

**OGGETTO:** *RELAZIONE DI CALCOLO DELLA SELLA PER BARCHE A VELA DA 30t*

**COMMITTENTE:** *MV Engineering s.r.l.s*, Via Pietro Nenni 13 82100 Benevento (IT)  
P.I. 01680450622 REA BN - 139795

IL TECNICO



**Numero di pagine  
del Documento:**

**29** incluso la seguente

*Studio tecnico Ing. Davide Cicchini*



*Dell' ing. Davide Cicchini iscritto all'Albo degli Ingegneri della Provincia di  
Chieti al n° 2278 sezione A, settore: Civile e Ambientale,  
C.F.: CCCDVD86H05C632E, telefono: 3295792642;  
e-mail: [davide.cicchini.dc@gmail.com](mailto:davide.cicchini.dc@gmail.com);*

1	GENERALITA .....	3
2	NORMATIVA DI RIFERIMENTO .....	4
3	PRESCRIZIONI GENERALI .....	4
4	MATERIALI UTILIZZATI E SEZIONI IMPIEGATE .....	6
5	ANALISI DEI CARICHI .....	8
	5.1 CARICO STRUTTURALE PERMANENTE .....	8
	5.2 CARICO NON STRUTTURALE .....	8
6	CASI DI CARICO.....	9
7	COMBINAZIONI DI CARICO .....	9
8	CRITERI DI ANALISI DELLA SICUREZZA.....	10
9	MODELLAZIONE DELLA STRUTTURA .....	10
10	SOLLECITAZIONI .....	11
	10.1 SFORZO NORMALE SLU .....	11
	10.2 TAGLIO SLU.....	12
	10.3 MOMENTO FLETTENTE SLU .....	13
	10.4 STRESS (S11 max/min) .....	15
	10.5 SPOSTAMENTI SOTTO CARICO .....	16
11	VERIFICA DEFORMAZIONI .....	16
12	VERIFICA SLU.....	16
	12.1 VERIFICA A TRAZIONE.....	16
	12.2 VERIFICA DELLA STABILITA' DELLE ASTE COMPRESSE .....	17
	12.3 VERIFICA A FLESSIONE.....	17
	12.4 VERIFICA A TAGLIO.....	17
	12.5 VERIFICA DI STABILITA' DELLE MEMBRATURE PRESSO-INFLESSE .....	18
	12.6 RAPPORTO TRA DOMANDA/CAPACITA' PER LA STRUTTURA POGGIATA A TERRA ....	18
	12.7 COEFFICIENTI DOMANDA/CAPACITA' PER LA STRUTTURA SOLLEVATA SULLE	
FORCHE	20	
	12.8 VERIFICA DELLE UNIONI .....	22
	12.8.1 VERIFICA DELLE UNIONI BULLONATE.....	22
	12.8.2 VERIFICA DELLE UNIONI SALDATE.....	28

# 1 GENERALITA

Il seguente documento espone le verifiche strutturali per i carichi verticali e laterali, di una sella per barche a vela dotata di steli regolabili: larga 2450 mm, lunga 6450 mm e alta 1711 mm (condizione senza steli), 2571 mm (con steli sfilati all'ultima posizione). Le posizioni per la regolazione dell'altezza dello stelo sono 5 e sono intervallate ogni 100m.

La verifica si esegue ipotizzando un sovraccarico di 300 kN (pari a 30 t) applicato in punta agli elementi di appoggio in direzione gravitazionale e ipotizzando una aliquota di carico aggiuntiva diretta nella direzione orizzontale. La forza orizzontale serve per simulare la spinta verso l'esterno che l'elemento subisce quando la bassetta di appoggio si adagia sulla carena laterale dell'imbarcazione mutando il suo angolo naturale dalla posizione perfettamente orizzontale ad una posizione inclinata.

La base dell'apparecchiatura è stata saldata in stabilimento, mentre gli elementi a sviluppo verticale saranno accoppiati alla stessa tramite unioni bullonate.

L'invaso di seguito analizzato è studiato anche per consentire il trasporto delle imbarcazioni nell'ambito del cantiere navale, attraverso carrelli con forche.

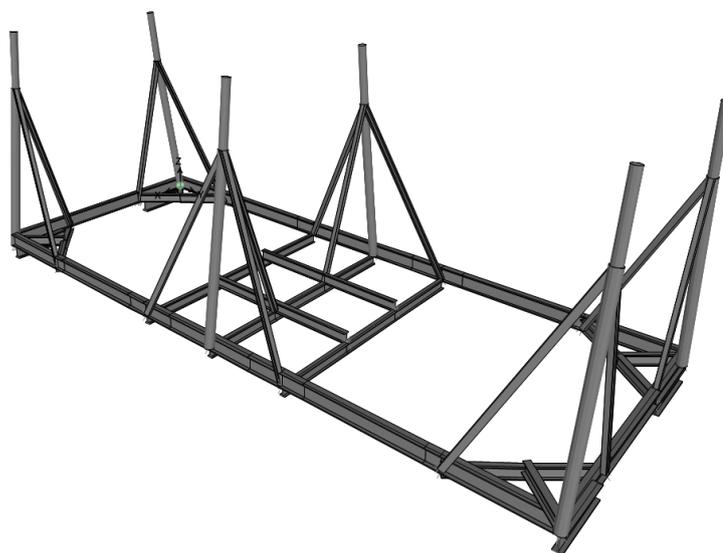


Figura 1 Struttura: vista estrusa

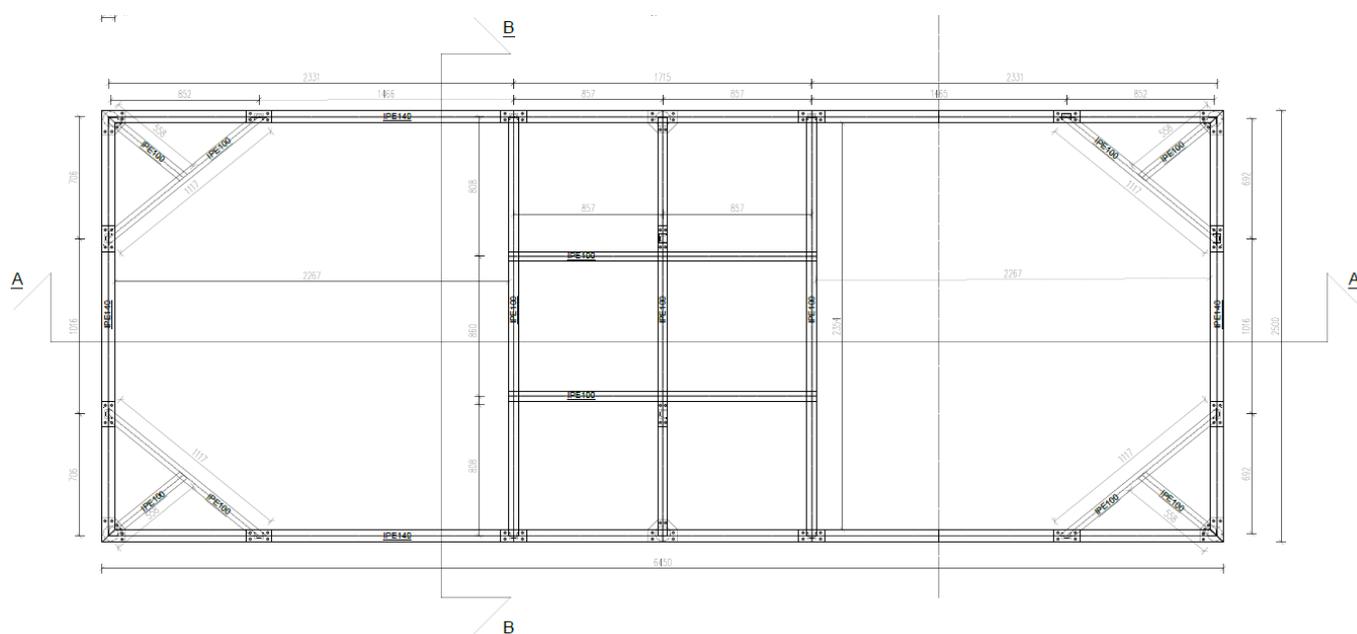


Figura 2 Pianta della struttura

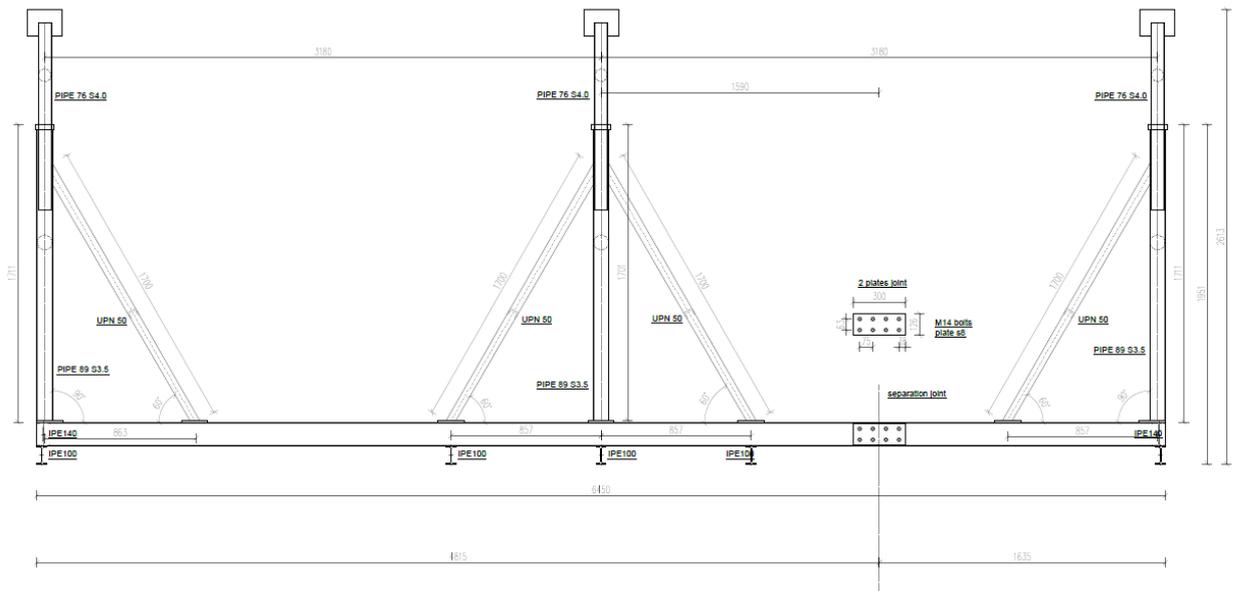


Figura 3 Vista laterale

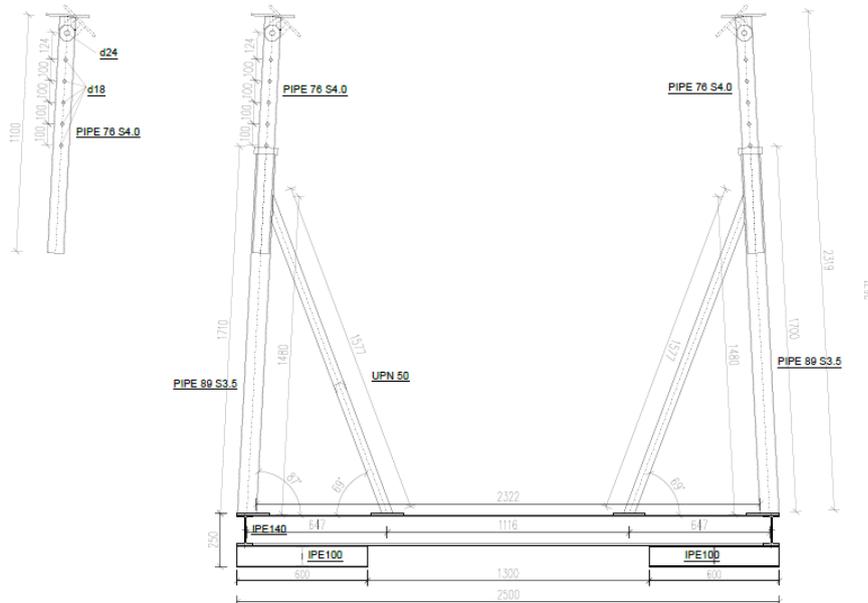


Figura 4 Vista laterale

## 2 NORMATIVA DI RIFERIMENTO

Nonostante si tratti di una apparecchiatura e non una struttura in carpenteria metallica, si procede comunque alla verifica la capacità della portante della stessa mediante: UNI EN 1993-2005 – Eurocodice 3 Progettazione delle strutture in acciaio; nello spirito di una verifica condotta in vantaggio di sicurezza statica

## 3 PRESCRIZIONI GENERALI

Prescrizione da osservare nel corso di utilizzo della struttura:

- In presenza di vento forte, tale da comportare l'instabilità della struttura in fase di esercizio, si deve provvedere ad assicurare la stessa contro il ribaltamento tramite legature esterne, oppure posizionandola in un luogo riparato;
- Tutti gli elementi uniti a innesto devono essere assicurati conto l'estrazione;

- Tutti gli elementi imbullonati devono essere controllati regolarmente e serrati nuovamente in caso di necessità
- La struttura deve essere esaminata ad intervalli regolari di tempo e sicuramente non oltre i 3 anni. Specificatamente si deve verificare:
  1. La struttura portante, in particolare le eventuali parti modificate, riparate o sostituite;
  2. La presenza di danni e corrosione;
  3. L'efficienza dei dispositivi di sicurezza (fermi per perni);

Qualora si dovesse riscontrare l'inosservanza di uno o più dei punti sopra elencati, si deve provvedere al celere ripristino delle condizioni come allo stato iniziale della fornitura. Pertanto i perni devono essere sempre dotati di dispositivo di sicurezza contro l'estrazione, i bulloni devono essere sempre ben serrati, le parti riparate o sostituite devono essere uguali o più resistenti a quelle presenti all'atto della fornitura e in caso di formazione di corrosione si deve applicare un nuovo strato protettivo sulla carpenteria.

Se nel corso dell'utilizzo dell'invaso, per motivi imprevisti o imprevedibili, si dovessero presentare danni di grave entità, quali ad esempio grandi deformazioni delle aste o rotture fragili degli elementi di carpenteria, tali che nessuna riparazione possa ripristinare la condizione della struttura uguale all'atto della fornitura si deve procedere alla dismissione della stessa.

L'esercizio della struttura nel mancato rispetto dei punti di cui sopra comporta una condizione di rischio per le cose e le persone, che interagiscono con la stessa.

Per il sollevamento della struttura in esercizio, al fine di operare in una condizione di sicurezza, si dovranno posizione le forche del sollevatore come rappresentato nella seguente illustrazione, prestando particolare attenzione nel posizionarle in posizione quanto più esterna. In questo modo la forca è in grado di assorbire direttamente il carico dal montante esterno, riducendo le sollecitazioni sulle carpenterie di base.

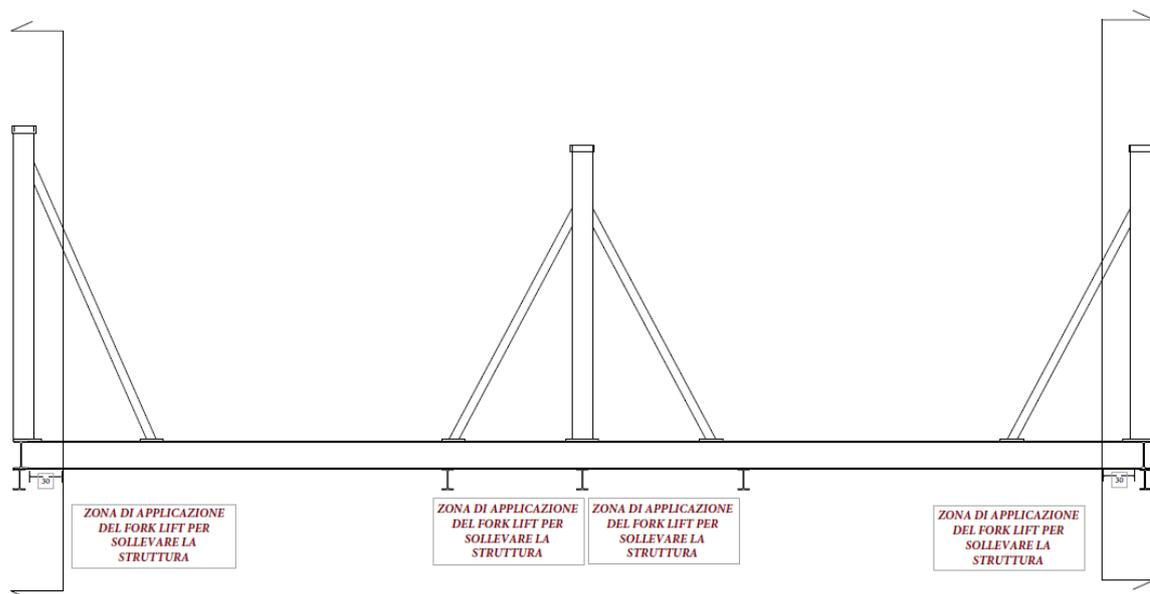


Figura 5 disposizione degli elementi sulla base

## 4 MATERIALI UTILIZZATI E SEZIONI IMPIEGATE

La struttura è formata interamente da aste d'acciaio zincate a caldo aventi la seguente sezione:

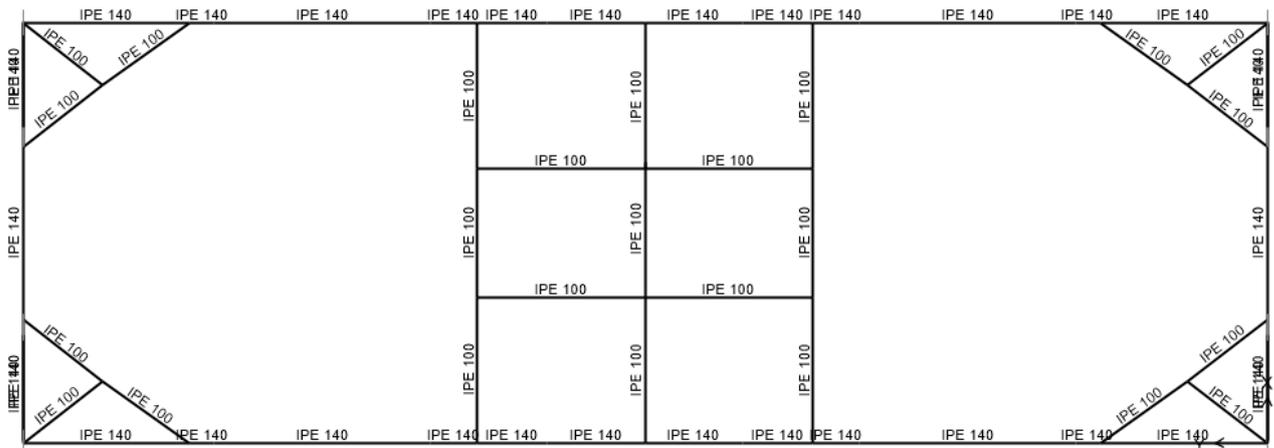


Figura 6 disposizione degli elementi sulla base

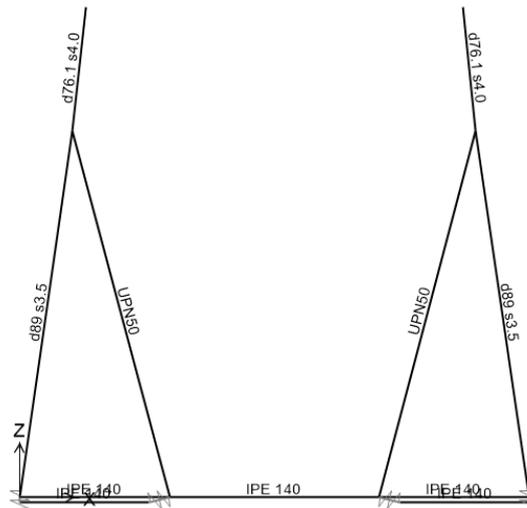


Figura 7 Disposizione degli elementi vista laterale

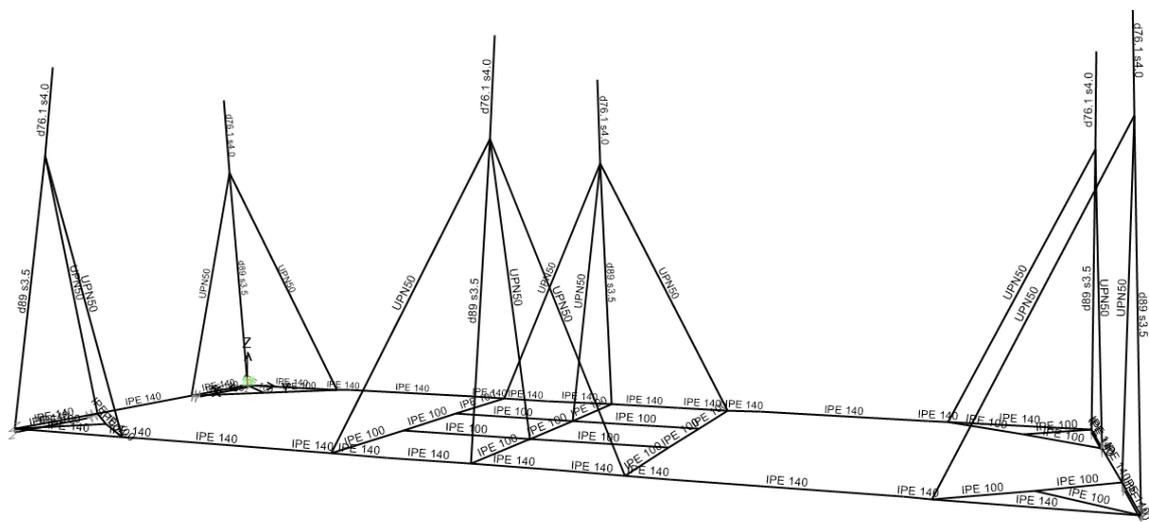


Figura 8 Disposizione degli elementi vista prospettica

**Section Name** d76.1 s4.0 Display Color ■

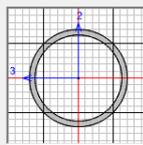
Section Notes Modify/Show Notes...

**Dimensions**

Outside diameter (  $t_3$  )

Wall thickness (  $t_w$  )

**Section**



**Material**  Property Modifiers Set Modifiers...

Section Properties...  
Time Dependent Properties...

**Section Name** d76.1 s4.0

**Properties**

Cross-section (axial) area	906,0353	Section modulus about 3 axis	15520,498
Moment of Inertia about 3 axis	590555,	Section modulus about 2 axis	15520,498
Moment of Inertia about 2 axis	590555,	Plastic modulus about 3 axis	20814,973
Product of Inertia about 2-3	0,	Plastic modulus about 2 axis	20814,973
Shear area in 2 direction	453,9463	Radius of Gyration about 3 axis	25,5304
Shear area in 3 direction	453,9463	Radius of Gyration about 2 axis	25,5304
Torsional constant	1181109,9	Shear Center Eccentricity (x3)	0,

**Section Name** d89 s3.5 Display Color ■

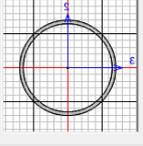
Section Notes Modify/Show Notes...

**Dimensions**

Outside diameter (  $t_3$  )

Wall thickness (  $t_w$  )

**Section**



**Material**  Property Modifiers Set Modifiers...

Section Properties...  
Time Dependent Properties...

**Section Name** d89 s3.5

**Properties**

Cross-section (axial) area	940,1216	Section modulus about 3 axis	19337,192
Moment of Inertia about 3 axis	860505,1	Section modulus about 2 axis	19337,192
Moment of Inertia about 2 axis	860505,1	Plastic modulus about 3 axis	25600,167
Product of Inertia about 2-3	0,	Plastic modulus about 2 axis	25600,167
Shear area in 2 direction	470,5856	Radius of Gyration about 3 axis	30,2541
Shear area in 3 direction	470,5856	Radius of Gyration about 2 axis	30,2541
Torsional constant	1721010,1	Shear Center Eccentricity (x3)	0,

**Section Name** IPE 100 Display Color ■

Section Notes Modify/Show Notes...

**Dimensions**

Outside height (  $t_3$  )

Top flange width (  $t_2$  )

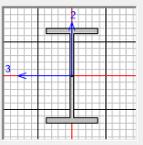
Top flange thickness (  $t_f$  )

Web thickness (  $t_w$  )

Bottom flange width (  $t_2b$  )

Bottom flange thickness (  $t_fb$  )

**Section**



**Material**  Property Modifiers Set Modifiers...

Section Properties...  
Time Dependent Properties...

**Section Name** IPE 100

**Properties**

Cross-section (axial) area	990,26	Section modulus about 3 axis	32664,54
Moment of Inertia about 3 axis	1633226,8	Section modulus about 2 axis	5766,0042
Moment of Inertia about 2 axis	158565,12	Plastic modulus about 3 axis	37609,26
Product of Inertia about 2-3	0,	Plastic modulus about 2 axis	8993,5915
Shear area in 2 direction	410,	Radius of Gyration about 3 axis	40,6115
Shear area in 3 direction	522,5	Radius of Gyration about 2 axis	12,654
Torsional constant	8323,1838	Shear Center Eccentricity (x3)	0,

**Section Name** IPE 140 Display Color ■

Section Notes Modify/Show Notes...

**Dimensions**

Outside height (  $t_3$  )

Top flange width (  $t_2$  )

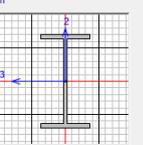
Top flange thickness (  $t_f$  )

Web thickness (  $t_w$  )

Bottom flange width (  $t_2b$  )

Bottom flange thickness (  $t_fb$  )

**Section**



**Material**  Property Modifiers Set Modifiers...

Section Properties...  
Time Dependent Properties...

**Section Name** IPE 140

**Properties**

Cross-section (axial) area	1600,54	Section modulus about 3 axis	75041,29
Moment of Inertia about 3 axis	5252891,	Section modulus about 2 axis	12286,614
Moment of Inertia about 2 axis	448461,4	Plastic modulus about 3 axis	85756,04
Product of Inertia about 2-3	0,	Plastic modulus about 2 axis	19081,99
Shear area in 2 direction	658,	Radius of Gyration about 3 axis	57,2883
Shear area in 3 direction	839,5	Radius of Gyration about 2 axis	16,739
Torsional constant	19300,433	Shear Center Eccentricity (x3)	0,

**Section Name** UPN50 Display Color ■

Section Notes Modify/Show Notes...

**Dimensions**

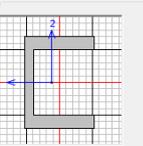
Outside depth (  $t_3$  )

Outside flange width (  $t_2$  )

Flange thickness (  $t_f$  )

Web thickness (  $t_w$  )

**Section**



**Material**  Property Modifiers Set Modifiers...

Section Properties...  
Time Dependent Properties...

**Section Name** UPN50

**Properties**

Cross-section (axial) area	712,	Section modulus about 3 axis	10701,173
Moment of Inertia about 3 axis	267529,33	Section modulus about 2 axis	4359,1951
Moment of Inertia about 2 axis	101008,43	Plastic modulus about 3 axis	13058,
Product of Inertia about 2-3	0,	Plastic modulus about 2 axis	7445,4286
Shear area in 2 direction	250,	Radius of Gyration about 3 axis	19,3841
Shear area in 3 direction	532,	Radius of Gyration about 2 axis	11,9107
Torsional constant	9049,6833	Shear Center Eccentricity (x3)	27,4957

Figura 9 Proprietà delle sezioni

**Frame Section Properties**

SectionName	Material	Shape	t3 m	t2 m	tf m	tw m	t2b m	tfb m
d76.1 s4.0	Q345	Pipe	0,0761			0,004		
d89 s3.5	Q345	Pipe	0,089			0,0035		
IPE 100	Q235	I/Wide Flange	0,1	0,055	0,0057	0,0041	0,055	0,0057
IPE 140	Q235	I/Wide Flange	0,14	0,073	0,0069	0,0047	0,073	0,0069
UPN50	Q235	Channel	0,05	0,038	0,007	0,005		

Figura 10 Resoconto sulle sezioni impiegate

Material	Fy KN/m2	Fu KN/m2
Q235	235000,	390000,
Q345	345000,	510000,

Figura 11 Caratteristiche meccaniche acciaio

## 5 ANALISI DEI CARICHI

Di seguito i carichi analizzati per la determinazione delle sollecitazioni

### 5.1 CARICO STRUTTURALE PERMANENTE

Rappresenta il peso proprio della struttura, è considerato direttamente in fasi di calcolo dal software strutturale

Material List				
Section	ObjectType	NumPieces	TotalLength m	TotalWeight KN
d89 s3.5	Frame	6	10,66	0,772
IPE 140	Frame	34	19,99	2,464
IPE 100	Frame	25	17,33	1,321
UPN50	Frame	14	26,75	1,467
d76.1 s4.0	Frame	6	3,57	0,249

Figura 12 Lunghezza e peso degli elementi di carpenteria

### 5.2 CARICO NON STRUTTURALE

Rappresenta il carico trasferito dalla barca a vela. Sulla base dell'ipotesi progettuale si assume che tale carico sia di 300kN (30t). Il carico si ipotizza uniformemente ripartito sui sei appoggi

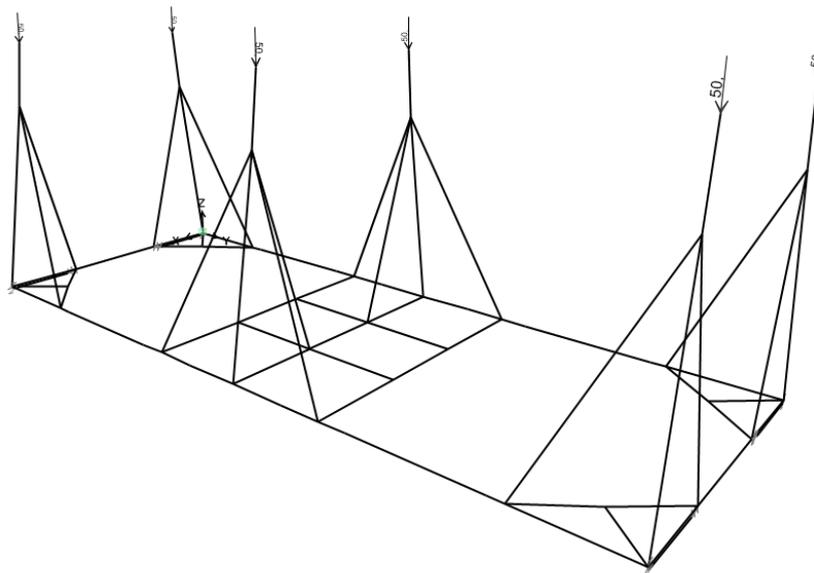


Figura 13 Carico verticale applicato sugli appoggi

Si tiene conto inoltre dell'azione trasversale del carico dovuto all'inclinazione dell'appoggio. In particolare si applicherà il 20% del carico verticale in direzione orizzontale uscente. Nell'immagine di seguito illustrata vi è il valore non ancora fattorizzato dal coefficiente 0.2.

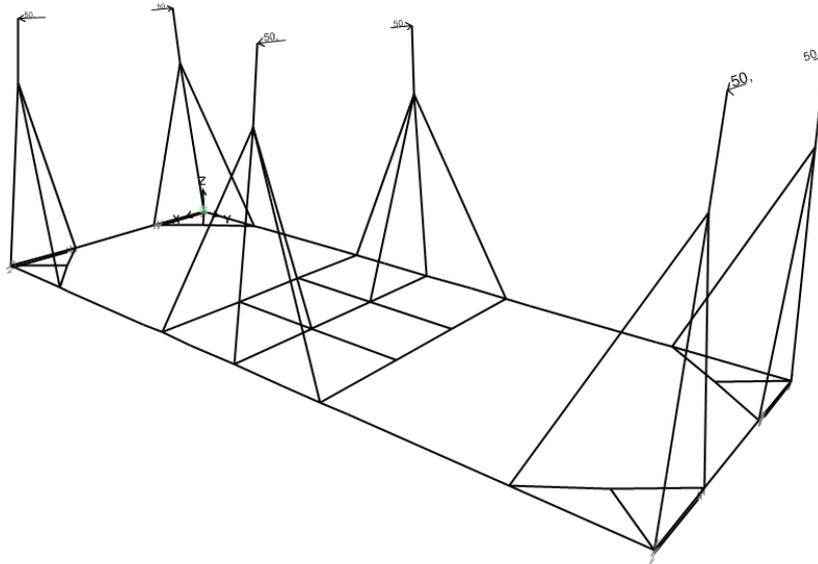


Figura 14 Carico orizzontale applicato sugli appoggi

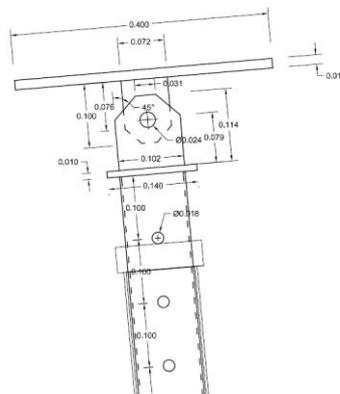


Figura 15 Particolare dell'appoggio

## 6 CASI DI CARICO

I casi di carico studiati nel modello agli elementi finiti sono i seguenti:

- Peso Proprio della struttura: DEAD
- Peso del carico di esercizio direzione verticale: VERT.
- Peso del carico di esercizio direzione verticale: ORIZ.

## 7 COMBINAZIONI DI CARICO

Verranno analizzate le combinazioni di carico allo SLU in accordo con le prescrizioni dell'EC-3:2005

<i>Combination Definitions</i>			
<i>ComboName</i>	<i>ComboType</i>	<i>CaseName</i>	<i>ScaleFactor</i>
SLU	Linear Add	DEAD	1,
SLU		ORIZ.	0,2
SLU		VERT.	1,

Figura 16 Combinazioni di carico

L'azione dei carichi verticali produce la sollecitazione più gravosa quando il coefficiente è unitario

## 8 CRITERI DI ANALISI DELLA SICUREZZA

Si utilizza il metodo semiprobabilistico agli stati limite. La verifica di sicurezza nei confronti degli stati limite ultimi di resistenza si effettua con il “metodo dei coefficienti parziali di sicurezza” espresso dalla seguente equazione formale:

$$R_d \leq E_d$$

in cui

**$R_d$**  è la resistenza di progetto, valutata in base ai valori di progetto della resistenza dei materiali e ai valori nominali delle grandezze geometriche interessate;

**$E_d$**  è il valore di progetto dell'effetto delle azioni, valutato in base ai valori di calcolo delle azioni.

$$R_d = R_k / \gamma_M$$

Per le verifiche di resistenza e stabilità si adottano i seguenti coefficienti parziali di sicurezza:

Coefficienti di sicurezza		
Resistenza e instabilità delle sezioni di classe 1-2-3-4	$\gamma_{M1}$	1.10
Resistenza delle sezioni nette in corrispondenza delle forature	$\gamma_{M1}$	1.25

Figura 17 Coef. di sicurezza Acciaio

Per la verifica delle unioni si adottano i seguenti coefficienti parziali di sicurezza:

Coefficienti di sicurezza		
Resistenza dei bulloni	$\gamma_{M2}$	1.25
Resistenza a scorrimento SLU	$\gamma_{M3}$	1.25
Resistenza a scorrimento SLE	$\gamma_{M3_{ser}}$	1.10
Precarico di bulloni ad alta resistenza	$\gamma_{M7}$	1.10

Figura 18 Coef. di sicurezza bulloni

## 9 MODELLAZIONE DELLA STRUTTURA

La struttura è modellata con elementi trave (beam), vincolata a terra su un sistema di appoggi lineari atti a simulare il contatto a terra del profilo metallico. Si conduce un'analisi lineare statica.

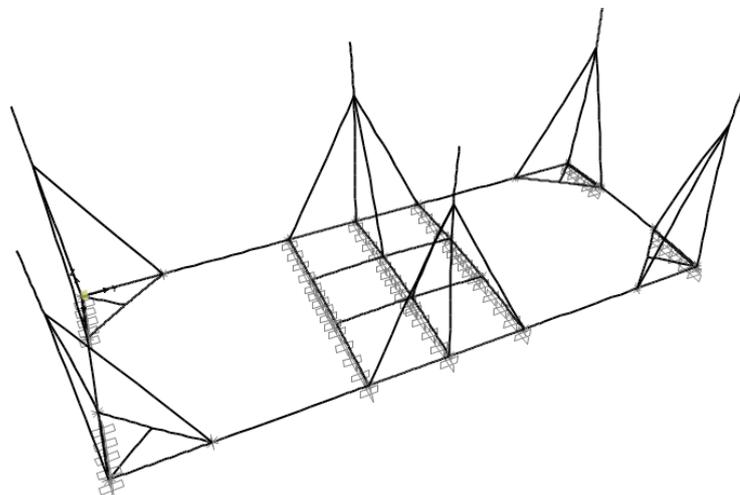


Figura 19 Schema di vincolo per condizione di stazionamento

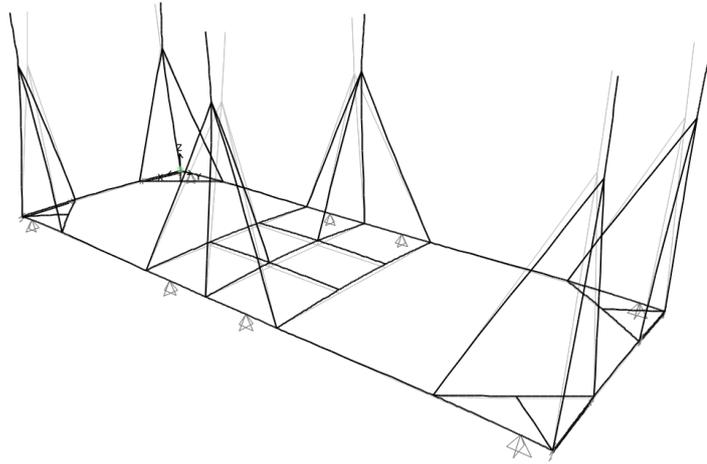


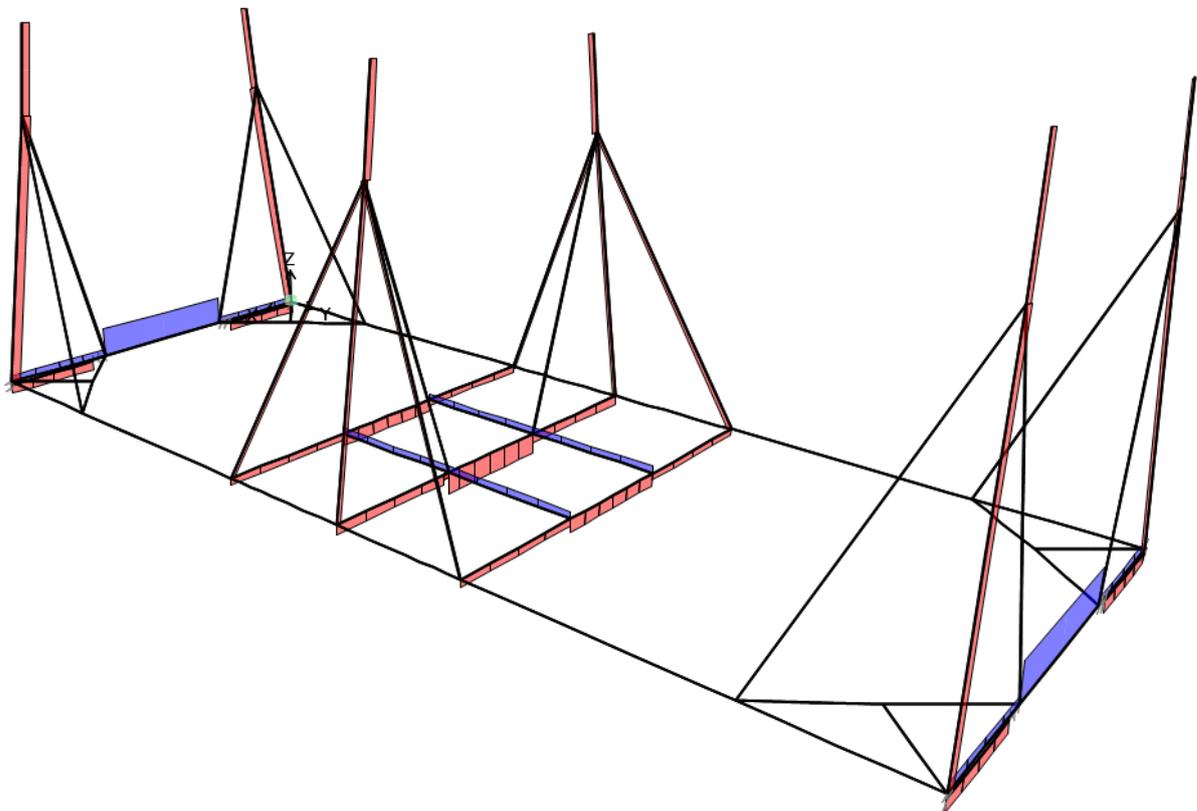
Figura 20 Schema di vincolo per condizione di spostamento sulle forche

Il software utilizzato per la modellazione è SAP2000 v20.2.0 - License #2010\*13BXT84XCU66RQH  
 Intestato all'ing. Davide Cicchini

## 10 SOLLECITAZIONI

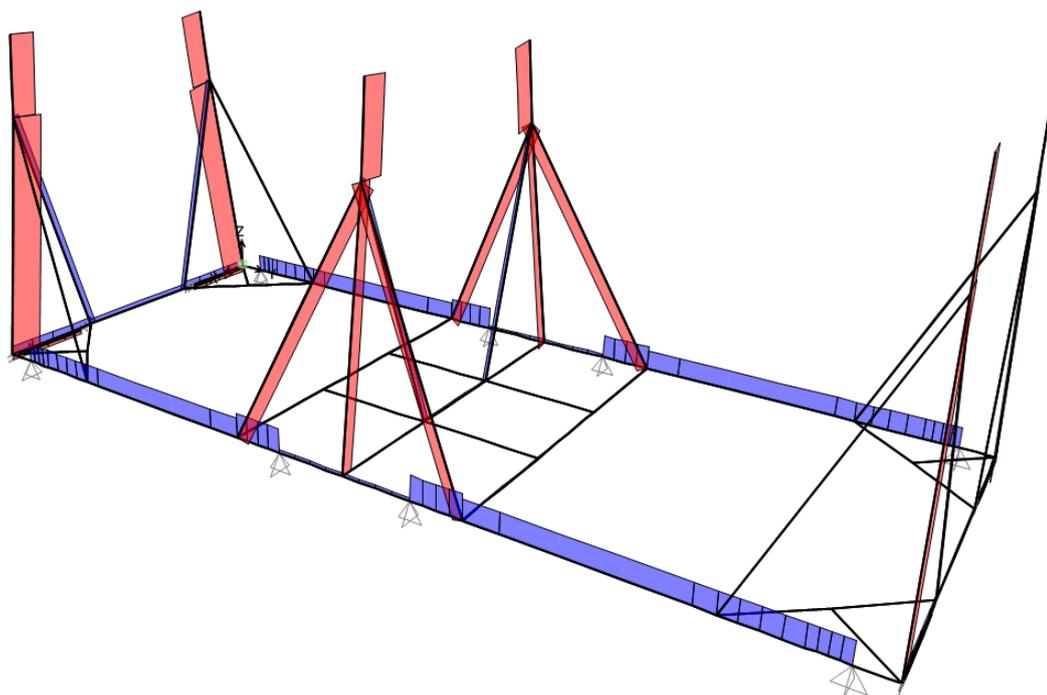
Di seguito le sollecitazioni predominanti per la struttura, ossia lo sforzo normale e momento flettente. Subito dopo il campo di spostamento allo stato limite di esercizio. Nei tabulati allegati sono riportate le caratteristiche di sollecitazione di tutti gli elementi.

### 10.1 SFORZO NORMALE SLU



Min=-62 kN Max=194 kN

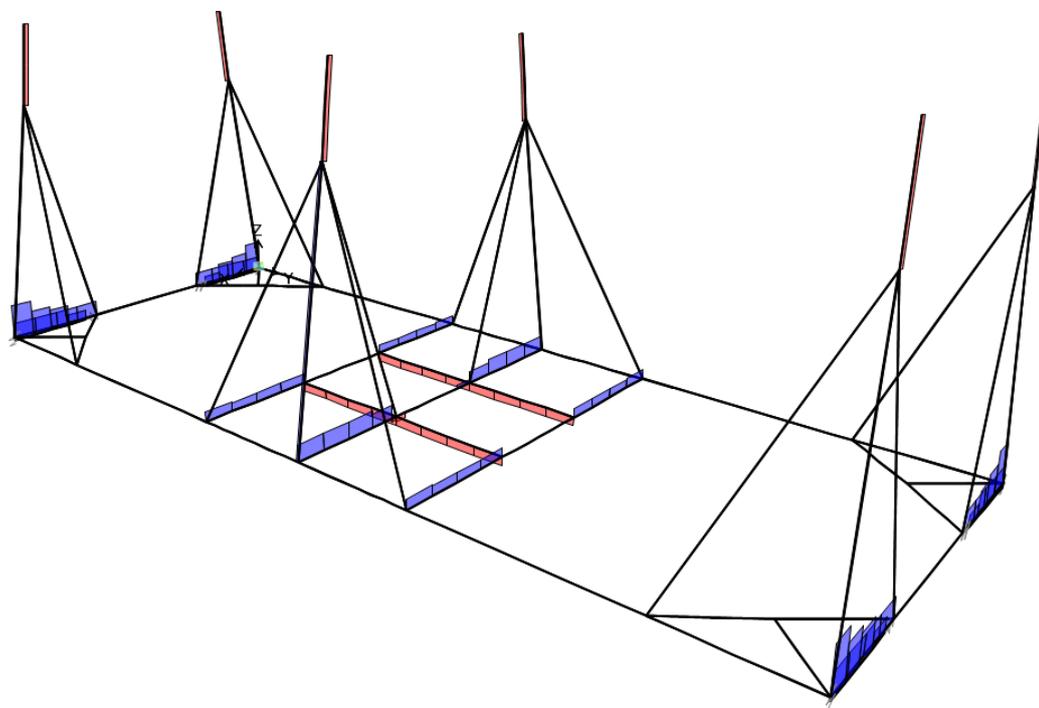
Figura 21 Sforzo Normale SLU condizione poggia



Min=-62 kN Max=35 kN

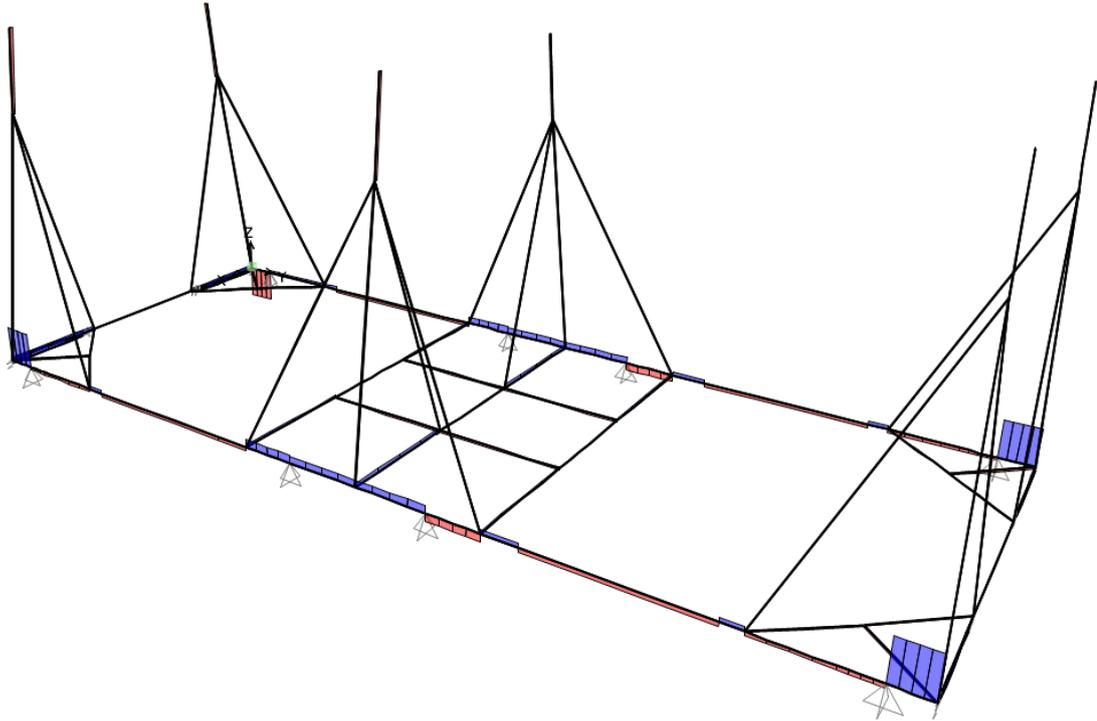
Figura 22 Sforzo Normale SLU condizione sulle forche

## 10.2 TAGLIO SLU



Min=-7 kN Max=34 kN

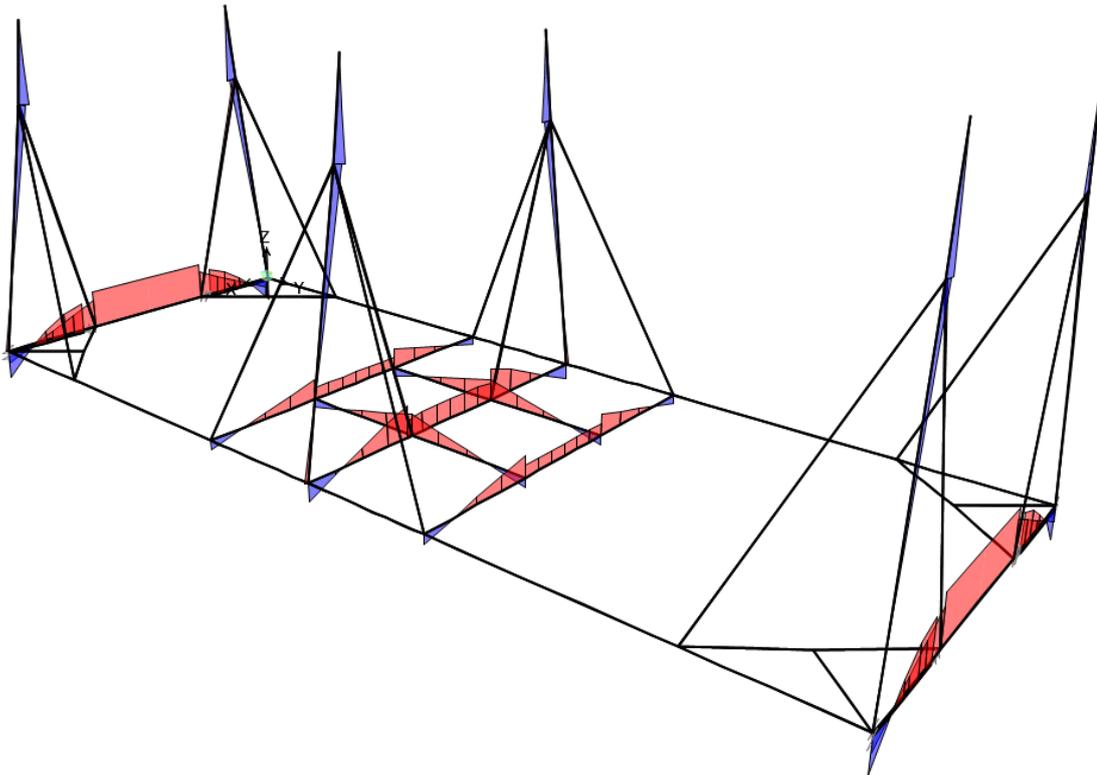
Figura 23 Taglio SLU condizione poggiate



Min=-52 kN Max=52 kN

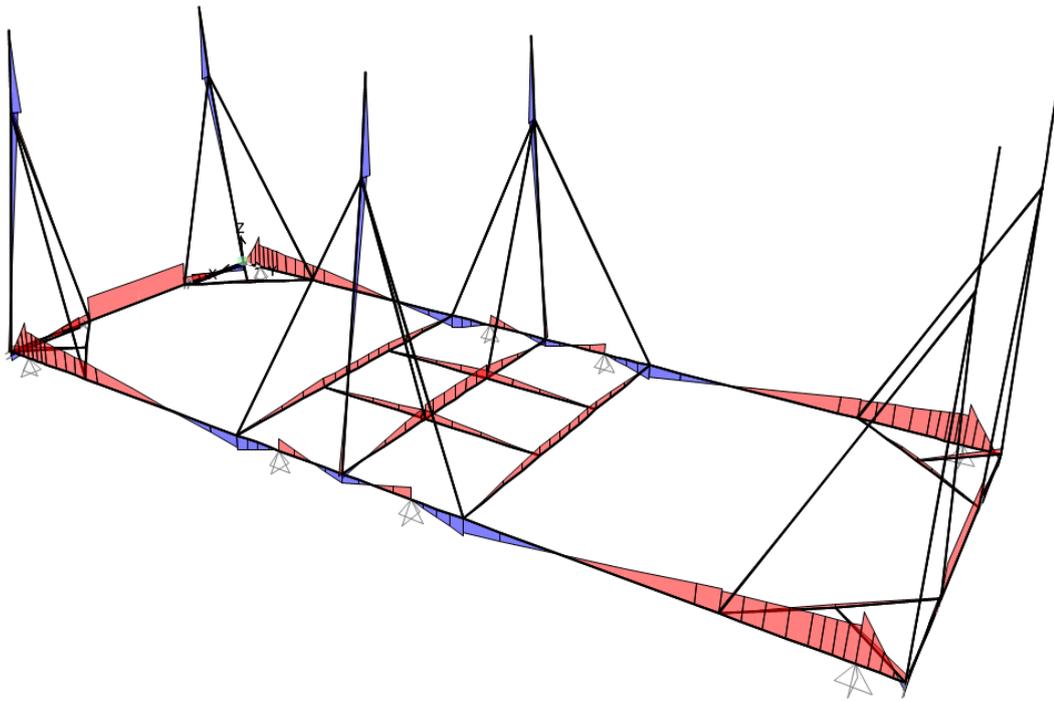
Figura 24 Taglio SLU condizione sulle forche

### 10.3 MOMENTO FLETTENTE SLU



Min=-10 kNm Max=4 kNm

Figura 25 Momento flettente SLU condizione poggiata



Min=-10 kNm Max=4 kNm

Figura 26 Momento flettente SLU condizione sulle forche

Di seguito le sollecitazioni sullo stelo, nella posizione di massima altezza, analoghe sia nella condizione poggiata a terra che nella situazione sollevata sulle forche.

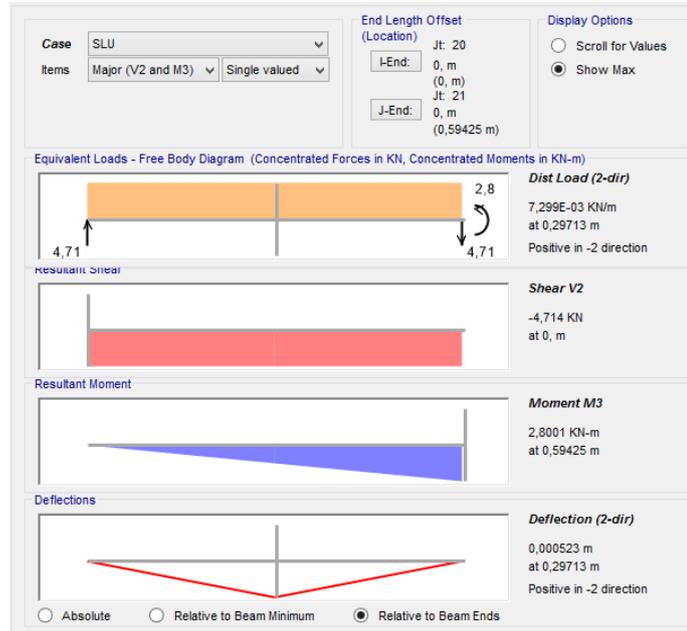


Figura 27 Sollecitazioni sullo stelo

### 10.4 STRESS (S11 max/min)

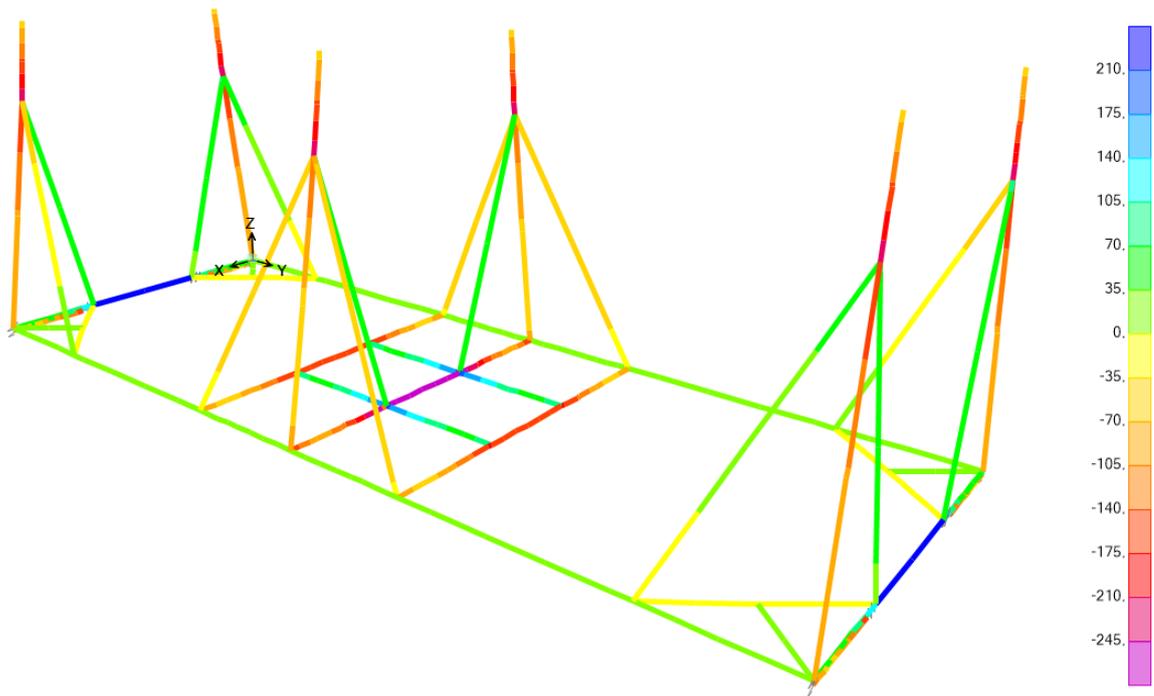


Figura 28 Stress s11 (massimo/minimo) per la struttura poggiata a terra, sottoposta al carico massimo di progetto

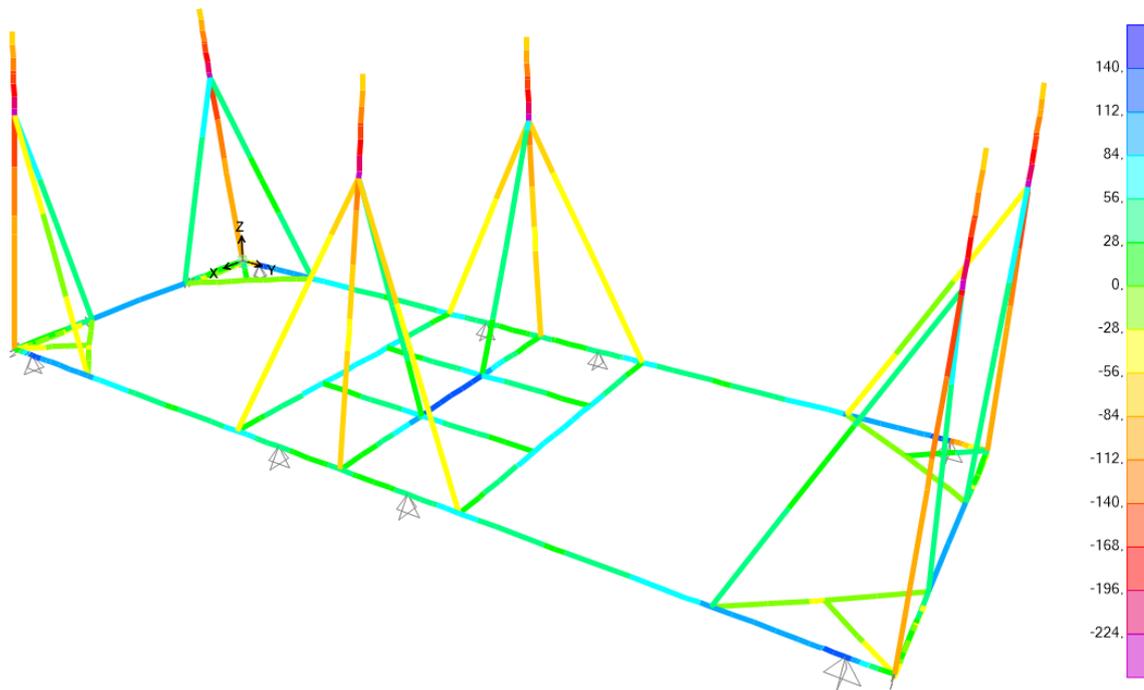


Figura 29 Stress s11 (massimo/minimo) per la struttura sollevata sulle forche, sottoposta al carico massimo di progetto

## 10.5 SPOSTAMENTI SOTTO CARICO

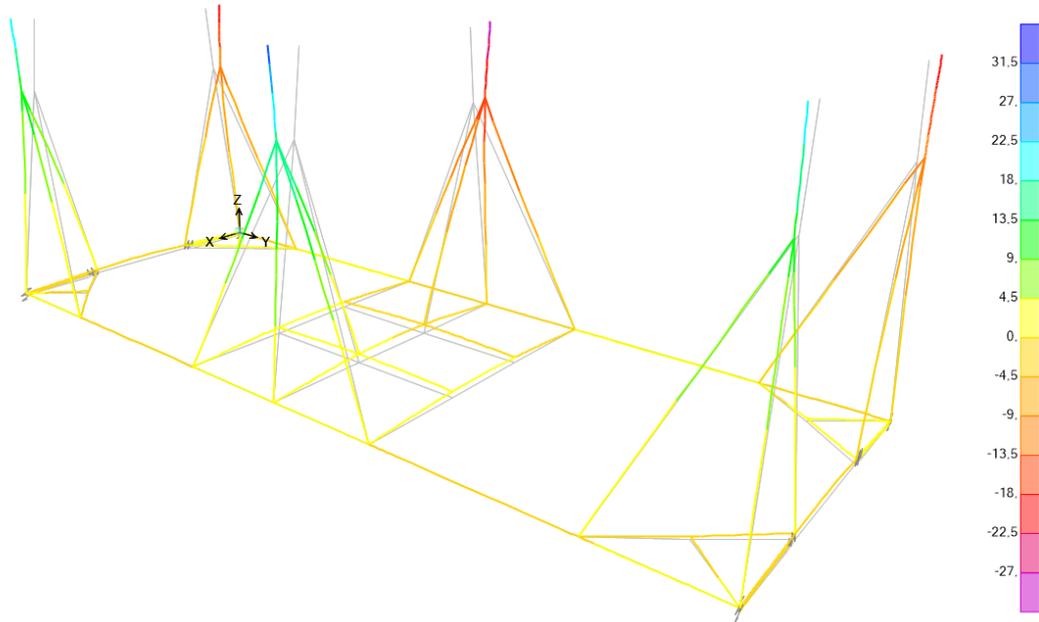


Figura 30 Deformata della struttura sottoposta al carico di progetto quando è poggiata a terra

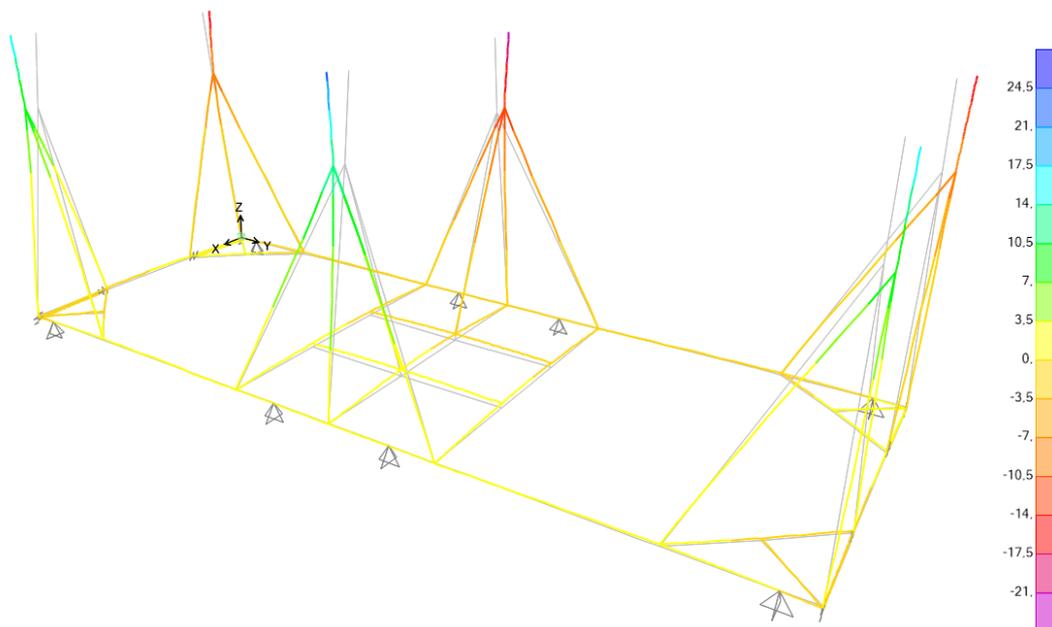


Figura 31 Deformata della struttura sottoposta al carico di progetto quando è sollevata sulle forche

## 11 VERIFICA DEFORMAZIONI

Per questa tipologia di apparecchiature non sono previste particolari prescrizioni, comunque gli spostamenti ricavati in fase di calcolo sono compatibili con il corretto funzionamento della stessa, pertanto si ritengono accettabili

## 12 VERIFICA SLU

### 12.1 VERIFICA A TRAZIONE

L'azione assiale di calcolo  $N_{Ed}$  deve rispettare la seguente condizione:

$$N_{pl,Rd} = \frac{A f_{yk}}{\gamma_{M0}}$$

Se il valore appena calcolato è maggiore della sollecitazione di trazione individuata nel modello agli elementi finiti, la verifica è soddisfatta. Le verifiche sono riportati nei tabulati allegati.

## 12.2 VERIFICA DELLA STABILITA' DELLE ASTE COMPRESSE

Le sezioni analizzate si considerano tutte in classe 2.

La verifica di stabilità di un'asta si effettua nell'ipotesi che la sezione trasversale sia uniformemente compressa. Deve essere

$$\frac{N_{Ed}}{N_{b,Rd}} \leq 1 \quad N_{b,Rd} = \frac{\chi A f_{yk}}{\gamma_{M1}}$$

Dove:  $N_{Ed}$  è l'azione di compressione di calcolo,  $N_{b,Rd}$  è la resistenza all'instabilità nell'asta compressa.

I coefficienti  $\chi$  dipendono dal tipo di sezione e dal tipo di acciaio impiegato; essi si desumono, in funzione di appropriati valori della snellezza adimensionale  $\bar{\lambda}$ , dalla seguente formula:

$$\chi = \frac{1}{\Phi + \sqrt{\Phi^2 - \bar{\lambda}^2}} \leq 1.0 \quad \Phi = 0.5 [1 + \alpha (\bar{\lambda} - 0.2) + \bar{\lambda}^2]$$

$\alpha$  è il fattore di imperfezione

$$\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{A \cdot f_{yk}}{N_{cr}}}$$

$N_{cr}$  è il carico critico elastico basato sulle proprietà della sezione lorda e sulla lunghezza di libera inflessione  $l_0$  dell'asta, che nel caso in esame è assunta pari alla lunghezza reale dell'asta. La snellezza dell'asta è calcolata dal rapporto tra la lunghezza libera di inflessione diviso il raggio d'inerzia della sezione nella direzione analizzata. Le verifiche sono riportati nei tabulati allegati.

## 12.3 VERIFICA A FLESSIONE

Il momento flettente di calcolo  $M_{Ed}$  deve rispettare la seguente condizione:

$$\frac{M_{Ed}}{M_{c,Rd}} \leq 1 \quad M_{c,Rd} = M_{pl,Rd} = \frac{W_{pl} \cdot f_{yk}}{\gamma_{M0}}$$

Dove  $W_{pl}$  è il modulo di resistenza a flessione plastico. La verifica si esegue nei confronti del massimo momento flettente. Le verifiche sono riportati nei tabulati allegati.

## 12.4 VERIFICA A TAGLIO

Il valore di calcolo dell'azione tagliante  $V_{Ed}$  deve rispettare la condizione (In assenza di torsione):

$$\frac{V_{Ed}}{V_{c,Rd}} \leq 1 \quad V_{c,Rd} = \frac{A_v \cdot f_{yk}}{\sqrt{3} \cdot \gamma_{M0}}$$

Dove A è l'area lorda del profilo; b è la base del profilo e h è l'altezza.

Si osserva che per la struttura in esame la sollecitazione di torsione è assolutamente trascurabile.

## 12.5 VERIFICA DI STABILITA' DELLE MEMBRATURE PRESSO-INFLESSE

$$\frac{N_{Ed} \cdot \gamma_{M1}}{\chi_{min} \cdot f_{yk} \cdot A} + \frac{M_{ycq,Ed} \cdot \gamma_{M1}}{W_y \cdot f_{yk} \cdot (1 - N_{Ed}/N_{cr,y})} + \frac{M_{zeq,Ed} \cdot \gamma_{M1}}{W_z \cdot f_{yk} \cdot (1 - N_{Ed}/N_{cr,z})} \leq 1$$

## 12.6 RAPPORTO TRA DOMANDA/CAPACITA' PER LA STRUTTURA POGGIATA A TERRA

Steel Design - Eurocode 3-2005

Frame	Location m	Combo	DesignSect	DesignType	Ratio	RatioType
1	0,59425	SLU	d76.1 s4.0	Column	0,580112	PMM
2	0,	SLU	d89 s3.5	Brace	0,443121	PMM
3	0,35648	SLU	IPE 140	Beam	0,37964	PMM
5	1,81831	SLU	UPN50	Brace	0,274977	PMM
6	0,35648	SLU	IPE 140	Beam	0,380748	PMM
7	0,59425	SLU	d76.1 s4.0	Column	0,580112	PMM
8	0,	SLU	d89 s3.5	Brace	0,335108	PMM
9	0,41898	SLU	IPE 100	Beam	0,951797	PMM
10	1,85396	SLU	UPN50	Brace	0,198045	PMM
11	0,62847	SLU	IPE 100	Beam	0,931661	PMM
13	1,9705	SLU	UPN50	Brace	0,154239	PMM
15	0,	SLU	UPN50	Brace	0,615206	PMM
16	0,41898	SLU	IPE 100	Beam	0,78857	PMM
17	0,	SLU	IPE 100	Beam	0,600438	PMM
18	0,59425	SLU	d76.1 s4.0	Column	0,580112	PMM
19	0,	SLU	d89 s3.5	Brace	0,334806	PMM
20	1,85396	SLU	UPN50	Brace	0,201071	PMM
21	0,98633	SLU	UPN50	Brace	0,615622	PMM
22	0,62847	SLU	IPE 100	Beam	0,783837	PMM
23	0,	SLU	IPE 100	Beam	0,589621	PMM
26	0,59425	SLU	d76.1 s4.0	Column	0,580112	PMM
27	0,	SLU	d89 s3.5	Brace	0,443471	PMM
28	1,81831	SLU	UPN50	Brace	0,276625	PMM
29	1,9705	SLU	UPN50	Brace	0,149965	PMM
31	0,	SLU	IPE 140	Beam	0,009485	PMM
32	0,736	SLU	IPE 140	Beam	0,009415	PMM
33	0,98633	SLU	UPN50	Brace	0,617967	PMM
34	0,41898	SLU	IPE 100	Beam	0,803334	PMM
35	0,	SLU	IPE 100	Beam	0,600219	PMM
36	0,	SLU	UPN50	Brace	0,612966	PMM
37	0,41898	SLU	IPE 100	Beam	0,784112	PMM
38	0,	SLU	IPE 100	Beam	0,589885	PMM
40	0,	SLU	d89 s3.5	Brace	0,443422	PMM
41	0,35648	SLU	IPE 140	Beam	0,379357	PMM
43	1,81831	SLU	UPN50	Brace	0,276281	PMM
44	0,35648	SLU	IPE 140	Beam	0,38103	PMM
45	0,426	SLU	IPE 140	Beam	0,009165	PMM
46	1,9705	SLU	UPN50	Brace	0,150556	PMM
47	0,59425	SLU	d76.1 s4.0	Column	0,580112	PMM
48	0,	SLU	d89 s3.5	Brace	0,443184	PMM
49	1,81831	SLU	UPN50	Brace	0,274746	PMM
50	1,9705	SLU	UPN50	Brace	0,153691	PMM
51	0,	SLU	IPE 140	Beam	0,010297	PMM
52	0,736	SLU	IPE 140	Beam	0,009484	PMM
53	0,	SLU	IPE 140	Beam	0,024068	PMM
54	0,	SLU	IPE 140	Beam	0,023804	PMM

Steel Design - Eurocode 3-2005

Frame	Location m	Combo	DesignSect	DesignType	Ratio	RatioType
56	0,59425	SLU	d76.1 s4.0	Column	0,580112	PMM
69	0,	SLU	IPE 140	Beam	0,007003	PMM
70	0,	SLU	IPE 140	Beam	0,016476	PMM
71	0,	SLU	IPE 140	Beam	0,011171	PMM
72	0,1785	SLU	IPE 140	Beam	0,01322	PMM
73	0,	SLU	IPE 140	Beam	0,016608	PMM
74	0,	SLU	IPE 140	Beam	0,007014	PMM
76	0,736	SLU	IPE 140	Beam	0,009609	PMM
78	0,736	SLU	IPE 140	Beam	0,009536	PMM
79	0,	SLU	IPE 140	Beam	0,02358	PMM
80	0,	SLU	IPE 140	Beam	0,023775	PMM
81	0,	SLU	IPE 140	Beam	0,006713	PMM
82	0,	SLU	IPE 140	Beam	0,016607	PMM
83	0,	SLU	IPE 140	Beam	0,0111	PMM
85	0,	SLU	IPE 140	Beam	0,016464	PMM
86	0,	SLU	IPE 140	Beam	0,006696	PMM
55	0,1785	SLU	IPE 140	Beam	0,013007	PMM
75	0,426	SLU	IPE 140	Beam	0,009637	PMM
92	0,99191	SLU	IPE 140	Beam	0,847743	PMM
93	0,	SLU	IPE 140	Beam	0,84778	PMM
14	0,65159	SLU	IPE 100	Beam	0,936115	PMM
39	0,12365	SLU	IPE 100	Beam	0,834252	PMM
77	0,4946	SLU	IPE 100	Beam	0,834388	PMM
91	0,30648	SLU	IPE 140	Beam	0,596842	PMM
94	0,30648	SLU	IPE 140	Beam	0,59728	PMM
95	0,30648	SLU	IPE 140	Beam	0,596968	PMM
96	0,30648	SLU	IPE 140	Beam	0,597168	PMM
97	0,42822	SLU	IPE 100	Beam	0,018665	PMM
98	0,40522	SLU	IPE 100	Beam	0,034941	PMM
99	0,28548	SLU	IPE 100	Beam	0,01874	PMM
100	0,27014	SLU	IPE 100	Beam	0,034126	PMM
101	0,27014	SLU	IPE 100	Beam	0,020209	PMM
102	0,27014	SLU	IPE 100	Beam	0,020481	PMM
104	0,	SLU	IPE 100	Beam	0,015451	PMM
105	0,27014	SLU	IPE 100	Beam	0,023269	PMM
106	0,	SLU	IPE 100	Beam	0,01503	PMM
108	0,	SLU	IPE 100	Beam	0,024254	PMM
109	0,	SLU	IPE 100	Beam	0,015325	PMM
110	0,	SLU	IPE 100	Beam	0,015699	PMM

**PMM:** La verifica che produce il massimo rapporto tra domanda e capacità è l'instabilità a pressoflessione deviata

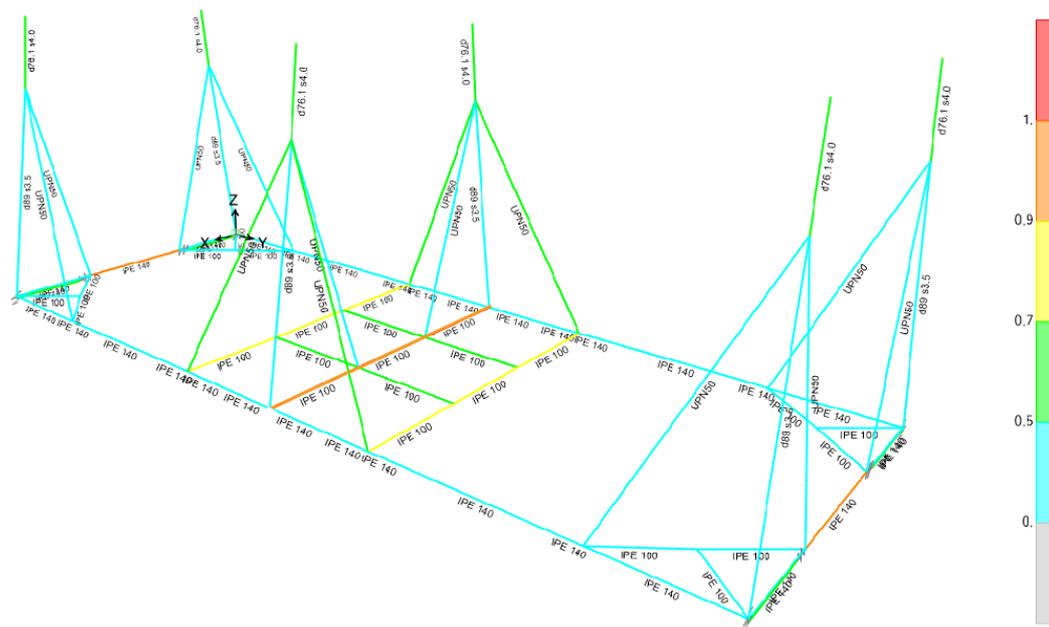


Figura 32 Resoconto grafico sulle verifiche, quando la struttura poggia a terra

## 12.7 COEFFICIENTI DOMANDA/CAPACITA' PER LA STRUTTURA SOLLEVATA SULLE FORCHE

**Steel Design Eurocode 3-2005**

Frame	Location m	Combo	DesignSect	DesignType	Ratio	RatioType
1	0,59425	SLU	d76.1 s4.0	Column	0,607736	PMM
2	0,	SLU	d89 s3.5	Brace	0,46248	PMM
3	0,35648	SLU	IPE 140	Beam	0,140567	PMM
5	1,81831	SLU	UPN50	Brace	0,314357	PMM
6	0,35648	SLU	IPE 140	Beam	0,14035	PMM
7	0,59425	SLU	d76.1 s4.0	Column	0,607736	PMM
8	0,	SLU	d89 s3.5	Brace	0,330976	PMM
9	0,20949	SLU	IPE 100	Beam	0,45444	PMM
10	1,85396	SLU	UPN50	Brace	0,234048	PMM
11	0,20949	SLU	IPE 100	Beam	0,451258	PMM
13	0,	SLU	UPN50	Brace	0,202368	PMM
15	0,98633	SLU	UPN50	Brace	0,677921	PMM
16	0,	SLU	IPE 100	Beam	0,311028	PMM
17	0,	SLU	IPE 100	Beam	0,315647	PMM
18	0,59425	SLU	d76.1 s4.0	Column	0,607736	PMM
19	0,	SLU	d89 s3.5	Brace	0,330418	PMM
20	1,85396	SLU	UPN50	Brace	0,236663	PMM
21	0,98633	SLU	UPN50	Brace	0,679043	PMM
22	0,	SLU	IPE 100	Beam	0,310857	PMM
23	0,	SLU	IPE 100	Beam	0,308785	PMM
26	0,59425	SLU	d76.1 s4.0	Column	0,607736	PMM
27	0,	SLU	d89 s3.5	Brace	0,462923	PMM
28	1,81831	SLU	UPN50	Brace	0,315174	PMM
29	0,	SLU	UPN50	Brace	0,193031	PMM
32	0,	SLU	IPE 140	Beam	0,244591	PMM
33	0,98633	SLU	UPN50	Brace	0,680295	PMM
34	0,	SLU	IPE 100	Beam	0,310925	PMM
35	0,	SLU	IPE 100	Beam	0,315348	PMM
36	0,98633	SLU	UPN50	Brace	0,676782	PMM
37	0,	SLU	IPE 100	Beam	0,310914	PMM
38	0,	SLU	IPE 100	Beam	0,309105	PMM
40	0,	SLU	d89 s3.5	Brace	0,46295	PMM
41	0,35648	SLU	IPE 140	Beam	0,140201	PMM
43	1,81831	SLU	UPN50	Brace	0,315213	PMM
44	0,35648	SLU	IPE 140	Beam	0,140701	PMM
46	0,	SLU	UPN50	Brace	0,192748	PMM
47	0,59425	SLU	d76.1 s4.0	Column	0,607736	PMM
48	0,	SLU	d89 s3.5	Brace	0,46247	PMM
49	1,81831	SLU	UPN50	Brace	0,314278	PMM
50	0,	SLU	UPN50	Brace	0,202412	PMM
52	0,	SLU	IPE 140	Beam	0,245086	PMM
53	0,25	SLU	IPE 140	Beam	0,150752	PMM
54	0,25	SLU	IPE 140	Beam	0,150222	PMM
56	0,59425	SLU	d76.1 s4.0	Column	0,607736	PMM
69	0,125	SLU	IPE 140	Beam	0,259162	PMM
70	0,238	SLU	IPE 140	Beam	0,170973	PMM
71	0,	SLU	IPE 140	Beam	0,204047	PMM
72	0,357	SLU	IPE 140	Beam	0,203547	PMM
73	0,	SLU	IPE 140	Beam	0,171116	PMM
74	0,125	SLU	IPE 140	Beam	0,25922	PMM
76	0,	SLU	IPE 140	Beam	0,241432	PMM
78	0,	SLU	IPE 140	Beam	0,241838	PMM
79	0,25	SLU	IPE 140	Beam	0,151818	PMM
80	0,25	SLU	IPE 140	Beam	0,152318	PMM
81	0,125	SLU	IPE 140	Beam	0,258934	PMM
82	0,238	SLU	IPE 140	Beam	0,171362	PMM
83	0,	SLU	IPE 140	Beam	0,203869	PMM

**Steel Design Eurocode 3-2005**

Frame	Location m	Combo	DesignSect	DesignType	Ratio	RatioType
85	0,	SLU	IPE 140	Beam	0,171216	PMM
86	0,125	SLU	IPE 140	Beam	0,258868	PMM
55	0,357	SLU	IPE 140	Beam	0,20438	PMM
92	0,	SLU	IPE 140	Beam	0,455129	PMM
93	0,	SLU	IPE 140	Beam	0,455246	PMM
14	0,26064	SLU	IPE 100	Beam	0,529791	PMM
39	0,	SLU	IPE 100	Beam	0,336083	PMM
77	0,	SLU	IPE 100	Beam	0,336202	PMM
91	0,30648	SLU	IPE 140	Beam	0,198964	PMM
94	0,30648	SLU	IPE 140	Beam	0,200358	PMM
95	0,30648	SLU	IPE 140	Beam	0,199341	PMM
96	0,30648	SLU	IPE 140	Beam	0,199993	PMM
97	0,28548	SLU	IPE 100	Beam	0,099842	PMM
98	0,27014	SLU	IPE 100	Beam	0,106864	PMM
99	0,14274	SLU	IPE 100	Beam	0,100476	PMM
100	0,27014	SLU	IPE 100	Beam	0,106113	PMM
101	0,27014	SLU	IPE 100	Beam	0,187764	PMM
102	0,27014	SLU	IPE 100	Beam	0,187571	PMM
104	0,28548	SLU	IPE 100	Beam	0,11219	PMM
105	0,	SLU	IPE 100	Beam	0,108383	PMM
106	0,	SLU	IPE 100	Beam	0,195673	PMM
108	0,	SLU	IPE 100	Beam	0,1093	PMM
109	0,28548	SLU	IPE 100	Beam	0,111705	PMM
110	0,27014	SLU	IPE 100	Beam	0,195028	PMM
12	0,	SLU	IPE 140	Beam	0,369004	PMM
25	0,	SLU	IPE 140	Beam	0,367897	PMM
31	0,	SLU	IPE 140	Beam	0,369607	PMM
42	0,213	SLU	IPE 140	Beam	0,366804	PMM
51	0,213	SLU	IPE 140	Beam	0,593329	Major Shear
57	0,	SLU	IPE 140	Beam	0,420852	PMM
58	0,213	SLU	IPE 140	Beam	0,593533	Major Shear
59	0,	SLU	IPE 140	Beam	0,426041	PMM
60	0,213	SLU	IPE 140	Beam	0,592952	Major Shear
61	0,	SLU	IPE 140	Beam	0,421298	PMM
62	0,	SLU	IPE 140	Beam	0,426483	PMM
63	0,	SLU	IPE 140	Beam	0,593152	Major Shear

**PMM:** La verifica che produce il massimo rapporto tra domanda e capacità è l'instabilità a pressoflessione deviata

**Major Shear:** La Verifica che produce il massimo rapporto tra domanda e capacità è la verifica a taglio.

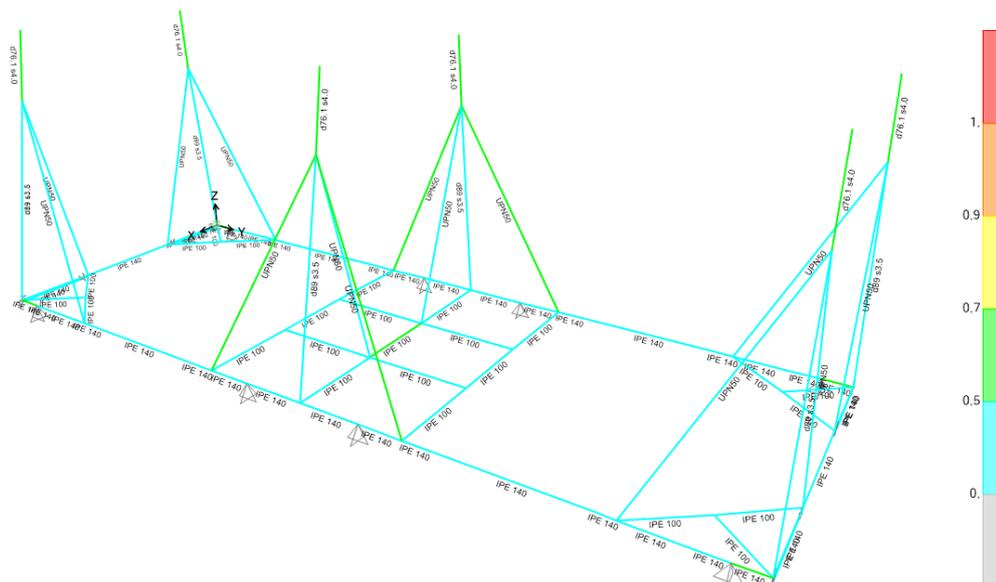


Figura 33 Resoconto grafico sulle verifiche, quando la struttura è sollevata sulle forche

## 12.8 VERIFICA DELLE UNIONI

### 12.8.1 VERIFICA DELLE UNIONI BULLONATE

Si verifica la condizione più gravosa per gli elementi dell'apparecchiatura, in particolare si analizza:

- Attacco alla base dell'asta
- Attacco del supporto diagonale (UPN50)
- Perno dello stelo
- Collegamento di base

#### 12.8.1.1 ATTACCO ALLA BASE DELLO STELO

Si valuta la condizione sollevata sulle forche, che produce le sollecitazioni maggiori:

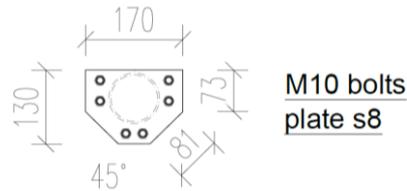


Figura 34 Unione alla base dello stelo

Somma dei tagli al nodo:  $5.2+9.6+1.7= 16.5\text{kN}$

Si ripartisce il carico su 4 bulloni  $16.5/4= 4.13\text{kN}$

L'azione di compressione stabilizzante viene trascurata

Si utilizzano bulloni classe 5.6

La piastra di accoppiamento è spessa 8mm

Sollecitazioni	
$F_{v,Ed}$ (N)	16500
$F_{t,Ed}$ (N)	0
Bulloni	
Classe	5,6
d (mm)	10
$\gamma_{M2}$	1,25
$f_{yb}$ (N/mm <sup>2</sup> )	300
$f_{tb}$ (N/mm <sup>2</sup> )	500
$A_n$ (mm <sup>2</sup> )	79
$A_{res}$ (mm <sup>2</sup> )	58
Piastra di collegamento	
Acciaio	S235
t (mm)	8
$\gamma_{M2}$	1,25
$d_o$ (mm)	11
$f_{tk}$ (N/mm <sup>2</sup> )	360

#### Verifica di resistenza con formula 4.2.65

$$\frac{F_{v,Ed}}{F_{v,Rd}} + \frac{F_{t,Ed}}{1.4F_{t,Rd}} \leq 1 \quad \text{con} \quad \frac{F_{t,Ed}}{F_{t,Rd}} \leq 1 \quad \frac{F_{v,Ed}}{F_{v,Rd}} + \frac{F_{t,Ed}}{1.4F_{t,Rd}} = 0,297$$

$F_{v,Rd}$ (N)	13920
$F_{t,Rd}$ (N)	20880

$$\frac{F_{t,Ed}}{F_{t,Rd}} = 0,000$$

#### Verifica a rifollamento con formula 4.2.61

$$\frac{F_{v,Ed}}{F_{b,Rd}} \leq 1 \quad \text{con} \quad F_{b,Rd} = \frac{k \cdot \alpha \cdot f_{tk} \cdot d \cdot t}{\gamma_{M2}}$$

Tipo di unione: Esposta a fenomeni corrosivi o ambientali

$e_1$ (mm)	18	15,6	$\leq e_1 \leq$	50
$e_2$ (mm)	18	15,6	$\leq e_2 \leq$	50
$p_1$ (mm)	35	28,6	$\leq p_1 \leq$	35
$p_2$ (mm)	35	31,2	$\leq p_2 \leq$	35

$\alpha = \min \{e_1/(3d_0) ; f_{tb}/f_{tk} ; 1\}$  per bulloni di bordo // al carico applicato  
 $\alpha = \min \{p_1/(3d_0)-0,25 ; f_{tb}/f_{tk} ; 1\}$  per bulloni interni // al carico applicato  
 $k = \min \{2,8e_2/d_0-1,7 ; 2,5\}$  per bulloni di bordo \_|\_ al carico applicato  
 $k = \min \{1,4p_2/d_0-1,7 ; 2,5\}$  per bulloni interni \_|\_ al carico applicato

$\alpha_{MIN}$	0,545
$k_{MIN}$	2,500

$F_{b,Rd}$ (N)	31418
----------------	-------

$$\frac{F_{v, Ed}}{F_{b, Rd}} = 0,131$$

Pertanto sono stati utilizzati bulloni M10 classe 5.6, con foratura eseguita sugli elementi strutturali a distanza dal bordo dell'asta di almeno 18mm.

La verifica è soddisfatta.

#### 12.8.1.2 ATTACCO BASE UPN50

Si valuta la condizione sollevata sulle forche, che produce le sollecitazioni maggiori:

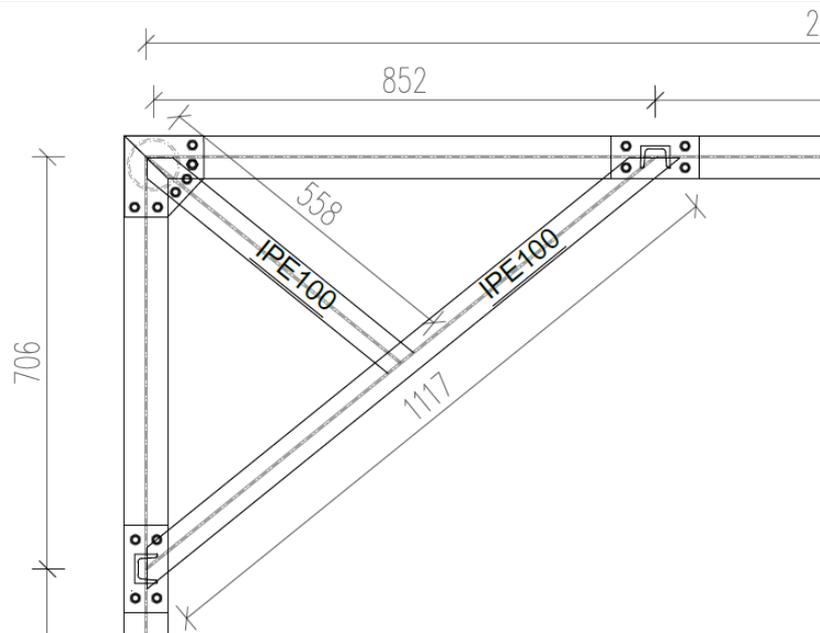


Figura 35 Unione alla base dell'UPN50 laterale (il più sollecitato)

Somma dei tagli al nodo:  $0.4+5.5+1.4= 7.3\text{kN}$

Si ripartisce il carico su 4 bulloni  $16.5/4= 4.13\text{kN}$

Sollecitazione di trazione:  $0.25\text{kN}$

La piastra di accoppiamento è spessa 8mm

Si fa l'ipotesi di caricare tutta l'azione su un singolo bullone operando a vantaggio di sicurezza.

Si utilizzano bulloni classe 5.6

Sollecitazioni	
$F_{v,Ed}$ (N)	7300
$F_{t,Ed}$ (N)	250
Bulloni	
Classe	5,6
d (mm)	10
$\gamma_{M2}$	1,25
$f_{yb}$ (N/mm <sup>2</sup> )	300
$f_{tb}$ (N/mm <sup>2</sup> )	500
$A_n$ (mm <sup>2</sup> )	79
$A_{res}$ (mm <sup>2</sup> )	58
Piastra di collegamento	
Acciaio	S235
t (mm)	8
$\gamma_{M2}$	1,25
$d_0$ (mm)	11
$f_{tk}$ (N/mm <sup>2</sup> )	360

Verifica di resistenza con formula 4.2.65

$$\frac{F_{v,Ed}}{F_{v,Rd}} + \frac{F_{t,Ed}}{1.4F_{t,Rd}} \leq 1 \quad \text{con} \quad \frac{F_{t,Ed}}{F_{t,Rd}} \leq 1 \quad \frac{F_{v,Ed}}{F_{v,Rd}} + \frac{F_{t,Ed}}{1.4F_{t,Rd}} \quad 0,533$$

$F_{v,Rd}$ (N)	13920
$F_{t,Rd}$ (N)	20880

$$\frac{F_{t,Ed}}{F_{t,Rd}} \quad 0,012$$

Verifica a rifollamento con formula 4.2.61

$$\frac{F_{v,Ed}}{F_{b,Rd}} \leq 1 \quad \text{con} \quad F_{b,Rd} = \frac{k \cdot \alpha \cdot f_{tk} \cdot d \cdot t}{\gamma_{M2}}$$

Tipo di unione: Esposta a fenomeni corrosivi o ambientali
---

$e_1$ (mm)	18	15,6	$\leq e_1 \leq$	50
$e_2$ (mm)	18	15,6	$\leq e_2 \leq$	50
$p_1$ (mm)	35	28,6	$\leq p_1 \leq$	35
$p_2$ (mm)	35	31,2	$\leq p_2 \leq$	35

$\alpha = \min \{e_1/(3d_0) ; f_{tb}/f_{tk} ; 1\}$  per bulloni di bordo // al carico applicato  
 $\alpha = \min \{p_1/(3d_0)-0,25 ; f_{tb}/f_{tk} ; 1\}$  per bulloni interni // al carico applicato  
 $k = \min \{2,8e_2/d_0-1,7 ; 2,5\}$  per bulloni di bordo \_|\_ al carico applicato  
 $k = \min \{1,4p_2/d_0-1,7 ; 2,5\}$  per bulloni interni \_|\_ al carico applicato

$\alpha_{MIN}$	0,545
$k_{MIN}$	2,500

$F_{b,Rd}$ (N)	31418
----------------	-------

$$\frac{F_{v,Ed}}{F_{b,Rd}} \quad 0,232$$

Pertanto sono stati utilizzati bulloni M10 classe 5.6, con foratura eseguita sugli elementi strutturali a distanza dal bordo dell'asta di almeno 18mm.

La verifica è soddisfatta.

### 12.8.1.3 PERNO SULLO STELO

Si valuta la condizione sollevata sulle forche, che produce le sollecitazioni maggiori:

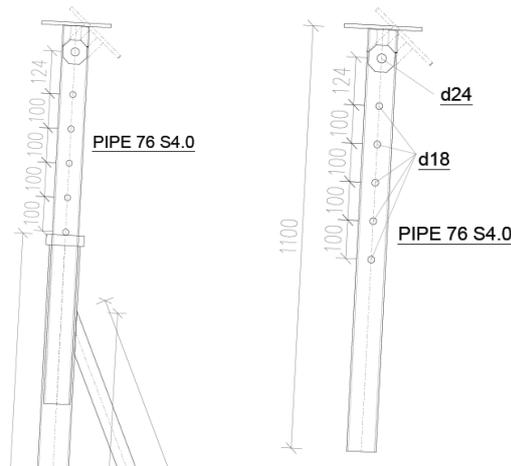


Figura 36 Unione di bloccaggio dello stelo

Si analizza esclusivamente l'azione di compressione che esercita taglio puro, sul perno

La sollecitazione è: 50,8 kN

Inoltre si verifica il rifollamento sull'asta, spessa 4mm

Questa condizione è caratterizzata da due piani di taglio per il perno, pertanto le sollecitazioni sulla lamiera dell'asta si ripartiscono su due porzioni di spessore 4mm. La verifica si conduce considerando lo spessore equivalente di 8mm.

Si utilizzano perni classe 8.8

Sollecitazioni	
$F_{v,Ed}$ (N)	50800
$F_{t,Ed}$ (N)	0
Bulloni	
Classe	8,8
d (mm)	18
$\gamma_{M2}$	1,25
$f_{yb}$ (N/mm <sup>2</sup> )	640
$f_{tb}$ (N/mm <sup>2</sup> )	800
$A_n$ (mm <sup>2</sup> )	254
$A_{res}$ (mm <sup>2</sup> )	192
Lamiera dell'asta	
Acciaio	Q345
t (mm)	8
$\gamma_{M2}$	1,25
$d_o$ (mm)	19
$f_{tk}$ (N/mm <sup>2</sup> )	510

Verifica di resistenza con formula 4.2.65

$$\frac{F_{v,Ed}}{F_{v,Rd}} + \frac{F_{t,Ed}}{1.4F_{t,Rd}} \leq 1 \quad \text{con} \quad \frac{F_{t,Ed}}{F_{t,Rd}} \leq 1 \quad \frac{F_{v,Ed}}{F_{v,Rd}} + \frac{F_{t,Ed}}{1.4F_{t,Rd}} = 0,689$$

$F_{v,Rd}$ (N)	73728
$F_{t,Rd}$ (N)	110592

$$\frac{F_{t,Ed}}{F_{t,Rd}} = 0,000$$

Verifica a rifollamento con formula 4.2.61

$$\frac{F_{v,Ed}}{F_{b,Rd}} \leq 1 \quad \text{con} \quad F_{b,Rd} = \frac{k \cdot \alpha \cdot f_{tk} \cdot d \cdot t}{\gamma_{M2}}$$

Tipo di unione: Esposta a fenomeni corrosivi o ambientali

**Singolo perno**

$\alpha = \min \{e_1/(3d_0) ; f_{tb}/f_{tk} ; 1\}$  per bulloni di bordo // al carico applicato  
 $\alpha = \min \{p_1/(3d_0)-0,25 ; f_{tb}/f_{tk} ; 1\}$  per bulloni interni // al carico applicato  
 $k = \min \{2,8e_2/d_0-1,7 ; 2,5\}$  per bulloni di bordo \_|\_ al carico applicato  
 $k = \min \{1,4p_2/d_0-1,7 ; 2,5\}$  per bulloni interni \_|\_ al carico applicato

$\alpha$ MIN	1,000
k MIN	2,500

$F_{b,Rd}$ (N)	146880
----------------	--------

$$\frac{F_{v, Ed}}{F_{b, Rd}} = 0,346$$

Pertanto si utilizza un perno M18 classe 8.8

La verifica è soddisfatta.

**12.8.1.4 COLLEGAMENTO SULLA BASE**

Si valuta la condizione sollevata sulle forche, che produce le sollecitazioni maggiori:

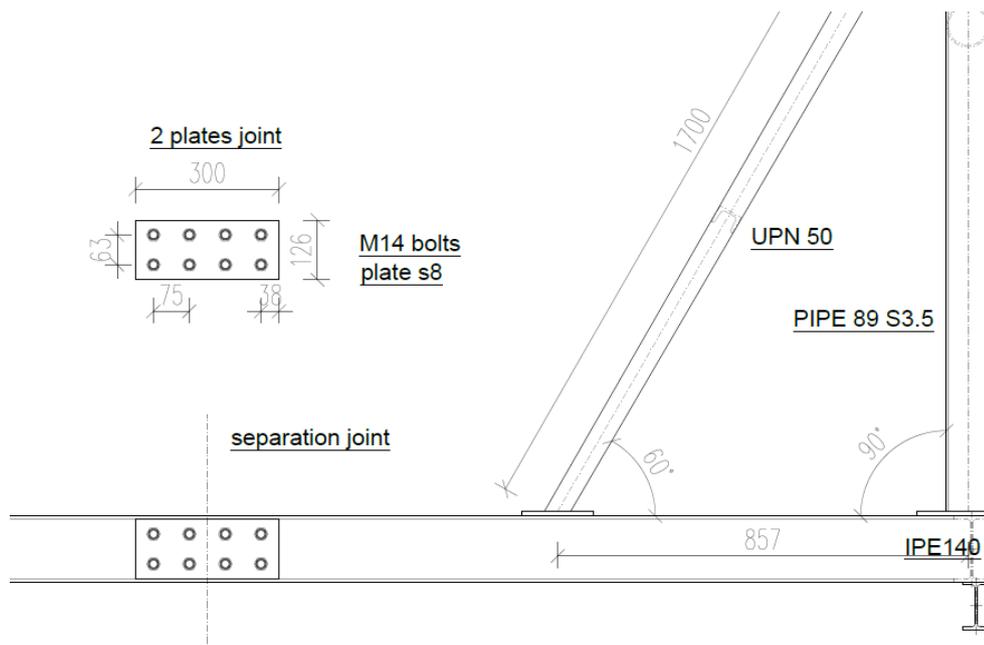


Figura 37 Unione alla base dell'apparecchiatura, realizzata per motivi logistici

Si analizza la condizione più gravosa, ossia quando l'apparecchiatura è movimentata sulle forche.

Somma dei tagli al nodo:  $5.5+5.5= 11.00\text{kN}$

Sollecitazione di trazione: 35kN

Sul singolo bullone agirà: 2750kN a taglio e 8750kN a trazione

Il numero totale dei bulloni è 4+4 M14 classe 5.6

La piastra di accoppiamento è spessa 8mm

Sollecitazioni	
$F_{v,Ed}$ (N)	2750
$F_{t,Ed}$ (N)	8750
Bulloni	
Classe	5,6

d (mm)	14
$\gamma_{M2}$	1,25
$f_{yb}$ (N/mm <sup>2</sup> )	300
$f_{tb}$ (N/mm <sup>2</sup> )	500
$A_n$ (mm <sup>2</sup> )	153
$A_{res}$ (mm <sup>2</sup> )	115
Piastra di collegamento	
Acciaio	Q235
t (mm)	8
$\gamma_{M2}$	1,25
$d_0$ (mm)	11
$f_{tk}$ (N/mm <sup>2</sup> )	360

**Verifica di resistenza con formula 4.2.65**

$$\frac{F_{v,Ed}}{F_{v,Rd}} + \frac{F_{t,Ed}}{1.4F_{t,Rd}} \leq 1 \quad \text{con} \quad \frac{F_{t,Ed}}{F_{t,Rd}} \leq 1 \quad \frac{F_{v,Ed}}{F_{v,Rd}} + \frac{F_{t,Ed}}{1.4F_{t,Rd}} = 0,251$$

$F_{v,Rd}$ (N)	27600
$F_{t,Rd}$ (N)	41400

$$\frac{F_{t,Ed}}{F_{t,Rd}} = 0,211$$

**Verifica a rifollamento con formula 4.2.61**

$$\frac{F_{v,Ed}}{F_{b,Rd}} \leq 1 \quad \text{con} \quad F_{b,Rd} = \frac{k \cdot \alpha \cdot f_{tk} \cdot d \cdot t}{\gamma_{M2}}$$

Tipo di unione: Esposta a fenomeni corrosivi o ambientali
---

$e_1$ (mm)	38	18	$\leq e_1 \leq$	72
$e_2$ (mm)	75	18	$\leq e_2 \leq$	72
$p_1$ (mm)	63	33	$\leq p_1 \leq$	112
$p_2$ (mm)	63	36	$\leq p_2 \leq$	112

$\alpha = \min \{e_1/(3d_0) ; f_{tb}/f_{tk} ; 1\}$  per bulloni di bordo // al carico applicato

$\alpha = \min \{p_1/(3d_0)-0,25 ; f_{tb}/f_{tk} ; 1\}$  per bulloni interni // al carico applicato

$k = \min \{2,8e_2/d_0-1,7 ; 2,5\}$  per bulloni di bordo \_|\_ al carico applicato

$k = \min \{1,4p_2/d_0-1,7 ; 2,5\}$  per bulloni interni \_|\_ al carico applicato

$\alpha_{MIN}$	0,844
$k_{MIN}$	2,500

$F_{b,Rd}$ (N)	68096
----------------	-------

$$\frac{F_{v,Ed}}{F_{b,Rd}} = 0,040$$

Pertanto sono stati utilizzati bulloni M14 classe 5.6, con foratura eseguita sugli elementi strutturali a distanza dal bordo dell'asta di almeno 18mm (38mm).

Nell'analisi, per una valutazione a vantaggio di sicurezza, si è trascurato il contributo resistente della seconda piastra di accoppiamento posizionata all'interno.

La verifica è soddisfatta.

## 12.8.2 VERIFICA DELLE UNIONI SALDATE

Le saldature devono essere continue sul perimetro della sezione dell'asta.



Figura 38 Saldature tipo, realizzate in stabilimento

Si verifica la condizione più gravosa in cui le massime sollecitazioni ottenute dal modello agli elementi finiti agiscano contemporaneamente. In particolare si verificheranno le saldature di base quando l'apparecchiatura è sollevata sulle forche, riferendosi in particolare allo spigolo. In questa analisi si trascura il contributo resistente della piastra dello stelo.



Figura 39 Saldatura di verifica

La saldatura è eseguita con un angolo di  $45^\circ$

Il cordone è lungo  $73 \cdot 1.41 = 103\text{mm}$ , e sono posizionati all'intradosso e all'estradosso della trave

L'azione sulla di trazione sulla trave è  $35\text{kN}$

Pertanto si ottiene:

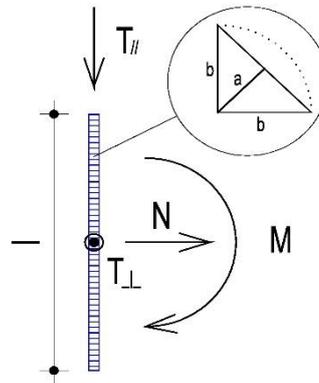
Pertanto si ottiene:

Sollecitazioni

$T_{//}$ (N)	24745
$T_{\perp}$ (N)	24745

Dati saldatura

Acciaio	S235
b (mm)	2
l (mm)	103
n° cordoni	2
$\gamma_{M2}$	1,25
a (mm)	1,41



$f_{yk}$ (N/mm <sup>2</sup> )	235
$f_{tk}$ (N/mm <sup>2</sup> )	360

Verifica con formula 4.2.76

$$F_{w,Ed}/F_{w,Rd} \leq 1 \text{ con } F_{w,Rd} = a \cdot f_{tk} / (\sqrt{3} \cdot \beta \cdot \gamma_{M2})$$

$\beta_w$	0,8
$f_{w,d}$ (N/mm <sup>2</sup> )	207,846
$F_{T//}$ (N/mm)	120,121
$F_{T_{\perp}}$ (N/mm)	120,121

$F_{T_{TOT}}$ (N/mm)	169,877
$F_{\perp N}$ (N/mm)	0,000
$F_{\perp M}$ (N/mm)	0,000
$F_{\perp_{TOT}}$ (N/mm)	0,000

$F_{w,Ed}$ (N/mm)	169,877
$F_{w,Rd}$ (N/mm)	293,939

S/R (ok)	OK
0,578	

Verifica con formula 4.2.78 e 4.2.79

$$\sqrt{(n_{\perp}^2 + t_{\perp}^2 + t_{//}^2)} \leq \beta_1 \cdot f_{yk}$$

$$|n_{\perp}| + |t_{\perp}| \leq \beta_2 \cdot f_{yk}$$

$\beta_1$	0,85
$\beta_2$	1
$t_{//}$ (N/mm <sup>2</sup> )	84,94
$t_{\perp}$ (N/mm <sup>2</sup> )	84,94

$n_{\perp N}$ (N/mm <sup>2</sup> )	0,0000
$n_{\perp M}$ (N/mm <sup>2</sup> )	0,0000
$n_{\perp}$ (N/mm <sup>2</sup> )	0,0000

$\sqrt{(n_{\perp}^2 + t_{\perp}^2 + t_{//}^2)}$	120,1214
$\beta_1 \cdot f_{yk}$	199,7500

S/R	OK
0,60	

$ n_{\perp}  +  t_{\perp} $	84,94
$\beta_2 \cdot f_{yk}$	235,0000

S/R (OK)	OK
0,36	

La verifica è soddisfatta se la larghezza del cordone è almeno di 2mm e se la saldatura è eseguita in modo uniforme sul perimetro dell'asta.

La verifica è soddisfatta.