.6278 \text{ kN m} \\
 IPE400 - 7 \quad q_{7SIS} &:= \gamma_a \cdot g \cdot (h_{sis} - z_7) \cdot l_7 + 7 \cdot a_g \cdot \gamma_a \cdot \frac{\sqrt{(h_{sis} - z_7)^2}}{8} \cdot l_7 = 35.4403 \frac{\text{kN}}{\text{m}} \\
 M_{Ed7SIS} &:= q_{7SIS} \cdot \frac{L_s^2}{8} = 89.7082 \text{ kN m} \\
 IPE400 - 8 \quad q_{8SIS} &:= \gamma_a \cdot g \cdot (h_{sis} - z_8) \cdot l_8 + 7 \cdot a_g \cdot \gamma_a \cdot \frac{\sqrt{(h_{sis} - z_8)^2}}{8} \cdot l_8 = 31.5214 \frac{\text{kN}}{\text{m}} \\
 M_{Ed8SIS} &:= q_{8SIS} \cdot \frac{L_s^2}{8} = 79.7885 \text{ kN m} \\
 IPE400 - 9 \quad q_{9SIS} &:= \gamma_a \cdot g \cdot (h_{sis} - z_9) \cdot l_9 + 7 \cdot a_g \cdot \gamma_a \cdot \frac{\sqrt{(h_{sis} - z_9)^2}}{8} \cdot l_9 = 21.0019 \frac{\text{kN}}{\text{m}} \\
 M_{Ed9SIS} &:= q_{9SIS} \cdot \frac{L_s^2}{8} = 53.1611 \text{ kN m}
 \end{aligned}$$

Momento di progetto per verifica sismica

$$M_{EdsIS} := M_{EdISIS} = 117.5732 \text{ kN m}$$

5. Caratteristiche meccaniche della sezione composta (IPE 400 + lamiera)

Profilo IPE 400

Altezza	$h_{IPE} := 400 \text{ mm}$
Spessore anima	$t_{web} := 8.60 \text{ mm}$
Area	$A := 8446 \text{ mm}^2$
Inerzia massima	$I_{max} := 23130 \text{ cm}^4$
Momento statico elastico	$W_{max} := 1160 \text{ cm}^3$

Lamiera

Spessore	$t_{lam} := 8 \text{ mm}$
Larghezza efficace	$b_{eff} := 30 \cdot t_{lam} + t_{web} = 248.6 \text{ mm}$

Sezione composta

Area	$A_{tot} := A + 2 \cdot b_{eff} \cdot t_{lam} = 12423.6 \text{ mm}^2$
Posizione baricentro	$z_G := \frac{\left(A \cdot \left(\frac{h_{IPE}}{2} + t_{lam} \right) + t_{lam} \cdot b_{eff} \cdot \frac{t_{lam}}{2} + t_{lam} \cdot b_{eff} \cdot \left(h_{IPE} + t_{lam} \cdot \frac{3}{2} \right) \right)}{A_{tot}} = 208 \text{ mm}$
Inerzia	$I := + I_{max} + 2 \cdot b_{eff} \cdot \frac{t_{lam}^3}{12} + 2 \cdot b_{eff} \cdot t_{lam} \cdot \left(\frac{h_{IPE}}{2} + \frac{t_{lam}}{2} \right)^2 = 3.9685 \cdot 10^8 \text{ mm}^4$
Momento statico elastico	$W := \frac{I}{z_G} = 1.9079 \cdot 10^6 \text{ mm}^3$

6. Verifica di resistenza della sezione composta (IPE 400 + lamiera)

In condizioni statiche (combinazione SLU):

$$\sigma_{maxSLU} := \frac{M_{EdSLU}}{W} = 106.4546 \frac{N}{mm^2} \quad \text{minore di} \quad \sigma_{amm} := \frac{f_y}{\gamma_{M0}} = 261.9048 \frac{N}{mm^2}$$

In condizioni sismiche:

$$\sigma_{maxSIS} := \frac{M_{EdSIS}}{W} = 61.6229 \frac{N}{mm^2} \quad \text{minore di} \quad \sigma_{amm} := \frac{f_y}{\gamma_{M0}} = 261.9048 \frac{N}{mm^2}$$

7. Deformabilità della sezione composta (IPE 400 + lamiera)

Per effetto della pressione idrostatica in condizioni di esercizio (SLE):

$$f := \frac{5}{384} \cdot q_{SLE} \cdot \frac{L_s^4}{E \cdot I} = 3.4272 \text{ mm}$$

$$def := \frac{L_s}{f} = 1313.0104 \quad \text{maggiore di 600: verifica soddisfatta}$$

8. Verifica di resistenza della lamiera

Schema statico di riferimento: trave in semplice appoggio soggetta a carico uniforme

La verifica è svolta in condizioni statiche (SLU), che determinano le sollecitazioni maggiori

larghezza di riferimento

$$b_{rif} := 1 \text{ m}$$

momento statico plastico

$$W_{lam} := b_{rif} \cdot \frac{t_{lam}^2}{4} = 16000 \text{ mm}^3$$

larghezza ala IPE400

$$b_{IPE} := 180 \text{ mm}$$

lamiera 1

$$c_1 := z_2 - z_1 - b_{IPE} = 270 \text{ mm}$$

$$z_{c1} := z_1 + \frac{c_1}{2} = 385 \text{ mm}$$

$$q_{c1SLE} := \gamma_a \cdot g \cdot (h_i - z_{c1}) \cdot b_{rif} = 111.2944 \frac{kN}{m}$$

$$q_{c1SLU} := \gamma_{G2} \cdot q_{c1SLE} = 166.9417 \frac{kN}{m}$$

$$M_{Edc1} := q_{c1SLU} \cdot \frac{c_1^2}{8} = 1.5213 \text{ kN m}$$

$$\sigma_{c1} := \frac{M_{Edc1}}{W_{lam}} = 95.0785 \frac{N}{mm^2} \quad \text{minore di} \quad \sigma_{amm} := \frac{f_y}{\gamma_{M0}} = 261.9048 \frac{N}{mm^2}$$

lamiera 2

$$c_2 := z_3 - z_2 - b_{IPE} = 270 \text{ mm}$$

$$z_{c2} := z_2 + \frac{c_2}{2} = 835 \text{ mm}$$

$$q_{c2SLE} := \gamma_a \cdot g \cdot (h_i - z_{c2}) \cdot b_{rif} = 106.88 \frac{kN}{m}$$

$$q_{c2SLU} := V_{G2} \cdot q_{c2SLE} = 160.3199 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

$$M_{Edc2} := q_{c2SLU} \cdot \frac{c_2^2}{8} = 1.4609 \text{ kN m}$$

$$\sigma_{c2} := \frac{M_{Edc2}}{W_{lam}} = 91.3072 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \quad \text{minore di} \quad \sigma_{amm} := \frac{f_y}{\gamma_{MO}} = 261.9048 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

lamiera 3

$$c_3 := z_4 - z_3 - b_{IPE} = 320 \text{ mm}$$

$$z_{c3} := z_3 + \frac{c_3}{2} = 1310 \text{ mm}$$

$$q_{c3SLE} := V_a \cdot g \cdot (h_i - z_{c3}) \cdot b_{rif} = 102.2202 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

$$q_{c3SLU} := V_{G2} \cdot q_{c3SLE} = 153.3303 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

$$M_{Edc3} := q_{c3SLU} \cdot \frac{c_3^2}{8} = 1.9626 \text{ kN m}$$

$$\sigma_{c3} := \frac{M_{Edc3}}{W_{lam}} = 122.6642 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \quad \text{minore di} \quad \sigma_{amm} := \frac{f_y}{\gamma_{MO}} = 261.9048 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

lamiera 4

$$c_4 := z_5 - z_4 - b_{IPE} = 320 \text{ mm}$$

$$z_{c4} := z_4 + \frac{c_4}{2} = 1810 \text{ mm}$$

$$q_{c4SLE} := V_a \cdot g \cdot (h_i - z_{c4}) \cdot b_{rif} = 97.3152 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

$$q_{c4SLU} := V_{G2} \cdot q_{c4SLE} = 145.9728 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

$$M_{Edc4} := q_{c4SLU} \cdot \frac{c_4^2}{8} = 1.8685 \text{ kN m}$$

$$\sigma_{c4} := \frac{M_{Edc4}}{W_{lam}} = 116.7782 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \quad \text{minore di} \quad \sigma_{amm} := \frac{f_y}{\gamma_{MO}} = 261.9048 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

lamiera 5

$$c_5 := z_6 - z_5 - b_{IPE} = 395 \text{ mm}$$

$$z_{c5} := z_5 + \frac{c_5}{2} = 2347.5 \text{ mm}$$

$$q_{c5SLE} := V_a \cdot g \cdot (h_i - z_{c5}) \cdot b_{rif} = 92.0423 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

$$q_{c5SLU} := V_{G2} \cdot q_{c5SLE} = 138.0635 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

$$M_{Edc5} := q_{c5SLU} \cdot \frac{c_5^2}{8} = 2.6927 \text{ kN m}$$

$$\sigma_{c5} := \frac{M_{Edc5}}{W_{lam}} = 168.2918 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \quad \text{minore di} \quad \sigma_{amm} := \frac{f_y}{\gamma_{MO}} = 261.9048 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

lamiera 6

$$c_6 := z_7 - z_6 - b_{IPE} = 395 \text{ mm}$$

$$z_{c6} := z_6 + \frac{c_6}{2} = 2922.5 \text{ mm}$$

$$q_{c6SLE} := V_a \cdot g \cdot (h_i - z_{c6}) \cdot b_{rif} = 86.4016 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

$$q_{c6SLU} := V_{G2} \cdot q_{c6SLE} = 129.6024 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

$$M_{Edc6} := q_{c6SLU} \cdot \frac{c_6^2}{8} = 2.5277 \text{ kN m}$$

$$\sigma_{c6} := \frac{M_{Edc6}}{W_{lam}} = 157.9782 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \quad \text{minore di} \quad \sigma_{amm} := \frac{f_y}{\gamma_{M0}} = 261.9048 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

lamiera 7

$$c_7 := z_8 - z_7 - b_{IPE} = 395 \text{ mm}$$

$$z_{c7} := z_7 + \frac{c_7}{2} = 3497.5 \text{ mm}$$

$$q_{c7SLE} := V_a \cdot g \cdot (h_i - z_{c7}) \cdot b_{rif} = 80.7608 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

$$q_{c7SLU} := V_{G2} \cdot q_{c7SLE} = 121.1412 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

$$M_{Edc7} := q_{c7SLU} \cdot \frac{c_7^2}{8} = 2.3626 \text{ kN m}$$

$$\sigma_{c7} := \frac{M_{Edc7}}{W_{lam}} = 147.6645 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \quad \text{minore di} \quad \sigma_{amm} := \frac{f_y}{\gamma_{M0}} = 261.9048 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

lamiera 8

$$c_8 := z_9 - z_8 - b_{IPE} = 395 \text{ mm}$$

$$z_{c8} := z_8 + \frac{c_8}{2} = 4072.5 \text{ mm}$$

$$q_{c8SLE} := V_a \cdot g \cdot (h_i - z_{c8}) \cdot b_{rif} = 75.1201 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

$$q_{c8SLU} := V_{G2} \cdot q_{c8SLE} = 112.6801 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

$$M_{Edc8} := q_{c8SLU} \cdot \frac{c_8^2}{8} = 2.1976 \text{ kN m}$$

$$\sigma_{c8} := \frac{M_{Edc8}}{W_{lam}} = 137.3509 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \quad \text{minore di} \quad \sigma_{amm} := \frac{f_y}{\gamma_{M0}} = 261.9048 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

8. Verifica delle pressioni sul calcestruzzo (gargame)

Dimensioni appoggio

altezza totale del gargame

$$h_{gar} := 4500 \text{ mm}$$

larghezza dell'appoggio

$$l_{app} := 25 \text{ mm}$$

Superficie di appoggio

$$A_{app} := h_{gar} \cdot l_{app} = 1.125 \cdot 10^5 \text{ mm}^2$$

Numero di appoggi

$$n_{app} := 2$$

Spinta idrostatica alla base

$$S_{base} := F_s = 115.0713 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

Spinta idrostatica alla sommità del gargame

$$S_{top} := \gamma_a \cdot g \cdot (h_i - h_{gar}) = 70.9263 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

Risultante della spinta idrostatica allo SLU

$$R_{SLU} := \gamma_{G2} \cdot (S_{base} + S_{top}) \cdot \frac{h_{gar}}{2} \cdot L_s = 2824.8386 \text{ kN}$$

Pressione esercitata sul calcestruzzo

$$\sigma_c := \frac{R_{SLU}}{A_{app}} = 12.5548 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

Resistenza di progetto a compressione
per calcestruzzo C25/30

$$\alpha_{cc} := 0.85$$

$$f_{ck} := 25 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

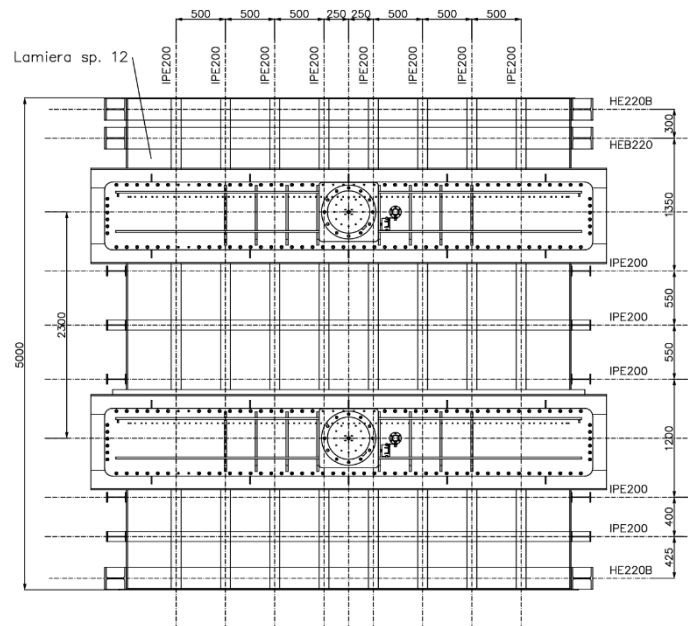
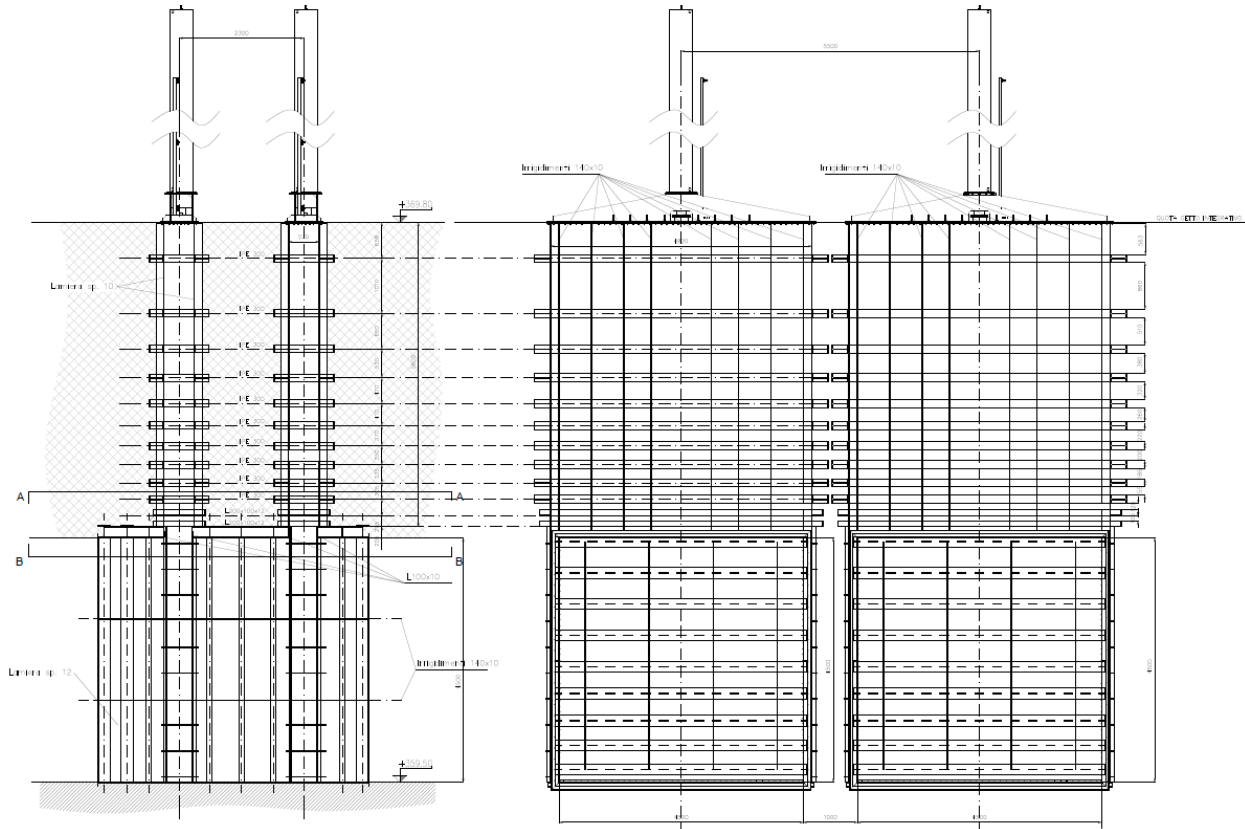
$$\gamma_c := 1.50$$

$$f_{cd} := \alpha_{cc} \cdot \frac{f_{ck}}{\gamma_c} = 14.1667 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

La verifica è soddisfatta.

6 OPERE ACCESSORIE

La geometria di riferimento per le successive verifiche è la seguente:



Le verifiche alle pagine seguenti sono svolte: in condizioni statiche, con riferimento alle combinazioni di Stato Limite Ultimo per quanto attiene la resistenza dei componenti e alle combinazioni di Stato Limite di Esercizio per il controllo della deformabilità.

Seguono calcolo e verifica di: profili principali IPE 300, IPE 200 e HEB220, lamiere di spessore 10 e 12.

La massima deformata ammissibile per i profili di irrigidimento del cassone di alloggiamento della paratoia è pari a L/150.

Tutte le verifiche sono soddisfatte.

6.1 Cassone superiore

Segue la verifica dei profili principali (IPE 300 / L 200x100x12) che realizzano il cassone superiore.

Awt	[mm]	4900
Bwt	[mm]	700
Awb	[mm]	4900
Bwb	[mm]	700
h	[mm]	4900
a1	[°]	0,0
a2	[°]	0,0
γ_{m0}	[-]	1,05
f_y	[MPa]	275
E	[MPa]	210000
γ	[-]	1,5

Larghezza lato maggiore (lato 2) alla sommità

Larghezza lato minore (lato 1) alla sommità

Larghezza lato maggiore (lato 2) alla base

Larghezza lato minore (lato 1) alla base

Altezza totale

Inclinazione sull'orizzontale (lato 2)

Inclinazione sull'orizzontale (lato 1)

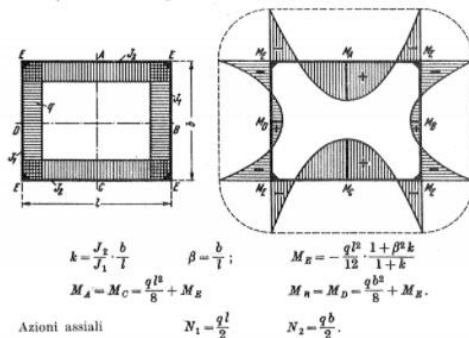
Coefficiente sul materiale

Tensione di snervamento

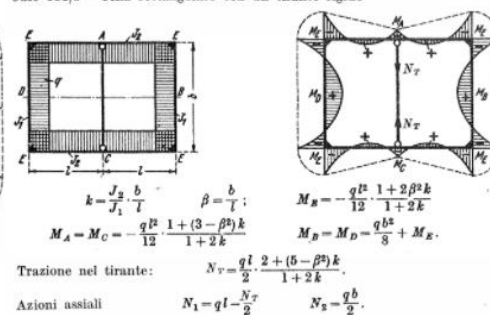
Modulo elastico

Coefficiente di incremento del carico (SLU)

Caso 114/1 - Cella rettangolare senza tiranti



Caso 114/2 - Cella rettangolare con un tirante rigido



ID	z	iw	Ai (2)	Bi (1)	β	k	pn	pnd	iw_i	pnd
[-]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[-]	[-]	[kN/m ²]	[kN/m ²]	[mm]	[kN/m]
WS1	0	50,0	4900	700	0,14	0,14	142,5	213,8	50	10,7
WS2	100	127,5	4900	700	0,14	0,14	140,0	210,0	128	26,8
WS3	255	225,0	4900	700	0,14	0,14	136,1	204,2	225	45,9
WS4	550	300,0	4900	700	0,14	0,14	128,8	193,1	300	57,9
WS5	855	320,0	4900	700	0,14	0,14	121,1	181,7	320	58,1
WS6	1190	342,5	4900	700	0,14	0,14	112,8	169,1	343	57,9
WS7	1540	360,0	4900	700	0,14	0,14	104,0	156,0	360	56,2
WS8	1910	390,0	4900	700	0,14	0,14	94,8	142,1	390	55,4
WS9	2320	440,0	4900	700	0,14	0,14	84,5	126,8	440	55,8
WS10	2790	500,0	4900	700	0,14	0,14	72,8	109,1	500	54,6
WS11	3320	595,0	4900	700	0,14	0,14	59,5	89,3	595	53,1
WS12	3980	835,0	4900	700	0,14	0,14	43,0	64,5	835	53,9
WS13	4990	1215,0	4900	700	0,14	0,14	17,8	26,6	1215	32,3

z quota dell'i-esimo profilo (IPE 300 / L 200x100x12)
 iw larghezza di competenza
 Ai, Bi dimensioni complessive (vedere figura)
 β , k coefficienti per il calcolo delle azioni di progetto (vedere figura)
 pn carico dovuto al getto integrativo
 pnd carico di progetto dovuto al getto integrativo (allo SLU)

ID	Me	Ma Mc (2)	Mb Md (1)	M1	M2	M1 max	M2 max
[-]	[kNm]	[kNm]	[kNm]	[kNm]	[kNm]	[kNm]	[kNm]
WS1	-18,8	13,3	-18,1	0,7	32,1	18,8	18,8
WS2	-47,0	33,3	-45,4	1,6	80,4	47,0	47,0
WS3	-80,7	57,2	-77,9	2,8	137,9	80,7	80,7
WS4	-101,7	72,2	-98,2	3,5	173,9	101,7	101,7
WS5	-102,1	72,4	-98,5	3,6	174,5	102,1	102,1
WS6	-101,7	72,1	-98,2	3,5	173,8	101,7	101,7
WS7	-98,6	69,9	-95,2	3,4	168,6	98,6	98,6
WS8	-97,3	69,0	-93,9	3,4	166,4	97,3	97,3
WS9	-97,9	69,5	-94,5	3,4	167,4	97,9	97,9
WS10	-95,8	68,0	-92,5	3,3	163,8	95,8	95,8
WS11	-93,2	66,1	-90,0	3,3	159,4	93,2	93,2
WS12	-94,6	67,1	-91,3	3,3	161,6	94,6	94,6
WS13	-56,8	40,3	-54,8	2,0	97,1	56,8	56,8

Me momento di progetto di estremità
 Ma, Mc momento di progetto in campata (lato 1)
 Mb, Md momento di progetto in campata (lato 2)
 M1 momento di progetto in campata (lato 1) con schema in semplice appoggio
 M2 momento di progetto in campata (lato 2) con schema in semplice appoggio
 M1,max momento di progetto massimo (lato 1)
 M2,max momento di progetto massimo (lato 2)

ID	N1	N2
[-]	[kN]	[kN]
WS1	26,2	3,7
WS2	65,6	9,4
WS3	112,6	16,1
WS4	141,9	20,3
WS5	142,4	20,3
WS6	141,9	20,3
WS7	137,6	19,7
WS8	135,8	19,4
WS9	136,6	19,5
WS10	133,7	19,1
WS11	130,1	18,6
WS12	132,0	18,9
WS13	79,3	11,3

N1 compressione di progetto (lato 1)

N2 compressione di progetto (lato 2)

Verifica profili lato 2

ID	Profilo	Wel min	Wel max	A	I	Mrd	rM	Nrd	Mnrd	rM*
[-]	[-]	[cm ³]	[cm ³]	[cm ²]	[cm ⁴]	[kNm]	[-]	[kN]	[-]	[-]
WS1	L200x100x12	289	289	46,5	3067	75,7	0,25	1217,9	75,7	0,25
WS2	L200x100x12	289	289	46,5	3067	75,7	0,62	1217,9	75,5	0,62
WS3	IPE300	557	557	53,81	8356	145,9	0,55	1409,3	145,0	0,56
WS4	IPE300	557	557	53,81	8356	145,9	0,70	1409,3	144,4	0,70
WS5	IPE300	557	557	53,81	8356	145,9	0,70	1409,3	144,4	0,71
WS6	IPE300	557	557	53,81	8356	145,9	0,70	1409,3	144,4	0,70
WS7	IPE300	557	557	53,81	8356	145,9	0,68	1409,3	144,5	0,68
WS8	IPE300	557	557	53,81	8356	145,9	0,67	1409,3	144,5	0,67
WS9	IPE300	557	557	53,81	8356	145,9	0,67	1409,3	144,5	0,68
WS10	IPE300	557	557	53,81	8356	145,9	0,66	1409,3	144,6	0,66
WS11	IPE300	557	557	53,81	8356	145,9	0,64	1409,3	144,6	0,64
WS12	IPE300	557	557	53,81	8356	145,9	0,65	1409,3	144,6	0,65
WS13	IPE300	557	557	53,81	8356	145,9	0,39	1409,3	145,4	0,39

Deformabilità profili lato 2

ID	f	1/L
[-]	[mm]	[-]
WS1	12,5	393,4
WS2	31,2	157,0
WS3	19,7	249,3
WS4	24,8	197,7
WS5	24,9	197,0
WS6	24,8	197,8
WS7	24,0	204,0
WS8	23,7	206,7
WS9	23,9	205,4
WS10	23,3	209,9
WS11	22,7	215,7
WS12	23,0	212,7
WS13	13,8	354,1

Verifica profili lato 1

ID	Profilo	Wel min	Wel max	A	I	Mrd	rM	Nrd	Mnrd	rM*
[-]	[-]	[cm3]	[cm3]	[cm2]	[cm4]	[kNm]	[-]	[kN]	[-]	[-]
WS1	L200x100x12	289	289	46,5	3067	75,7	0,25	1217,9	75,7	0,25
WS2	L200x100x12	289	289	46,5	3067	75,7	0,62	1217,9	75,7	0,62
WS3	IPE300	557	557	53,81	8356	145,9	0,55	1409,3	145,9	0,55
WS4	IPE300	557	557	53,81	8356	145,9	0,70	1409,3	145,9	0,70
WS5	IPE300	557	557	53,81	8356	145,9	0,70	1409,3	145,9	0,70
WS6	IPE300	557	557	53,81	8356	145,9	0,70	1409,3	145,9	0,70
WS7	IPE300	557	557	53,81	8356	145,9	0,68	1409,3	145,9	0,68
WS8	IPE300	557	557	53,81	8356	145,9	0,67	1409,3	145,9	0,67
WS9	IPE300	557	557	53,81	8356	145,9	0,67	1409,3	145,9	0,67
WS10	IPE300	557	557	53,81	8356	145,9	0,66	1409,3	145,9	0,66
WS11	IPE300	557	557	53,81	8356	145,9	0,64	1409,3	145,9	0,64
WS12	IPE300	557	557	53,81	8356	145,9	0,65	1409,3	145,9	0,65
WS13	IPE300	557	557	53,81	8356	145,9	0,39	1409,3	145,9	0,39

Deformabilità profili lato 1

ID	f	1/L
[-]	[mm]	[-]
WS1	0,005	134935
WS2	0,013	53861
WS3	0,008	85521
WS4	0,010	67815
WS5	0,010	67579
WS6	0,010	67829
WS7	0,010	69961
WS8	0,010	70884
WS9	0,010	70451
WS10	0,010	72010
WS11	0,009	73988
WS12	0,010	72952
WS13	0,006	121456

In aggiunta a quanto sopra, il profilo IPE 300 più sollecitato è verificato per presso-flessione.

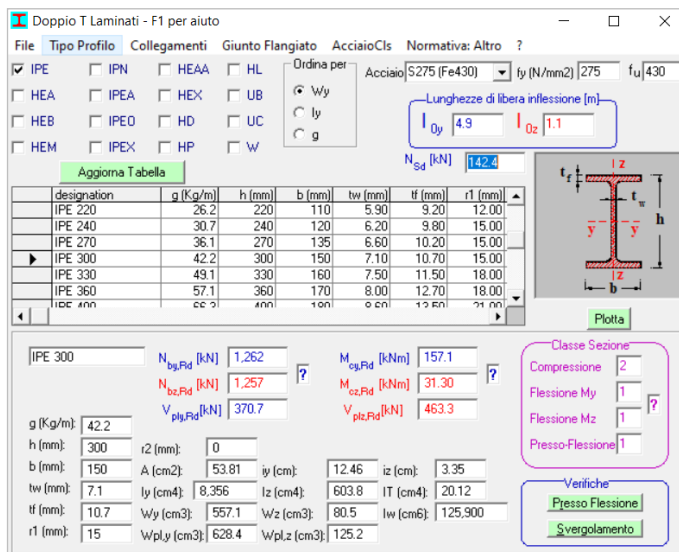
Siano:

$$N_{c,max} = 142.4 \text{ kN}$$

$$M_{max,estremi} = 102.1 \text{ kNm}$$

$$M_{max,campata} = 72.4 \text{ kNm}$$

Le lunghezze di libera inflessione utilizzate nel calcolo sono pari: rispetto all'asse di massima inerzia, alla massima dimensione del cassone (4900 mm); rispetto all'asse di minima inerzia, alla massima distanza tra gli irrigidimenti verticali (1100 mm).



Doppio T Laminati - F1 per aiuto

File Tipo Profilo Collegamenti Giunto Flangiato AcciaioCIs Normativa: Altro ?

IPE IPN HEAA HL HEA IPEA HEX UB HEB IPEO HD UC HEM IPEX HP W

Ordina per: Wy ly g

Acciaio: S275 (Fe430) fy (N/mm2): 275 fu: 430

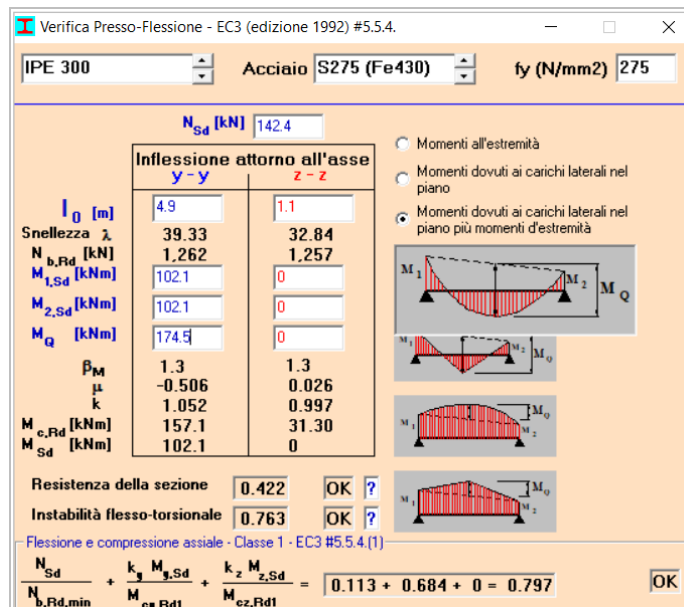
Lunghezze di libera inflessione [m]:
 l_{0y} : 4.9 l_{0z} : 1.1

N_{Sd} [kN]: 142.4

designation	g (kg/m)	h (mm)	b (mm)	tw (mm)	tf (mm)	r1 (mm)
IPE 220	26.2	220	110	5.90	3.20	12.00
IPE 240	30.7	240	120	6.20	3.60	15.00
IPE 270	36.1	270	135	6.60	10.20	15.00
IPE 300	42.2	300	150	7.10	10.70	15.00
IPE 330	49.1	330	160	7.50	11.50	18.00
IPE 360	57.1	360	170	8.00	12.70	18.00

Classe Sezione: Compressione 2
 Flessione My: 1
 Flessione Mz: 1
 Presso-Flessione: 1

Verifiche: Presso Flessione Svergolamento



Verifica Presso-Flessione - EC3 (edizione 1992) #5.5.4.

IPE 300 Acciaio S275 (Fe430) fy (N/mm2) 275

N_{Sd} [kN]: 142.4

Inflessione attorno all'asse:
 y-y: l_0 [m] 4.9
 z-z: l_0 [m] 1.1

	y-y	z-z
Snellezza λ	39.33	32.84
$N_{b,Rd}$ [kN]	1,262	1,257
$M_{1,Sd}$ [kNm]	102.1	0
$M_{2,Sd}$ [kNm]	102.1	0
M_Q [kNm]	174.5	0
β_M	1.3	1.3
μ	-0.506	0.026
k	1.052	0.997
$M_{c,Rd}$ [kNm]	157.1	31.30
M_{Sd} [kNm]	102.1	0

Resistenza della sezione: 0.422 OK ?
 Instabilità flessio-torsionale: 0.763 OK ?

Flessione e compressione assiale - Classe 1 - EC3 #5.5.4.(1)

$$\frac{N_{Sd}}{N_{b,Rd,min}} + k_y \frac{M_{y,Sd}}{M_{c,Rd1}} + k_z \frac{M_{z,Sd}}{M_{c,Rd2}} = 0.113 + 0.684 + 0 = 0.797$$

OK

La verifica è soddisfatta.

Segue la verifica della lamiera di spessore 10 mm.

Imbocco - Parte superiore

Quota massima getto integrativo	$z_{max} := 369.80 \text{ m}$		
Quota minima getto integrativo	$z_{min} := 364.1 \text{ m}$		
Altezza getto integrativo	$h := z_{max} - z_{min} = 5.7 \text{ m}$		
Densità calcestruzzo	$\gamma_{c1s} := 25 \frac{\text{kN}}{\text{m}^3}$	Snervamento acciaio	$f_y := 275 \text{ MPa}$
		Rottura acciaio	$f_u := 430 \text{ MPa}$
			$E := 210000 \text{ MPa}$

Dati di impianto

Dimensione massima parte superiore	$L_s := 4900 \text{ mm}$
Altezza totale parte superiore	$H_s := h = 5700 \text{ mm}$

Coefficienti parziali di sicurezza (Stati limite)

$$\gamma_{G1} := 1.3 \quad \gamma_{G2} := 1.5 \quad \gamma_Q := 1.5 \quad \gamma_{M0} := 1.05 \quad \gamma_{M1} := 1.05 \quad \gamma_{M2} := 1.25$$

1. Pressione alla base

Pressione dovuta al getto alla base $F_{c1s} := h \cdot \gamma_{c1s} = 142.5 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$

2. Strutture portanti

Quota IPE 300 / L200x100x12 rispetto alla base del getto

P1	$z_1 := 100 \text{ mm}$	P2	$z_2 := 255 \text{ mm}$
P3	$z_3 := 550 \text{ mm}$	P4	$z_4 := 855 \text{ mm}$
P5	$z_5 := 1190 \text{ mm}$	P6	$z_6 := 1540 \text{ mm}$
P7	$z_7 := 1910 \text{ mm}$	P8	$z_8 := 2320 \text{ mm}$
P9	$z_9 := 2790 \text{ mm}$	P10	$z_{10} := 3320 \text{ mm}$
P11	$z_{11} := 3980 \text{ mm}$	P12	$z_{12} := 4990 \text{ mm}$

Altezza totale $H_{tot} := H_s$

3. Verifica di resistenza della lamiera

Schema statico di riferimento: trave in semplice appoggio soggetta a carico uniforme

larghezza di riferimento	$b_{rif} := 1 \text{ m}$
spessore lamiera	$t_{lam} := 10 \text{ mm}$
momento statico plastico	$W_{lam} := b_{rif} \cdot \frac{t_{lam}^2}{4} = 25000 \text{ mm}^3$
lamiera 1	$c_1 := z_2 - z_1 = 155 \text{ mm}$
	$z_{c1} := z_1 + \frac{c_1}{2} = 177.5 \text{ mm}$

lamiera 2

$$q_{c1SLE} := V_{c1s} \cdot (h - z_{c1}) \cdot b_{rif} = 138.0625 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

$$q_{c1SLU} := V_{G2} \cdot q_{c1SLE} = 207.0938 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

$$M_{Edc1} := q_{c1SLU} \cdot \frac{c_1^2}{8} = 0.6219 \text{ kN m}$$

$$\sigma_{c1} := \frac{M_{Edc1}}{W_{lam}} = 24.8771 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \quad \text{minore di} \quad \sigma_{amm} := \frac{f_y}{Y_{M0}} = 261.9048 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$c_2 := z_3 - z_2 = 295 \text{ mm}$$

$$z_{c2} := z_2 + \frac{c_2}{2} = 402.5 \text{ mm}$$

$$q_{c2SLE} := V_{c1s} \cdot (h - z_{c2}) \cdot b_{rif} = 132.4375 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

$$q_{c2SLU} := V_{G2} \cdot q_{c2SLE} = 198.6562 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

$$M_{Edc2} := q_{c2SLU} \cdot \frac{c_2^2}{8} = 2.161 \text{ kN m}$$

$$\sigma_{c2} := \frac{M_{Edc2}}{W_{lam}} = 86.4403 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \quad \text{minore di} \quad \sigma_{amm} := \frac{f_y}{Y_{M0}} = 261.9048 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

lamiera 3

$$c_3 := z_4 - z_3 = 305 \text{ mm}$$

$$z_{c3} := z_3 + \frac{c_3}{2} = 702.5 \text{ mm}$$

$$q_{c3SLE} := V_{c1s} \cdot (h - z_{c3}) \cdot b_{rif} = 124.9375 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

$$q_{c3SLU} := V_{G2} \cdot q_{c3SLE} = 187.4062 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

$$M_{Edc3} := q_{c3SLU} \cdot \frac{c_3^2}{8} = 2.1792 \text{ kN m}$$

$$\sigma_{c3} := \frac{M_{Edc3}}{W_{lam}} = 87.1673 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \quad \text{minore di} \quad \sigma_{amm} := \frac{f_y}{Y_{M0}} = 261.9048 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

lamiera 4

$$c_4 := z_5 - z_4 = 335 \text{ mm}$$

$$z_{c4} := z_4 + \frac{c_4}{2} = 1022.5 \text{ mm}$$

$$q_{c4SLE} := V_{c1s} \cdot (h - z_{c4}) \cdot b_{rif} = 116.9375 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

$$q_{c4SLU} := V_{G2} \cdot q_{c4SLE} = 175.4062 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

$$M_{Edc4} := q_{c4SLU} \cdot \frac{c_4^2}{8} = 2.4606 \text{ kN m}$$

$$\sigma_{c4} := \frac{M_{Edc4}}{W_{lam}} = 98.4248 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \quad \text{minore di} \quad \sigma_{amm} := \frac{f_y}{Y_{M0}} = 261.9048 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

lamiera 5

$$c_5 := z_6 - z_5 = 350 \text{ mm}$$

$$z_{c5} := z_5 + \frac{c_5}{2} = 1365 \text{ mm}$$

$$q_{c55LE} := V_{c1s} \cdot (h - z_{c5}) \cdot b_{rif} = 108.375 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

$$q_{c55LU} := V_{G2} \cdot q_{c55LE} = 162.5625 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

$$M_{Edc5} := q_{c55LU} \cdot \frac{c_5^2}{8} = 2.4892 \text{ kN m}$$

$$\sigma_{c5} := \frac{M_{Edc5}}{W_{lam}} = 99.5695 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \quad \text{minore di} \quad \sigma_{amm} := \frac{f_y}{\gamma_{M0}} = 261.9048 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

lamiera 6

$$c_6 := z_7 - z_6 = 370 \text{ mm}$$

$$z_{c6} := z_6 + \frac{c_6}{2} = 1725 \text{ mm}$$

$$q_{c65LE} := V_{c1s} \cdot (h - z_{c6}) \cdot b_{rif} = 99.375 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

$$q_{c65LU} := V_{G2} \cdot q_{c65LE} = 149.0625 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

$$M_{Edc6} := q_{c65LU} \cdot \frac{c_6^2}{8} = 2.5508 \text{ kN m}$$

$$\sigma_{c6} := \frac{M_{Edc6}}{W_{lam}} = 102.0333 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \quad \text{minore di} \quad \sigma_{amm} := \frac{f_y}{\gamma_{M0}} = 261.9048 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

lamiera 7

$$c_7 := z_8 - z_7 = 410 \text{ mm}$$

$$z_{c7} := z_7 + \frac{c_7}{2} = 2115 \text{ mm}$$

$$q_{c75LE} := V_{c1s} \cdot (h - z_{c7}) \cdot b_{rif} = 89.625 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

$$q_{c75LU} := V_{G2} \cdot q_{c75LE} = 134.4375 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

$$M_{Edc7} := q_{c75LU} \cdot \frac{c_7^2}{8} = 2.8249 \text{ kN m}$$

$$\sigma_{c7} := \frac{M_{Edc7}}{W_{lam}} = 112.9947 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \quad \text{minore di} \quad \sigma_{amm} := \frac{f_y}{\gamma_{M0}} = 261.9048 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

lamiera 8

$$c_8 := z_9 - z_8 = 470 \text{ mm}$$

$$z_{c8} := z_8 + \frac{c_8}{2} = 2555 \text{ mm}$$

$$q_{c85LE} := V_{c1s} \cdot (h - z_{c8}) \cdot b_{rif} = 78.625 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

$$q_{c85LU} := V_{G2} \cdot q_{c85LE} = 117.9375 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

$$M_{Edc8} := q_{c85LU} \cdot \frac{c_8^2}{8} = 3.2565 \text{ kN m}$$

$$\sigma_{c8} := \frac{M_{Edc8}}{W_{lam}} = 130.262 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \quad \text{minore di} \quad \sigma_{amm} := \frac{f_y}{\gamma_{M0}} = 261.9048 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

lamiera 9

$$c_9 := z_{10} - z_9 = 530 \text{ mm}$$

$$z_{c9} := z_9 + \frac{c_9}{2} = 3055 \text{ mm}$$

lamiera 10

$$q_{c9SLE} := V_{c1s} \cdot (h - z_{c9}) \cdot b_{rif} = 66.125 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

$$q_{c9SLU} := V_{G2} \cdot q_{c9SLE} = 99.1875 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

$$M_{Edc9} := q_{c9SLU} \cdot \frac{c_9^2}{8} = 3.4827 \text{ kN m}$$

$$\sigma_{c9} := \frac{M_{Edc9}}{W_{lam}} = 139.3088 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \text{ minore di}$$

$$\sigma_{amm} := \frac{f_y}{\gamma_{M0}} = 261.9048 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$c_{10} := z_{11} - z_{10} = 660 \text{ mm}$$

$$z_{c10} := z_{10} + \frac{c_{10}}{2} = 3650 \text{ mm}$$

$$q_{c10SLE} := V_{c1s} \cdot (h - z_{c10}) \cdot b_{rif} = 51.25 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

$$q_{c10SLU} := V_{G2} \cdot q_{c10SLE} = 76.875 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

$$M_{Edc10} := q_{c10SLU} \cdot \frac{c_{10}^2}{8} = 4.1858 \text{ kN m}$$

$$\sigma_{c10} := \frac{M_{Edc10}}{W_{lam}} = 167.4338 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \text{ minore di}$$

$$\sigma_{amm} := \frac{f_y}{\gamma_{M0}} = 261.9048 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

lamiera 11

$$c_{11} := z_{12} - z_{11} = 1010 \text{ mm}$$

$$z_{c11} := z_{11} + \frac{c_{11}}{2} = 4485 \text{ mm}$$

$$q_{c11SLE} := V_{c1s} \cdot (h - z_{c11}) \cdot b_{rif} = 30.375 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

$$q_{c11SLU} := V_{G2} \cdot q_{c11SLE} = 45.5625 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

$$M_{Edc11} := q_{c11SLU} \cdot \frac{c_{11}^2}{8} = 5.8098 \text{ kN m}$$

$$\sigma_{c11} := \frac{M_{Edc11}}{W_{lam}} = 232.3915 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \text{ minore di}$$

$$\sigma_{amm} := \frac{f_y}{\gamma_{M0}} = 261.9048 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

lamiera 12

$$c_{12} := H_{tot} - z_{12} = 710 \text{ mm}$$

$$z_{c12} := z_{12} + \frac{c_{12}}{2} = 5345 \text{ mm}$$

$$q_{c12SLE} := V_{c1s} \cdot (h - z_{c12}) \cdot b_{rif} = 8.875 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

$$q_{c12SLU} := V_{G2} \cdot q_{c12SLE} = 13.3125 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

$$M_{Edc12} := q_{c12SLU} \cdot \frac{c_{12}^2}{8} = 0.8389 \text{ kN m}$$

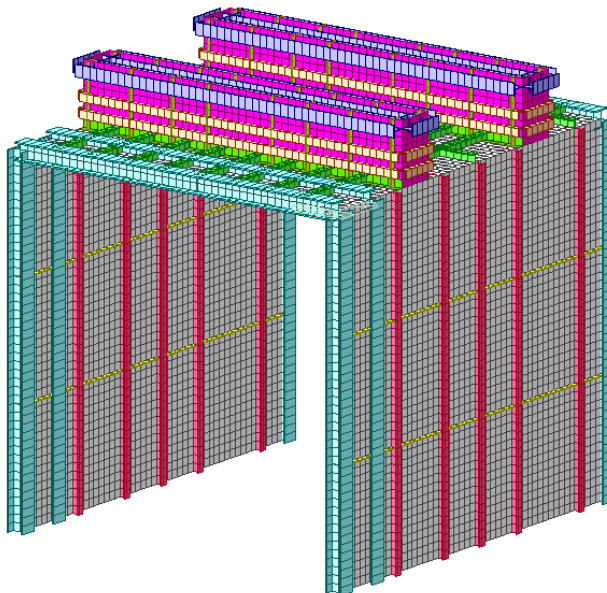
$$\sigma_{c12} := \frac{M_{Edc12}}{W_{lam}} = 33.5542 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \text{ minore di}$$

$$\sigma_{amm} := \frac{f_y}{\gamma_{M0}} = 261.9048 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

Tutte le verifiche del cassone superiore sono soddisfatte.

6.2 Rivestimento inferiore

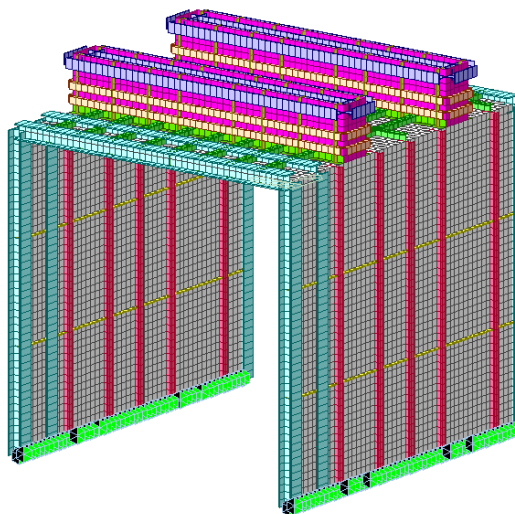
La verifica del rivestimento inferiore è condotta con l'ausilio di un modello FEM realizzato con il programma di calcolo Midas Gen:



Il modello in figura sopra include:

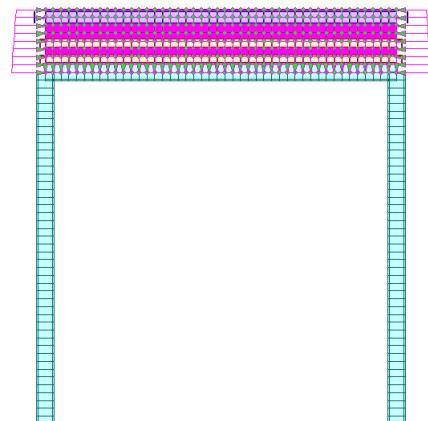
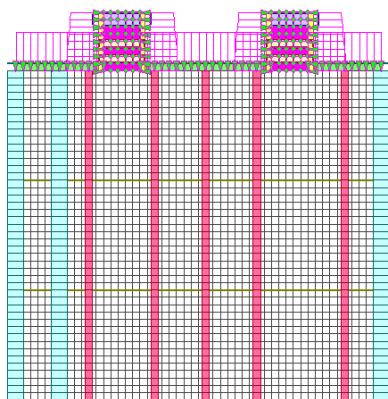
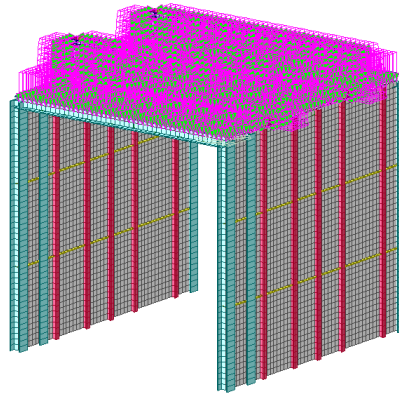
- elementi di tipo *beam*, utilizzati per simulare nervature e irrigidimenti, sia del rivestimento inferiore, sia del tratto del cassone incluso nella modellazione
- elementi di tipo *plate*, con cui sono modellate le lamiere di spessore 12 mm (rivestimento inferiore) e 10 mm (tratto del cassone incluso nella modellazione)

I vincoli fissi applicati al modello numerico sono posizionati alla base delle due pareti verticali del rivestimento inferiore e bloccano le tre traslazioni (cerniere sferiche):

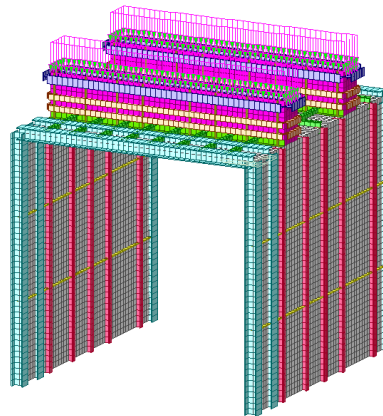


I carichi applicati al modello numerico sono i seguenti:

- peso proprio dei componenti modellati G_1 , con incremento del 10%
- peso del getto integrativo G_{2-a} , applicato sulla superficie superiore del rivestimento come pressioni uniformemente distribuite di valore pari a 142.50 kN/m^2 e sul tratto del cassone incluso nella modellazione



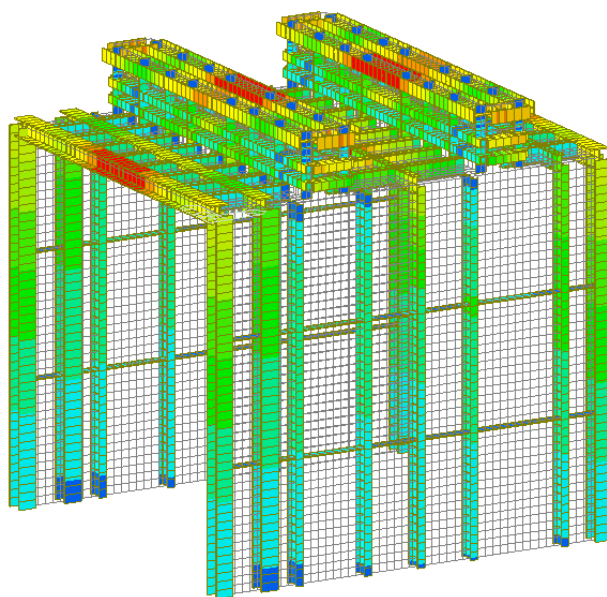
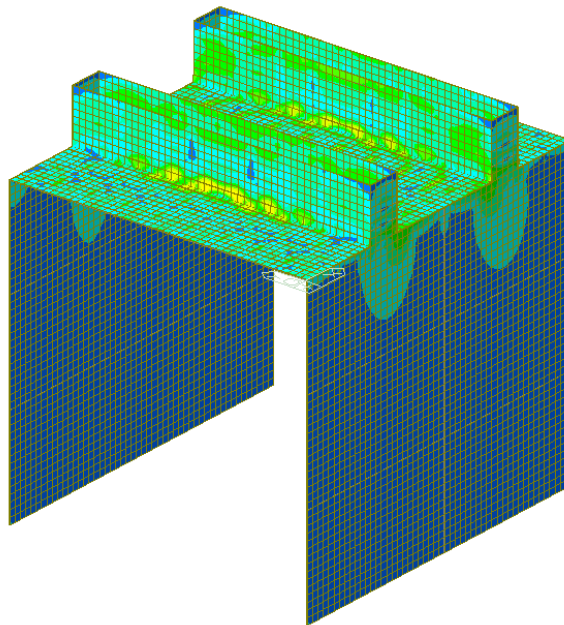
- peso dei cassoni superiori G_{2-b} , pari a 9.26 kN/m e applicato lungo il perimetro superiore del tratto dei cassoni incluso nel modello numerico



I carichi descritti alla pagina precedente sono applicati, allo Stato Limite Ultimo, secondo la seguente combinazione:

$$1.30 G_1 + 1.50 G_{2-a} + 1.50 G_{2-b}$$

Per effetto dei carichi nella combinazione di Stato Limite Ultimo, le tensioni nella lamiera e nei profili modellati sono le seguenti (Von Mises stresses):

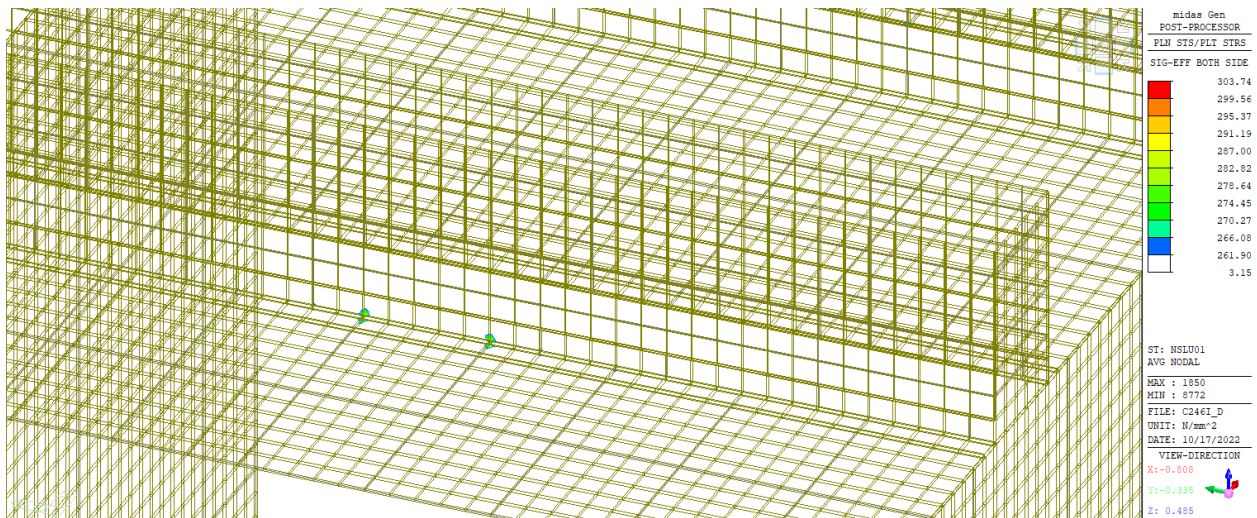


Lo stato tensionale negli irrigidimenti è pienamente conforme alle caratteristiche meccaniche dell'acciaio S275 JR, essendo:

$$\sigma_{\max} = 232.20 \text{ N/mm}^2 < 275/1.05 = 261.90 \text{ N/mm}^2 = \sigma_{\text{lim}}$$

Per quanto riguarda gli elementi *plate*, lo stato tensionale ottenuto dall'analisi numerica è comunque ritenuto adeguato rispetto alla qualità di acciaio con cui sono realizzate le lamiere.

Le tensioni che eccedono il valore di 261.90 N/mm^2 ($= \sigma_{\text{lim}}$) sono infatti concentrate in zone di modesta estensione, in corrispondenza della discontinuità geometrica che si genera all'interfaccia tra la parte superiore del rivestimento e i cassoni verticali:



Tutte le verifiche del rivestimento inferiore sono soddisfatte.