

CETA SPA

I- 24127 BERGAMO - ITALIA - VIA GRUMELLO, 47/49
CAP.SOC. € 7.310.000,00 i.v. - R.E.A. n. 355683
R. L. DI BERGAMO, C.F./P.IVA (IT) 03172560165
TELEFONO +39 035 4548511 - FAX +39 035 261622
Internet: www.ceta.it - E-mail: ceta@ceta.it



TRIBUNA PREFABBRICATA A DOPPIA INCLINAZIONE

SERIE "G2M10/1"



Comune di Lucca - Provincia di Lucca	
D.P.R. 80/2001 art. 9	
e L.R. 1/2005 art. 106 ter	
PRATICA SISMICA N.	12835-000
Alleg. 6	

Relazione di calcolo

Cliente: FONDAZIONE CARNEVALE VIAREGGIO

Disegno n°: 10905

Data: Febbraio '11



SOMMARIO

1. RELAZIONE TECNICA ILLUSTRATIVA.....	3
2. DOCUMENTI DI RIFERIMENTO.....	3
2.1. NORMATIVE DI RIFERIMENTO.....	3
2.2. CODICI DI CALCOLO	3
3. MATERIALI.....	4
4. SICUREZZA E TIPOLOGIA STRUTTURALE.....	4
5. CARICHI.....	5
5.1. PERMANENTI (G).....	5
5.1.1. <i>Peso proprio degli elementi strutturali (G_1)</i>	5
5.2. VARIABILI (Q).....	5
5.2.1. <i>Folla (Q_F)</i>	5
5.2.2. <i>Vento (Q_W)</i>	5
5.3. DILATAZIONI TERMICHE.....	6
5.4. SISMA (E).....	6
6. VERIFICHE STRUTTURALI.....	7
6.1. TELAIO TRASVERSALE	7
6.1.1. <i>Combinazioni dei carichi</i>	8
6.1.2. <i>Verifica delle nervature delle capriate</i>	9
6.1.3. <i>Verifica della trave sostegno delle capriate</i>	10
6.1.4. <i>Verifica dei montanti a presso-flessione</i>	12
6.2. TELAIO LONGITUDINALE	14
6.2.1. <i>Combinazioni di carico</i>	14
6.2.2. <i>Verifica dei triangoli diagonali di controvento</i>	14
6.3. STATICA LOCALE.....	15
6.3.1. <i>Panchetta da 0.264x1.8m</i>	15
6.3.2. <i>Piano di calpestio da 0.494x1.8m</i>	17
6.3.3. <i>Corrimano del parapetto posteriore</i>	19
6.3.4. <i>Montanti del parapetto posteriore</i>	19
6.3.5. <i>Sponda laterale</i>	20
7. VERIFICHE DEI COLLEGAMENTI.....	22
7.1. COLLEGAMENTI DEI PARAPETTI.....	22
7.2. COLLEGAMENTI DELLE SPONDE LATERALI	22
7.3. VERIFICA SALDATURA DI BASE DELLA BASETTA.....	22
7.4. TRIANGOLO DI CONTROVENTO	23
7.5. SPINOTTO D'INNESTO DEL TRIANGOLO DI CONTROVENTO	23
7.6. COSCIALE SCALA.....	24
7.7. GRADINO SCALA	25
8. VERIFICA AL RIBALTAMENTO.....	26
8.1. ANALISI DEI CARICHI.....	26
8.1.1. <i>Peso proprio + Permanente</i>	26
8.1.2. <i>Carico del vento</i>	26
8.2. IPOTESI A.....	27
8.3. IPOTESI B.....	28
ALLEGATO A.....	31



1. RELAZIONE TECNICA ILLUSTRATIVA

La tribuna prefabbricata smontabile di tipo G2M è composta da elementi metallici standardizzati, assemblati in modo tale da realizzare un grande numero di tipologie di tribune, tra loro differenti per la lunghezza e per il numero dei gradoni.

La struttura trasversale è formata da sezioni composte da telai portagradoni sovrapposti (lunghi 3.75 m), posizionati a distanza di 1.80 m l'uno dall'altro. I gradoni hanno pedata di 75 cm e alzata di 40 cm.

Le sezioni contigue sono tra loro vincolate con controventature longitudinali triangolari poste in linea con i montanti dei telai, oltre che dai piani di calpestio, dalle panchette di seduta e dagli elementi fermapiède.

Gli elementi, sia trasversali che longitudinali, sono tra loro collegati in una predeterminata successione autobloccandosi l'un l'altro, al fine di impedirne il casuale disimpegno.

Ogni elemento è protetto contro la corrosione mediante zincatura a caldo.

2. DOCUMENTI DI RIFERIMENTO

I riferimenti utilizzati per lo studio della tribuna in questione sono i seguenti:

2.1. Normative di riferimento

- D.M. 18 Marzo 1996 – Norme di sicurezza per la costruzione degli impianti sportivi
- D.M. 14-01-2008 – Norme tecniche per le costruzioni
- Istruzioni per l'applicazione delle "Norme tecniche per le costruzioni" di cui al D.M. 14 gennaio 2008
- UNI ENV 1993: (Eurocodice 3) – Progettazione delle strutture di acciaio;
- UNI 9217 Impianti sportivi e Tribune – Caratteristiche e prescrizioni generali;
- CNR-UNI 10011: Costruzioni di acciaio. Istruzioni per il calcolo, l'esecuzione, il collaudo e la manutenzione.

2.2. Codici di calcolo

Data la complessità dello studio della struttura in esame, è stato indispensabile utilizzare programmi di calcolo di supporto alla progettazione. In particolare, i software impiegati sono i seguenti:

- AUTOCAD MECHANICAL POWER PACK (calcolo delle caratteristiche statiche delle sezioni);
- MODEST (modellatore strutturale per analisi FEM);
- XFINEST (solutore FEM)



3. MATERIALI

Tutti gli elementi metallici, ivi compresi basette, panchette e sponde; sono realizzati in acciaio S235JR e S235JRH in accordo alla EN 10025 (i tubi sono profilati a freddo) e presentano le seguenti caratteristiche meccaniche:

- Tensione di rottura a trazione: $f_u=360N/mm^2$
- Tensione di snervamento: $f_y=235N/mm^2$
- Modulo di elasticità: $E=206000N/mm^2$

4. SICUREZZA E TIPOLOGIA STRUTTURALE

COSTRUZIONE TIPO 1: Vita nominale $V_N \leq 10anni$

CLASSE D'USO III: Coefficiente d'uso $C_U = 1.5$

VITA DI RIFERIMENTO: $V_R = V_N \cdot C_U = 15anni$

CLASSE DI DUTTILITÀ BASSA: CD "B"

La struttura è caratterizzata da regolarità in pianta ma non in altezza (ai sensi § 7.2.2): $K_R = 0.8$

TIPO DI ANALISI: Lineare statica

TIPOLOGIA STRUTTURALE: Strutture intelaiate (ai sensi del § 7.5.2.1)

FATTORE DI DUTTILITÀ: $q_0 = 4$ (Ai sensi del § 7.5.2.2)

FATTORE DI STRUTTURA: $q = q_0 \cdot K_R = 3.2$



5. CARICHI

5.1. PERMANENTI (G)

5.1.1. Peso proprio degli elementi strutturali (G_1)

È stato stimato pari a: $G_1 = 560 \frac{N}{m^2}$

5.2. VARIABILI (Q)

5.2.1. Folla (Q_F)

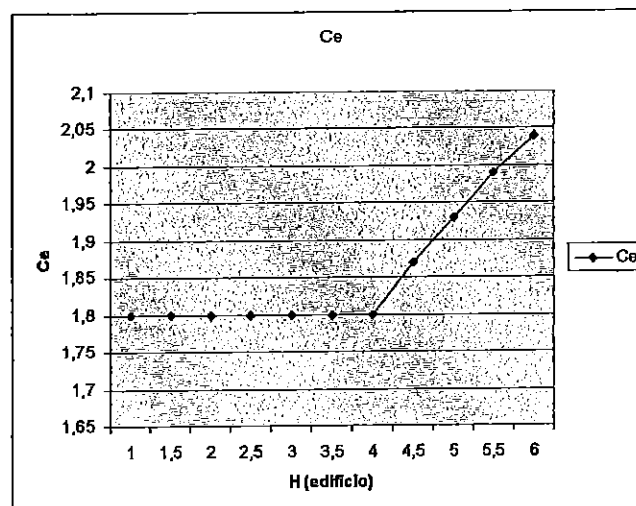
DESCRIZIONE	CARICO
Verticali ripartiti - TRIBUNE CON POSTI FISSI - (D.M. 14 gennaio 2008 - NTC-)	4000 N/m ²
Azioni orizzontali in direzione parallela alle file dei posti a sedere (UNI 9217)	300 N/m ²
Azioni orizzontali in direzione perpendicolare alle file dei posti a sedere (UNI 9217)	150 N/m ²
Carichi orizzontali sulle sponde e sui parapetti (D.M. 14 gennaio 2008 - NTC-)	2000 N/m

5.2.2. Vento (Q_W)

ZONA	$V_{b,0}$ (m/s)	Categoria	Classe	H(s.l.m.)	h (tribuna)
3	27	II	C	2 m	6 m

- Pressione di riferimento del vento (q_{ref}) $\cong 455.6 \text{ N/m}^2$

- C_e



$$-\alpha_R=0.78$$

$$-C_d = 1$$

$$-C_p = 1.2$$

La pressione del vento vale:

H (m)	P (N/m^2)
0 – 4.0	984
4.0 – 4.5	1003
4.5 – 5.0	1038
5.0 – 5.5	1071
5.5 – 6.0	1101

5.3. DILATAZIONI TERMICHE

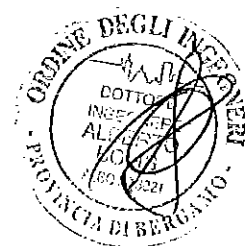
Si trascurano le azioni generate dalle dilatazioni termiche nella struttura, in quanto si considerano assorbite dai giochi presenti tra i vari elementi della struttura.

5.4. SISMA (E)

Dal D.M. 14 gennaio 2008 (Par. 2.4.1):

“Le verifiche sismiche di opere provvisorie o strutture in fase costruttiva possono omettersi quando le relative durate previste in progetto siano inferiori a 2 anni”

Visto che le tribune oggetto della presente relazione saranno installate in occasione del carnevale di Viareggio e la durata di esercizio prevista è di qualche mese, si omette la verifica sismica.



6. VERIFICHE STRUTTURALI

6.1. TELAIO TRASVERSALE

L'analisi del telaio trasversale è stata condotta con il programma MODEST.

Si descrivono ora le condizioni di carico considerate:

- Peso proprio (G_1): È stato simulato con un carico uniformemente distribuito pari a:

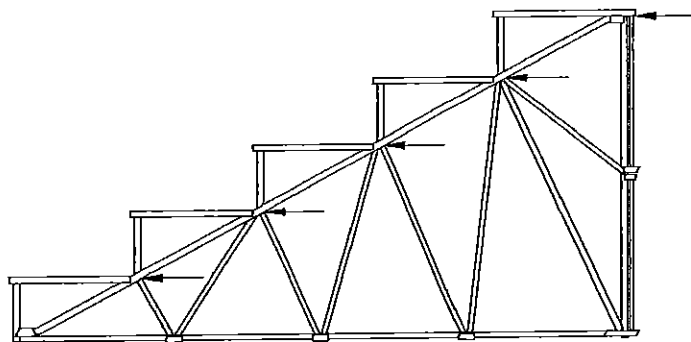
$$q = (560 \cdot 1.8) \frac{N}{m} = 1008 \frac{N}{m}$$

- Variabile folla verticale (Q_F): è stato applicato come carico uniformemente distribuito pari a:

$$q = (4000 \cdot 1.8) \frac{N}{m} = 7200 \frac{N}{m}$$

- Variabile folla orizzontale ($Q_{F,do}$): è stato simulato con forze concentrate ai nodi posti in corrispondenza di ogni gradone come rappresentato in figura:

$$F = (150 \cdot 1.8 \cdot 0.75) N \cong 202.5 N$$



- Variabile folla dinamica verticale ($Q_{F,dv}$): è stato applicato come carico uniformemente distribuito pari a:

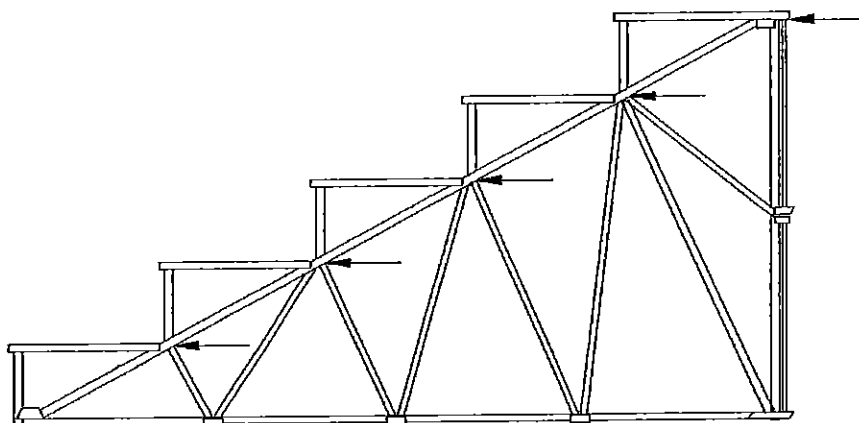
$$q = (300 \cdot 1.8) \frac{N}{m} = 540 \frac{N}{m}$$

- Vento (Q_w): è stato simulato con forze concentrate ai nodi posti in corrispondenza di ogni gradone come rappresentato in figura (vedere anche paragrafo 5.2.2).

$$F_{wj} = q_{ref}^* \cdot A_j = [1101 \cdot (0.35 \cdot 1.8)] N \cong 693 N$$

Si è utilizzato il coefficiente di esposizione C_e massimo





6.1.1. Combinazioni dei carichi

Con riferimento al D.M. 14 gennaio 2008, sono stati adottati i coefficienti per definire le combinazioni di progetto; si è ritenuto opportuno considerare le seguenti, conservative combinazioni di carico.

- Permanenti + Folla + Vento (SLU)

$$CC1 = 1.3(G_1) + 1.5(Q_F) + 1.5(Q_{F,do}) + 1.5(Q_{F,dv}) + 1.5 \cdot 0.6(Q_w)$$

$$CC2 = 1.3(G_1) + 1.5(Q_F) - 1.5(Q_{F,do}) + 1.5(Q_{F,dv}) - 1.5 \cdot 0.6(Q_w)$$

- Permanenti + Vento + Folla (SLU)

$$CC3 = 1.3(G_1) + 1.5(Q_w) + 1.5 \cdot 0.7(Q_F) + 1.5 \cdot 0.7(Q_{F,do}) + 1.5 \cdot 0.7(Q_{F,dv})$$

$$CC4 = 1.3(G_1) - 1.5(Q_w) + 1.5 \cdot 0.7(Q_F) - 1.5 \cdot 0.7(Q_{F,do}) + 1.5 \cdot 0.7(Q_{F,dv})$$

- Permanenti + Vento (SLU)

$$CC5 = 1.3(G_1) + 1.5(Q_w)$$

$$CC6 = 1.3(G_1) - 1.5(Q_w)$$



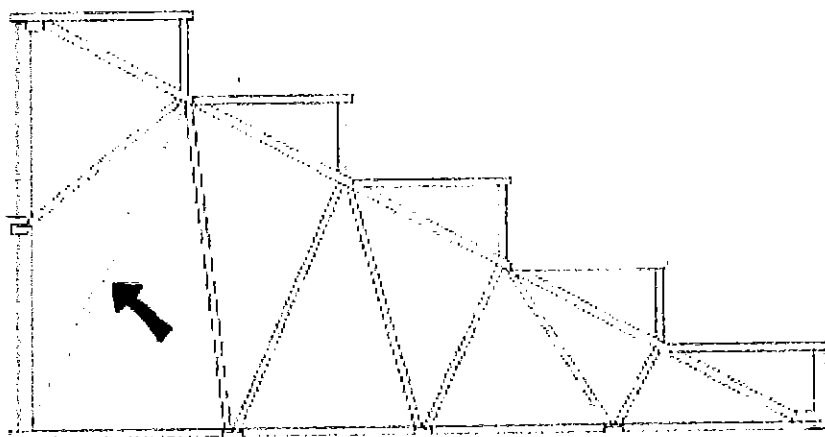
6.1.2. Verifica delle nervature delle capriate

Dato che, nel modello realizzato, questi elementi sono stati considerati come bielle, è necessario verificare che:

$$N_{Ed} \leq N_{b,Rd}$$

dove N_{Ed} è l'azione sollecitante di progetto e $N_{b,Rd}$ è la resistenza di progetto ($N_{t,Rd}$ nel caso di trazione, $N_{c,Rd}$ nel caso di compressione).

La prima verifica è stata condotta sulla nervatura indicata in figura:



Dall'analisi del modello ad elementi finiti si è visto che questo elemento risulta essere compresso. Come risulta dallo stralcio del listato di uscita del codice di calcolo impiegato, l'azione sollecitante massima riscontrata vale:

$$N_{Ed,MAX} = 22240N$$

(ottenuta per la combinazione 2).

SOLLECITAZIONI ASTE

Asta	N1	N2	CC	X <mm>	N <N>	Ty <N>	Mz <Nmm>	Tz <N>	My <Nmm>	Mx <Nmm>
226	38	37	1	0.00	-20057.70	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
226	38	37	1	1767.06	-20057.70	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
226	38	37	2	0.00	-22240.30	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
226	38	37	2	1767.06	-22240.30	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
226	38	37	3	0.00	-13975.50	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
226	38	37	3	1767.06	-13975.50	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
226	38	37	4	0.00	-16920.10	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
226	38	37	4	1767.06	-16920.10	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
226	38	37	5	0.00	-923.53	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
226	38	37	5	1767.06	-923.53	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
226	38	37	6	0.00	-3366.38	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
226	38	37	6	1767.06	-3366.38	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00



Le caratteristiche del tubo sono:

- Tubo quadro 40x2 mm (S235JRH);
- $A=294 \text{ mm}^2$;
- $W_{el}=3470 \text{ mm}^3$;
- $W_{pl}=4133 \text{ mm}^3$;
- $l=1697 \text{ mm}$;
- $\bar{\lambda}=1.187$
- $\gamma_{M1}=1.05$
- $\alpha=0.49$

$$N_{b,Rd} = \frac{\chi_{min} \cdot A \cdot f_{yk}}{\gamma_{M1}} = 28909N$$

$$\chi = \frac{1}{\Phi + \sqrt{\Phi^2 - \bar{\lambda}^2}} = 0.44; \quad \Phi = 0.5 \cdot [1 + \alpha \cdot (\bar{\lambda} - 0.2) + \bar{\lambda}^2] = 1.41; \quad \bar{\lambda} = \sqrt{\frac{A \cdot F_{yk}}{N_{cr}}} = 1.187$$

$$N_{Ed} = 22240N < 28909N = N_{b,Rd} \rightarrow \text{verifica soddisfatta}$$

6.1.3. Verifica della trave sostegno delle capriate

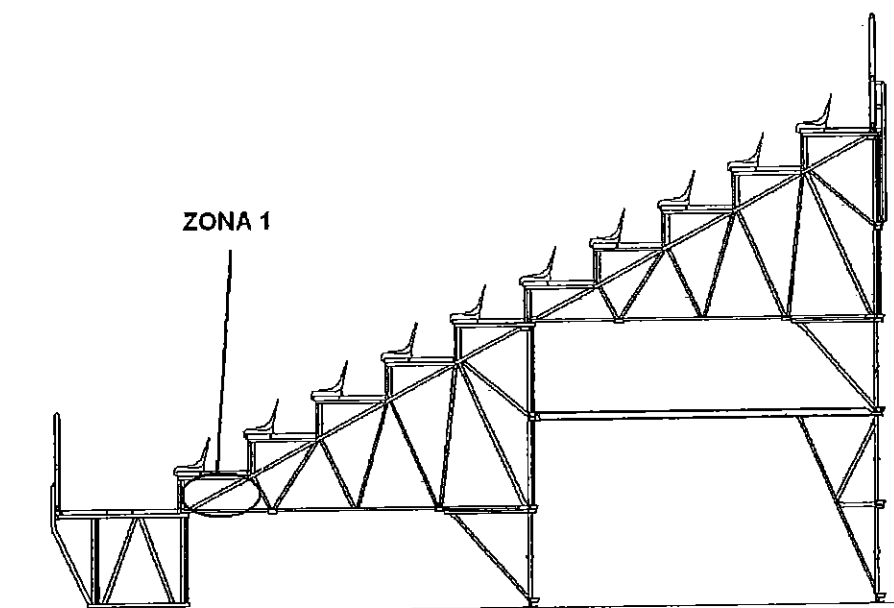
Per la zona critica (vedi figura seguente) è stato necessario effettuare una verifica a pressoflessione.

La trave sostegno è costituita da un tubo quadro avente le seguenti caratteristiche:

- Tubo quadro 40x3 mm;
- $A=421 \text{ mm}^2$;
- $W_{el}=4661 \text{ mm}^3$;
- $W_{pl}=5723 \text{ mm}^3$;
- $l=700 \text{ mm}$ (approssimata in favore di sicurezza);
- $\bar{\lambda}=0.506$
- $\beta_A=1$
- $\gamma_{M1}=1.05$
- $\alpha_{LT}=0.49$
- $\varepsilon=1$

Il tratto maggiormente sollecitato è quello in cui si riscontra la massima azione assiale e il massimo momento flettente.





La verifica è soddisfatta per:

$$\frac{N_{sd,MAX}}{\chi_{min} \cdot A \cdot f_y / \gamma_{M1}} + \frac{k \cdot M_{sd,MAX}}{W_{pl} \cdot f_y / \gamma_{M1}} \leq 1$$

dove la simbologia è la medesima adottata dall'Eurocodice3 parte1.1:

$$k = 1 - \frac{\mu \cdot N_{sd}}{\chi \cdot A \cdot f_y} ; \mu = \lambda \cdot (2\beta_M - 4) + \left[\frac{W_{pl} - W_{el}}{W_{el}} \right]$$

Zona critica	$N_{sd,MAX}$ (N)	$M_{sd,MAX}$ (Nmm)	β_M
1 (CC1)	-47047	384120	2.23

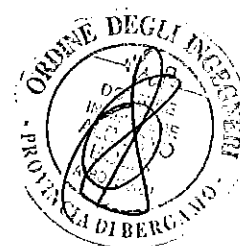
I risultati sono i seguenti:

- Zona critica 1 (asta 216, $N_1=1$, $N_2=5$): $0.814 < 1 \rightarrow$ verifica soddisfatta

SOLLECITAZIONI ASTE

Simbologia

Asta = Numero dell'asta
 N1 = Nodo1
 N2 = Nodo2
 CC = Numero della combinazione delle condizioni di carico elementari
 X = Coordinata progressiva rispetto al nodo iniziale
 N = Sforzo normale
 Ty = Taglio in dir. Y
 Mz = Momento flettente intorno all'asse Z
 Tz = Taglio in dir. Z
 My = Momento flettente intorno all'asse Y
 Mx = Momento torcente intorno all'asse X



Asta	N1	N2	CC	X <mm>	N <N>	Ty <N>	Mz <Nmm>	Tz <N>	My <Nmm>	Mx <Nmm>
216	1	5	1	0.00	-47047.20	0.00	0.00	734.75	-384120.00	0.00
216	1	5	1	850.00	-47047.20	0.00	0.00	734.75	240414.00	0.00
216	1	5	2	0.00	-31843.20	0.00	0.00	689.05	-364358.00	0.00
216	1	5	2	850.00	-31843.20	0.00	0.00	689.05	221335.00	0.00
216	1	5	3	0.00	-38855.50	0.00	0.00	549.76	-286233.00	0.00
216	1	5	3	850.00	-38855.50	0.00	0.00	549.76	181065.00	0.00
216	1	5	4	0.00	-18767.20	0.00	0.00	490.68	-260788.00	0.00
216	1	5	4	850.00	-18767.20	0.00	0.00	490.68	156285.00	0.00
216	1	5	5	0.00	-12141.80	0.00	0.00	96.33	-48486.60	0.00
216	1	5	5	850.00	-12141.80	0.00	0.00	96.33	33391.30	0.00
216	1	5	6	0.00	4143.73	0.00	0.00	49.60	-28467.20	0.00
216	1	5	6	850.00	4143.73	0.00	0.00	49.60	13695.50	0.00

6.1.4. Verifica dei montanti a presso-flessione

Le caratteristiche del tubo sono:

- $\varnothing 38 \times 4.5 \text{ mm}$;
- $A = 473.36 \text{ mm}^2$;
- $W_{el} = 3558 \text{ mm}^3$;
- $W_{pl} = 5081 \text{ mm}^3$;
- $l = 1000 \text{ mm}$;
- $\bar{\lambda} = 0.9$
- $\beta_A = 1$
- $\gamma_{M1} = 1.05$
- $\alpha_{LT} = 0.49$
- $\varepsilon = 1$

Il caso più significativo è quello in cui si riscontra la massima azione assiale e il massimo momento flettente.

La verifica è soddisfatta per:

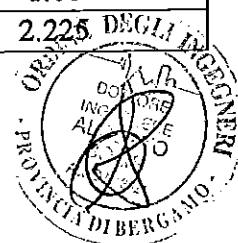
$$\frac{N_{sd,MAX}}{\chi_{min} \cdot A \cdot f_y / \gamma_{M1}} + \frac{k \cdot M_{sd,MAX}}{W_{pl} \cdot f_y / \gamma_{M1}} \leq 1$$

dove la simbologia è la medesima adottata dall'Eurocodice3 parte1.1 e:

$$k = 1 - \frac{\mu \cdot N_{sd}}{\chi \cdot A \cdot f_y} ; \quad \mu = \lambda \cdot (2\beta_M - 4) + \left[\frac{W_{pl} - W_{el}}{W_{el}} \right]$$

Zona critica	$N_{sd,MAX}$ (N)	$M_{sd,MAX}$ (Nmm)	β_M
1 (CC2)	-50928	84713	1.66
2 (CC1)	-28105	178919	2.225

Zona 1: (asta 6, $N_1=15$, $N_2=23$): $0.879 < 1 \rightarrow$ verifica soddisfatta
Zona 2: (asta 6, $N_1=6$, $N_2=16$): $0.607 < 1 \rightarrow$ verifica soddisfatta



SOLLECITAZIONI ASTE

Simbologia

Asta = Numero dell'asta
 N1 = Nodol
 N2 = Nodo2
 CC = Numero della combinazione delle condizioni di carico elementari
 X = Coordinata progressiva rispetto al nodo iniziale
 N = Sforzo normale
 Ty = Taglio in dir. Y
 Mz = Momento flettente intorno all'asse Z
 Tz = Taglio in dir. Z
 My = Momento flettente intorno all'asse Y
 Mx = Momento torcente intorno all'asse X

Asta	N1	N2	CC	X <mm>	N <N>	Ty <N>	Mz <Nmm>	Tz <N>	My <Nmm>	Mx <Nmm>
6	15	23	1	0.00	-46096.80	0.00	0.00	70.37	-70365.90	0.00
6	15	23	1	800.00	-46096.80	0.00	0.00	70.37	-14073.20	0.00
6	15	23	1	1000.00	-46096.80	0.00	0.00	70.37	0.00	0.00
6	15	23	2	0.00	-50928.50	0.00	0.00	84.71	-84713.00	0.00
6	15	23	2	800.00	-50928.50	0.00	0.00	84.71	-16942.60	0.00
6	15	23	2	1000.00	-50928.50	0.00	0.00	84.71	0.00	0.00
6	15	23	3	0.00	-32171.30	0.00	0.00	46.97	-46973.60	0.00
6	15	23	3	800.00	-32171.30	0.00	0.00	46.97	-9394.72	0.00
6	15	23	3	1000.00	-32171.30	0.00	0.00	46.97	0.00	0.00
6	15	23	4	0.00	-38698.30	0.00	0.00	66.30	-66297.10	0.00
6	15	23	4	800.00	-38698.30	0.00	0.00	66.30	-13259.40	0.00
6	15	23	4	1000.00	-38698.30	0.00	0.00	66.30	0.00	0.00
6	15	23	5	0.00	-2208.96	0.00	0.00	-0.14	141.36	0.00
6	15	23	5	1000.00	-2208.96	0.00	0.00	-0.14	0.00	0.00
6	15	23	6	0.00	-7631.10	0.00	0.00	15.86	-15859.60	0.00
6	15	23	6	800.00	-7631.10	0.00	0.00	15.86	-3171.92	0.00
6	15	23	6	1000.00	-7631.10	0.00	0.00	15.86	0.00	0.00
6	6	16	1	0.00	-28105.60	0.00	0.00	-287.51	178919.00	0.00
6	6	16	1	1000.00	-28105.60	0.00	0.00	-287.51	-108593.00	0.00
6	6	16	2	0.00	-31021.40	0.00	0.00	-235.46	161363.00	0.00
6	6	16	2	1000.00	-31021.40	0.00	0.00	-235.46	-74095.00	0.00
6	6	16	3	0.00	-19623.90	0.00	0.00	-224.85	135510.00	0.00
6	6	16	3	1000.00	-19623.90	0.00	0.00	-224.85	-89338.40	0.00
6	6	16	4	0.00	-23564.00	0.00	0.00	-157.15	113043.00	0.00
6	6	16	4	1000.00	-23564.00	0.00	0.00	-157.15	-44104.50	0.00
6	6	16	5	0.00	-1361.16	0.00	0.00	-53.48	26033.30	0.00
6	6	16	5	1000.00	-1361.16	0.00	0.00	-53.48	-27446.60	0.00
6	6	16	6	0.00	-4635.56	0.00	0.00	0.42	8483.74	0.00
6	6	16	6	1000.00	-4635.56	0.00	0.00	0.42	8907.82	0.00



6.2. TELAIO LONGITUDINALE

L'analisi del telaio longitudinale è stata condotta con il programma MODEST.

Si descrivono ora le condizioni di carico considerate:

- Variabile folla orizzontale(CCE1): $F = (300 \cdot 1.8 \cdot 3.75)N = 2025N$
- Vento longitudinale (Y) (CCE2): Nel caso in cui il vento spiri in questa direzione, le aree investite dal vento sono quelle delle capriate, dei triangoli da 2m e delle putrelle.

$$p = q_b \cdot c_e \cdot c_d \cdot c_p \cong 1101 \frac{N}{m^2}$$
$$w = p \cdot A' = [1101 \cdot (3.75 \cdot 0.2)] \frac{N}{m} \cong 825 \frac{N}{m}$$

- Vento tangenziale (Y) (CCE3): L'azione tangenziale è stata simulata come carico concentrato nell'estremità superiore della tribuna

$$p_f = q_b \cdot c_e \cdot c_f \cong 36.7 \frac{N}{m^2}$$
$$P_f = [36.7 \cdot (3.75 \cdot 1.8)]N \cong 248N$$

6.2.1. Combinazioni di carico

Con riferimento al D.M. 18 gennaio 2008, sono stati adottati i coefficienti per definire le combinazioni di progetto; si è ritenuto opportuno considerare le seguenti, conservative combinazioni di carico.

- Folla + vento

$$CC1 = 1.5(CCE1) + 1.5 \cdot 0.6(CCE2 + CCE3)$$
$$CC2 = 1.05(CCE1) + 1.5(CCE2 + CCE3)$$

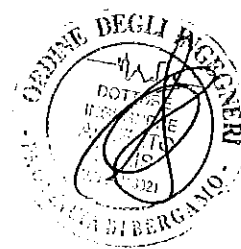
6.2.2. Verifica dei triangoli diagonali di controvento

La sollecitazione massima di compressione riscontrata vale:

$$N_{sd,MAX} = 5738N$$

I dati necessari alla verifica sono i seguenti:

- Tubo Ø33 x 2 (S235JRH);
- $A=177.66mm^2$
- $l=1650 \text{ mm};$
- $\bar{\lambda}=1.616$
- $\gamma_{M1}=1.05$



▪ $\alpha = 0.49$

$$N_{b,Rd} = \frac{\chi_{min} \cdot A \cdot f_{yk}}{\gamma_{M1}} = 12188N$$

$$\chi = \frac{1}{\Phi + \sqrt{\Phi^2 - \bar{\lambda}^2}} = 0.28; \Phi = 0.5 \cdot [1 + \alpha \cdot (\bar{\lambda} - 0.2) + \bar{\lambda}^2] = 2.15; \bar{\lambda} = \sqrt{\frac{A \cdot F_{yk}}{N_{cr}}} = 1.616$$

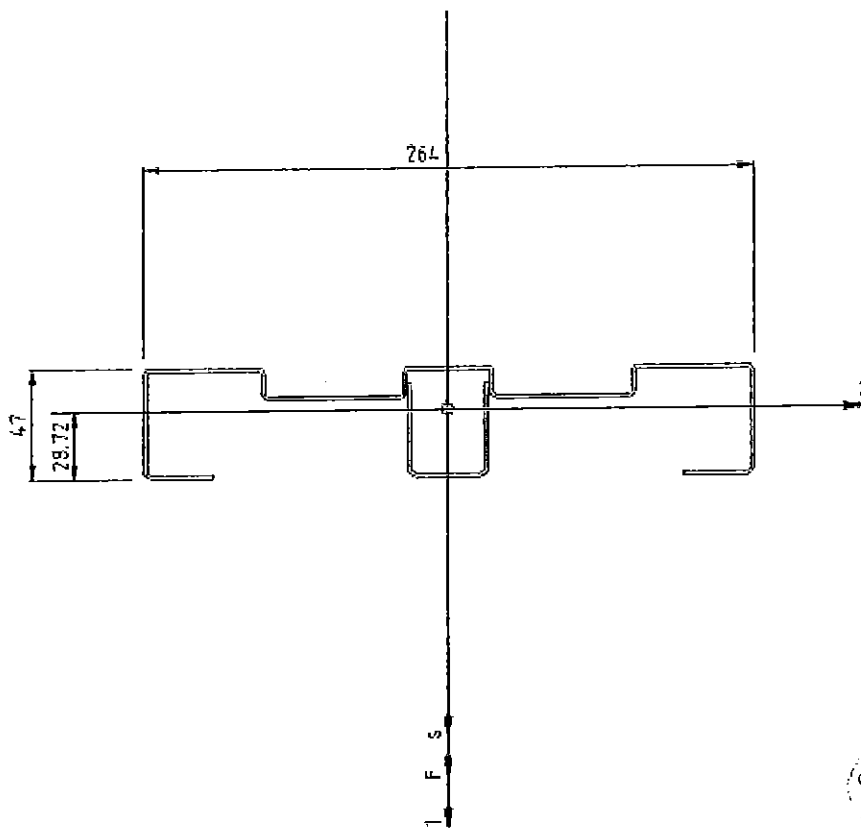
$$N_{Ed} = 5738N < 12188N = N_{b,Rd} \Rightarrow \text{verifica soddisfatta}$$

6.3. STATICA LOCALE

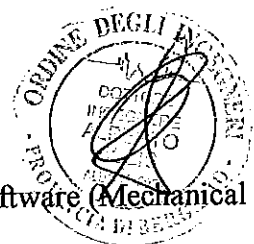
Di seguito si riporta la verifica di alcuni elementi della componentistica standard CETA, stralci di documenti tecnici standard. Le verifiche sono condotte conformemente al D.M. 14 gennaio 2008 ("Norme Tecniche per le costruzioni"), utilizzando il metodo degli stati limite.

6.3.1. Panchetta da 0.264x1.8m

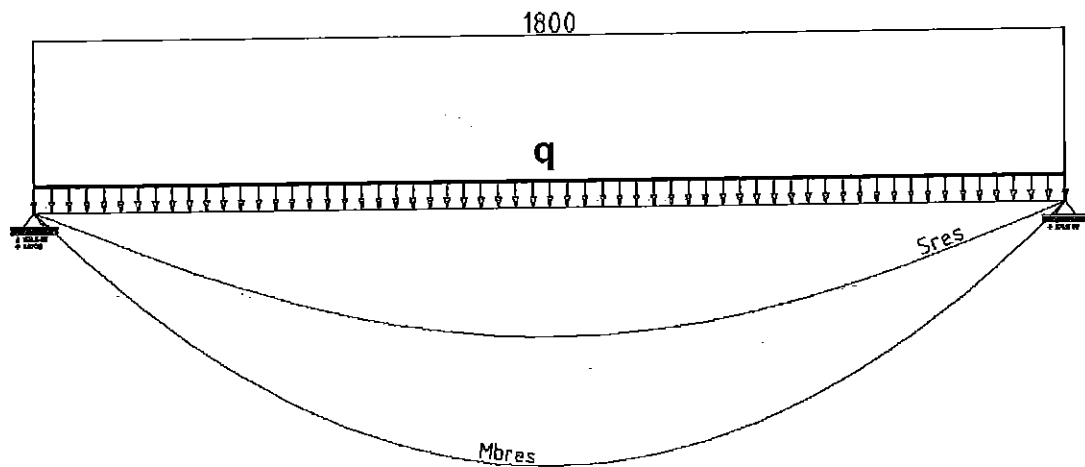
Il manto dei piani della panchetta è ricavato da un foglio di lamiera avente spessore pari a 1.5mm. Nella figura seguente è rappresentata la sezione della panchetta



Le caratteristiche della sezione sono state ottenute con l'aiuto di un apposito software (Mechanical Power Pack):



- $A = 840.6 \text{ mm}^2$;
- $J = 231900 \text{ mm}^4$;
- $Y_G = 28.72 \text{ mm}$
- Modulo di resistenza flessionale: $W = \frac{J}{y_{MAX}} = \left(\frac{231900}{28.72} \right) \text{ mm}^3 = 8074.5 \text{ mm}^3$
- Carico utile di progetto = 5000 N/m^2 ; $\gamma_Q = 1.5$
- Carico utile sulla trave = $q = 1.5 \cdot (5000 \cdot 0.264) \text{ N/m} \cong 1980 \text{ N/m}$;
- Peso proprio = trascurabile rispetto al carico variabile.
- Schema di calcolo: trave semplicemente appoggiata agli estremi e gravata da un carico uniformemente distribuito.



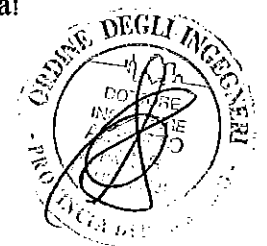
$$M = \frac{q \cdot l^2}{8} = \left(\frac{1.98 \cdot 1800^2}{8} \right) \text{ N} \cdot \text{mm} = 801900 \text{ N} \cdot \text{mm}$$

$$M_{c,Rd} = \frac{W_{el} \cdot f_{yk}}{\gamma_{M0}} = \left(\frac{8074 \cdot 235}{1.05} \right) \text{ N} \cdot \text{mm} = 1807038 \text{ N} \cdot \text{mm}$$

$$\frac{M_{Ed}}{M_{c,Rd}} \cong 0.44 \leq 1 \rightarrow \text{verifica soddisfatta!}$$

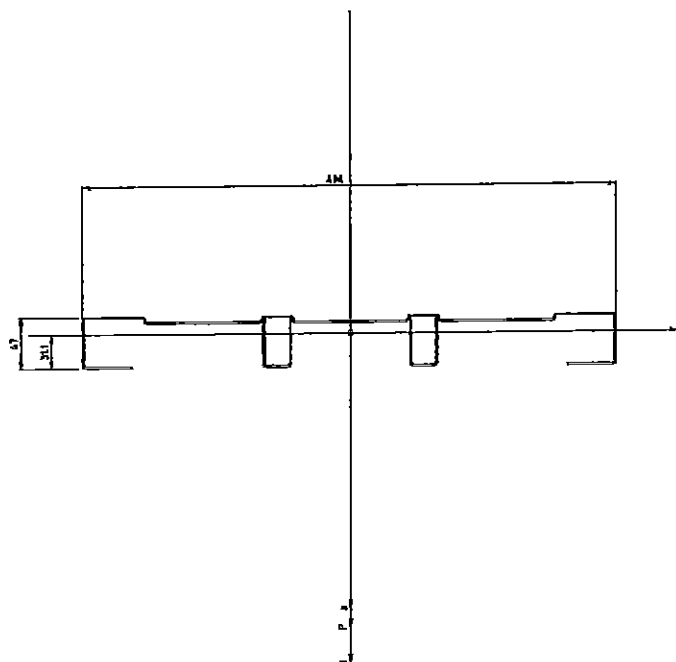
- Verifica di deformabilità: (SLE)

$$f = \frac{5}{384} \frac{q \cdot l^4}{EJ} = 3.75 \text{ mm} < 7.2 \text{ mm} = \frac{l}{250} = f_{adm} \rightarrow \text{verifica soddisfatta!}$$



6.3.2. Piano di calpestio da 0.494x1.8m

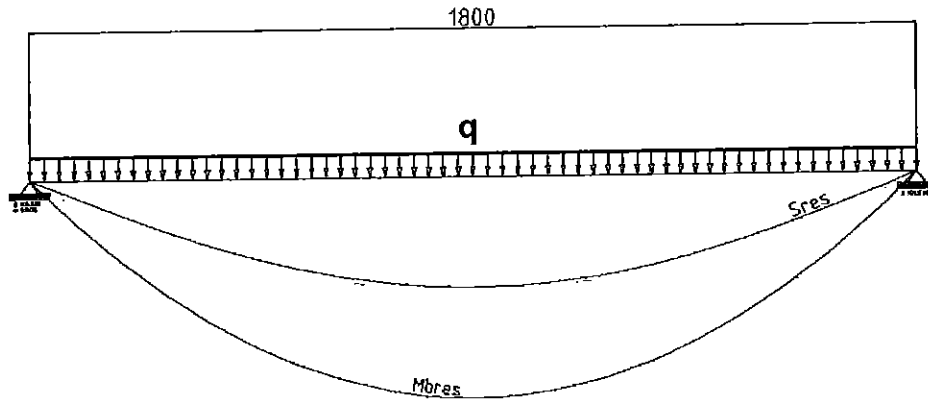
Il manto dei piani di calpestio è ricavato da un foglio di lamiera avente spessore pari a 1.5mm. Nella figura seguente è rappresentata la sezione semplificata del piano di calpestio.



Le caratteristiche della sezione sono state ottenute con l'aiuto di un apposito software (Mechanical Power Pack):

- $A = 1366.2mm^2$;
- $J = 358500mm^4$;
- $Y_G = 31.1mm$
- Modulo di resistenza flessionale: $W = \frac{J}{y_{MAX}} = \left(\frac{385500}{31.1} \right) mm^3 = 12395mm^3$
- Carico utile di progetto = $5000N/m^2$; $\gamma_Q = 1.5$
- Carico utile sulla trave = $q = 1.5 \cdot (5000 \cdot 0.494) N/m \cong 3705 N/m$;
- Peso proprio = trascurabile rispetto al carico variabile;
- Schema di calcolo: trave semplicemente appoggiata agli estremi e gravata da un carico uniformemente distribuito;
- $\sigma_{adm} = 160N/mm^2$;
- $E = 206000N/mm^2$.





dove:

S_{res} = deformata del piano di calpestio;

M_{bres} = andamento del momento flettente.

$$M = \frac{q \cdot l^2}{8} = \left(\frac{3.705 \cdot 1800^2}{8} \right) N \cdot mm = \dots = 1500525 N \cdot mm$$

$$M_{c,Rd} = \frac{W_{el} \cdot f_{yk}}{\gamma_{M0}} = \left(\frac{12395 \cdot 235}{1.05} \right) N \cdot mm = 2774119 N \cdot mm$$

$$\frac{M_{Ed}}{M_{c,Rd}} \cong 0.54 \leq 1 \rightarrow \text{verifica soddisfatta!}$$

- Verifica di deformabilità: (SLE)

$$f = \frac{5}{384} \frac{q \cdot l^4}{EJ} = \dots = 4.6 mm < 7.2 mm = \frac{l}{250} = f_{adm} \rightarrow \text{verifica soddisfatta!}$$



6.3.3. Corrimano del parapetto posteriore

Conforme al D.M. 14 gennaio 2008: "Norme Tecniche per le costruzioni".

Le verifiche di questo elemento possono considerarsi valide anche per il parapetto anteriore, in quanto sono svolte in favore di sicurezza.

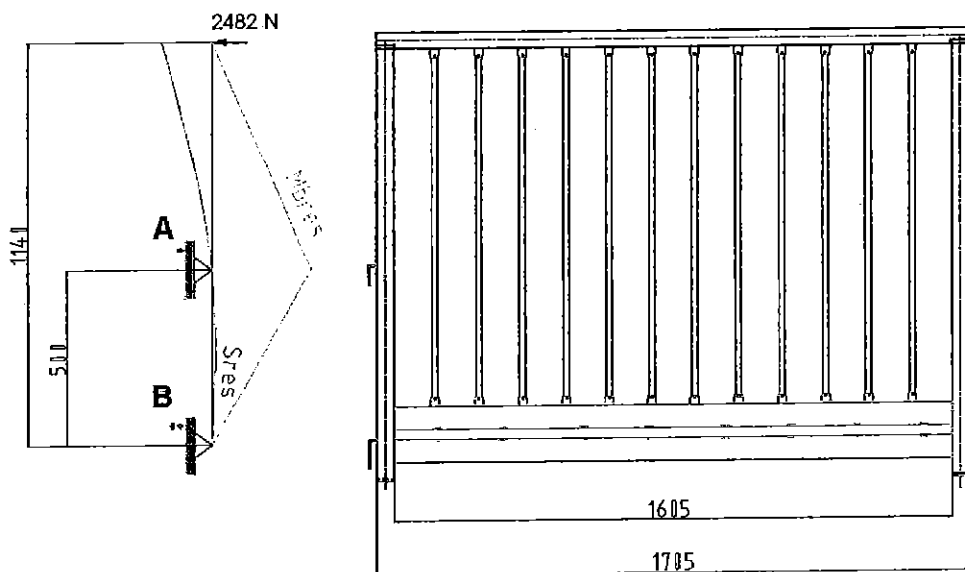
- Sezione: Tubo Ø 48.3 x 3.2 ; $W_{pl} = 6520 \text{ mm}^3$
- Schema di calcolo: Trave su due appoggi soggetta al carico q_s ;
- Carico di progetto $q = 1.5 \cdot 2000 \frac{\text{N}}{\text{m}} = 3000 \frac{\text{N}}{\text{m}}$
- Reazioni vincolari $R_1 = R_2 = \left(\frac{3000 \cdot 1.655}{2} \right) \text{ N} = 2482 \text{ N}$;
- $M_{E1,d} = \left(\frac{3000 \cdot 1.655^2}{8} \right) \text{ N} \cdot \text{m} \cong 1027135 \text{ N} \cdot \text{mm}$
- Azioni interne: momento flettente massimo

$$M_{c,Rd} = \frac{W_{pl,1} \cdot f_{yk}}{\gamma_{M0}} = \left(\frac{6520 \cdot 235}{1.05} \right) \text{ N} \cdot \text{mm} = 1459238 \text{ N} \cdot \text{mm}$$

$$\frac{M_{Ed}}{M_{c,Rd}} \cong 0.70 \leq 1 \rightarrow \text{verifica soddisfatta!}$$

6.3.4. Montanti del parapetto posteriore

- Tubo quadro 50 x 2 ; $W_{pl} = 6662 \text{ mm}^3$
- Lo schema di calcolo è quello rappresentato nella figura seguente



La spinta che si applica al parapetto, ad un'altezza di 1,05 m sul piano di calpestio, è:

$$q = 1.5 \cdot 2000 \frac{N}{m} = 3000 \frac{N}{m}$$

cui corrisponde sul corrente stesso un momento flettente

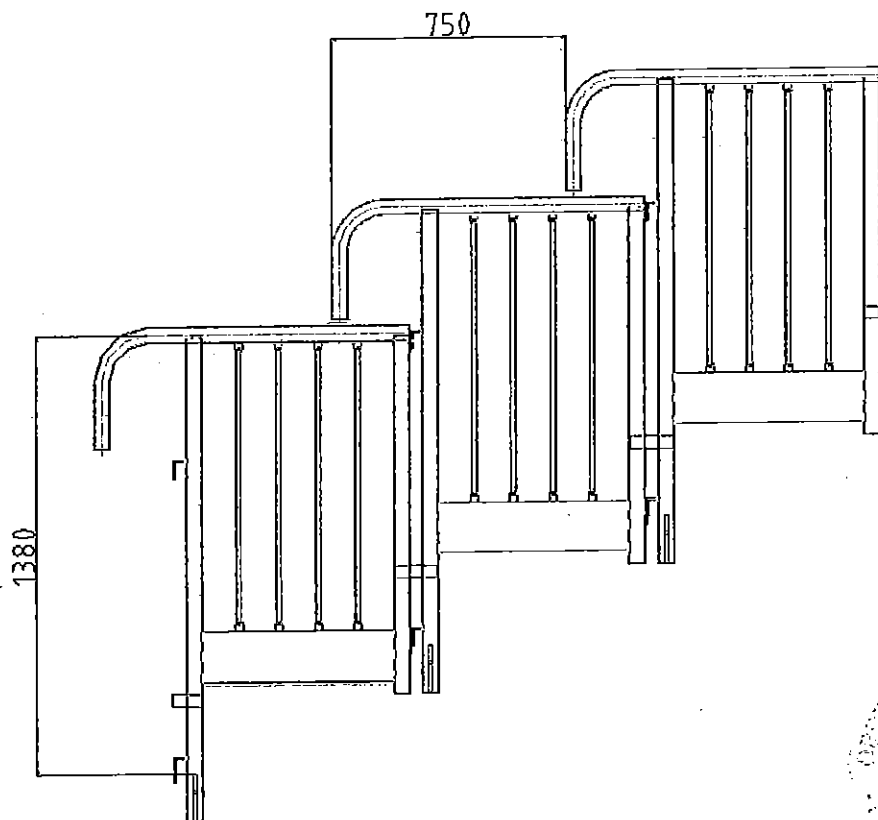
$$M_{E1,d} = \left(3000 \cdot \frac{1.655}{2} \cdot (1140 - 500) \right) N \cdot m \approx 1588800 N \cdot mm$$

poiché si usa tubo quadro 50x2 avente: $W_{pl,1} = 6662 \text{ mm}^3$ $f_{yk} \approx 360 \frac{N}{\text{mm}^2}$ (vedi certificati rilasciati dal laboratorio di prova)

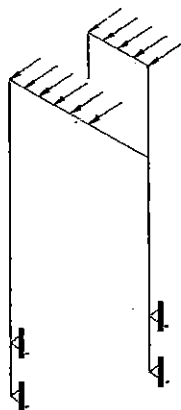
$$M_{c,Rd} = \frac{W_{pl,1} \cdot f_{yk}}{\gamma_{M0}} = \left(\frac{6662 \cdot 360}{1.05} \right) N \cdot mm = 2284114 N \cdot mm$$

$$\frac{M_{Ed}}{M_{c,Rd}} \approx 0.69 \leq 1 \rightarrow \text{verifica soddisfatta!}$$

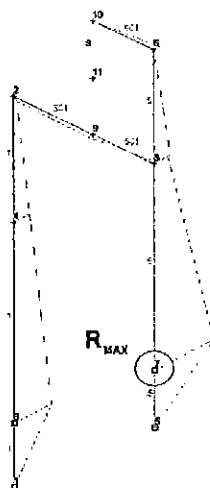
6.3.5. Sponda laterale



- Tubo quadro 50x2 avente: $W_{pl,1} = 6662 \text{ mm}^3$ $f_{yk} \cong 360 \text{ N/mm}^2$ (vedi certificati rilasciati dal laboratorio di prova) Il carico applicato sulle sponde laterali è pari a 2000N/m;
- Lo schema di calcolo è quello rappresentato nella figura seguente:



- L'andamento delle tensioni interne è stato definito mediante la realizzazione di un modello ad elementi finiti:



- Reazioni vincolari $R_{MAX} \cong 7912 \text{ N}$;
- Azioni interne: momento flettente massimo

$$M = 1326763 \text{ N} \cdot \text{mm}$$

- Verifica di resistenza a flessione

poiché si usa tubo quadro 50x2 avente: $W_{pl,1} = 6662 \text{ mm}^3$ $f_{yk} \cong 360 \text{ N/mm}^2$ (vedi certificati rilasciati dal laboratorio di prova)

$$M_{c,Rd} = \frac{W_{pl,1} \cdot f_{yk}}{\gamma_{M0}} = \left(\frac{6662 \cdot 360}{1.05} \right) \text{ N} \cdot \text{mm} = 2284114 \text{ N} \cdot \text{mm}$$

$$\frac{M_{Ed}}{M_{c,Rd}} \cong 0.58 \leq 1 \rightarrow \text{verifica soddisfatta!}$$



7. VERIFICHE DEI COLLEGAMENTI

Di seguito si riportano le verifiche dei collegamenti più significativi, relativi alla struttura portante. Le verifiche dei collegamenti non riportate in questa relazione sono da considerarsi sicuramente soddisfatte, in quanto sono certamente meno significative.

7.1. COLLEGAMENTI DEI PARAPETTI

Si effettua una verifica a taglio del collegamento dei parapetti posteriori:

$$V_{Ed} = \left(\frac{2482 \cdot 1140}{500} \right) N = 5660 N$$
$$V_{c,Rd} = \frac{A_v \cdot f_{yk}}{\sqrt{3} \cdot \gamma_{M0}} = \left(\frac{(35 \cdot 5) \cdot 235}{\sqrt{3} \cdot 1.05} \right) N = 22612 N$$

$$V_{Ed} < V_{c,Rd} \rightarrow \text{verifica soddisfatta!}$$

7.2. COLLEGAMENTI DELLE SPONDE LATERALI

Si effettua una verifica a taglio del collegamento dei parapetti posteriori:

$$V_{Ed} = 7912 N$$
$$V_{c,Rd} = \frac{A_v \cdot f_{yk}}{\sqrt{3} \cdot \gamma_{M0}} = \left(\frac{(35 \cdot 5) \cdot 235}{\sqrt{3} \cdot 1.05} \right) N = 22612 N$$

$$V_{Ed} < V_{c,Rd} \rightarrow \text{verifica soddisfatta!}$$

7.3. VERIFICA SALDATURA DI BASE DELLA BASETTA

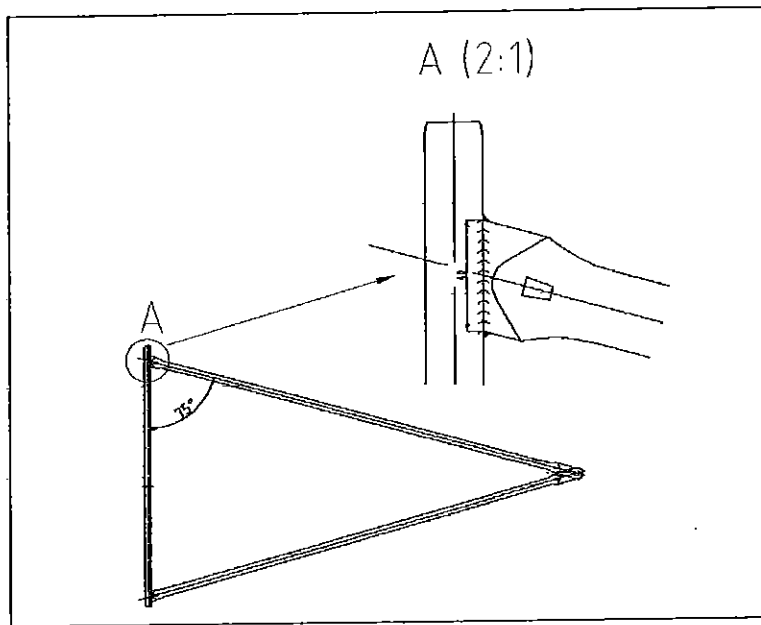
Il carico verticale provoca nella saldatura un'azione T pari a:

$$\tau_{II} = \frac{N}{n \cdot (L - 2 \cdot a) \cdot a} = \left(\frac{50773}{2 \cdot (\pi \cdot 27 - 2 \cdot 3.5) \cdot 3.5} \right) N/mm^2 = 93.2 N/mm^2 < 360 N/mm^2 = \frac{f_{tk}}{(\beta \cdot \gamma_{M2})}$$

Si omettono le verifiche delle saldature dei vari elementi in quanto sicuramente soddisfatte.



7.4. TRIANGOLO DI CONTROVENTO

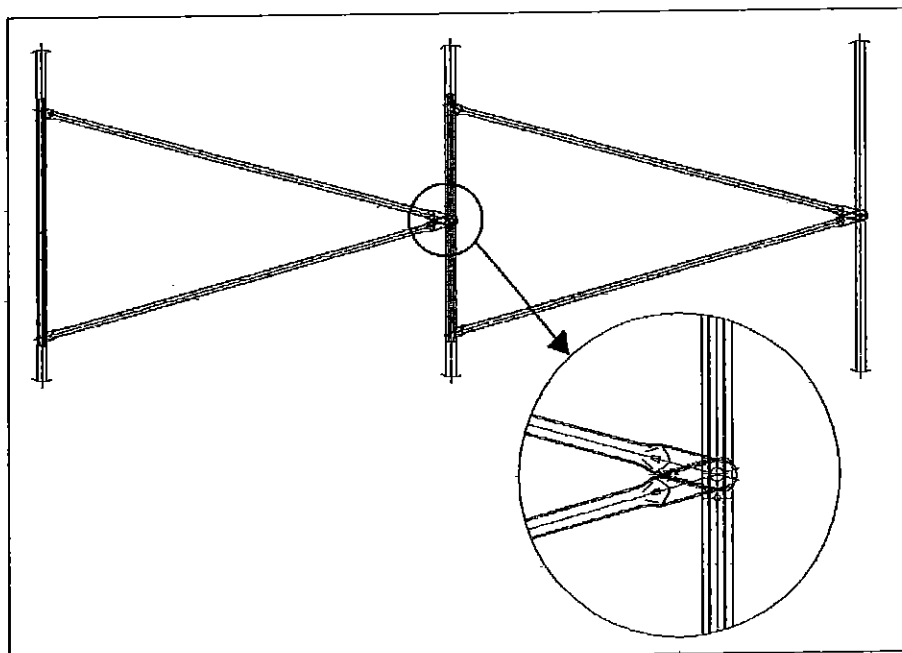


Dalla relazione di calcolo si evince che nel nodo A si ha una forza orizzontale pari a:

$$N = 5701N$$

$$\sigma = \frac{H}{2 \cdot (L - 2 \cdot a) \cdot a} = \left(\frac{5701}{2 \cdot (40 - 2 \cdot 3.5) \cdot 3.5} \right) N/mm^2 = 25 N/mm^2 < 360 N/mm^2 = \frac{f_{tk}}{(\beta \cdot \gamma_{M2})}$$

7.5. SPINOTTO D'INNESTO DEL TRIANGOLO DI CONTROVENTO



Lo spinotto è un tubo $\varnothing 16 \times 3.5$, avente $A = 137.38 \text{ mm}^2$

Dalla relazione di calcolo fornita, si evince che l'azione tagliante V_{Ed} vale:

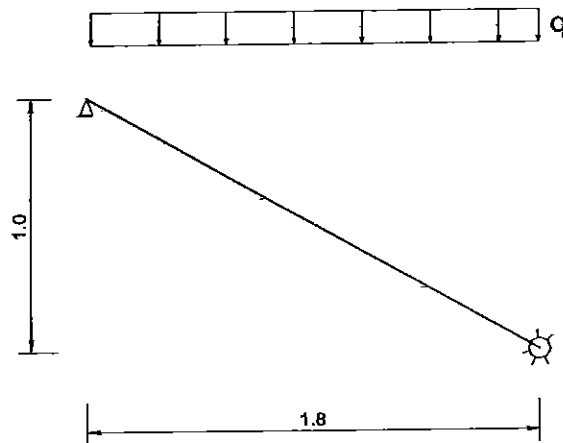
$$V_{Ed} = 5701 \text{ N}$$

$$V_{c,Rd} = \frac{A_v \cdot f_{yk}}{\sqrt{3} \cdot \gamma_{M0}} = \left(\frac{137 \cdot 235}{\sqrt{3} \cdot 1.05} \right) \text{ N} = 17702 \text{ N}$$

$$V_{Ed} < V_{c,Rd}$$

7.6. COSCIALE SCALA

In favore di sicurezza si considera che il carico



Ogni rampa è costituita da n° 6 gradini di alzata 16.6 cm e pedata 30 cm. Il carico gravante su ciascun cosciale, appoggiato su una luce di 1.40 m, vale

$$q = 1.5 \cdot \left(5000 \cdot \frac{1.4}{2} \right) \text{ N/m} = 5250 \text{ N/m}$$

cui corrisponde sul corrente stesso un momento flettente

$$M_{B1,d} = \left(\frac{5250 \cdot 1.8^2}{8} \right) \text{ N} \cdot \text{m} = 2126250 \text{ N} \cdot \text{mm}$$

poiché si usa tubo rettangolare $70 \times 40 \times 2$ avente: $W_{pl1} = 13385 \text{ mm}^3$

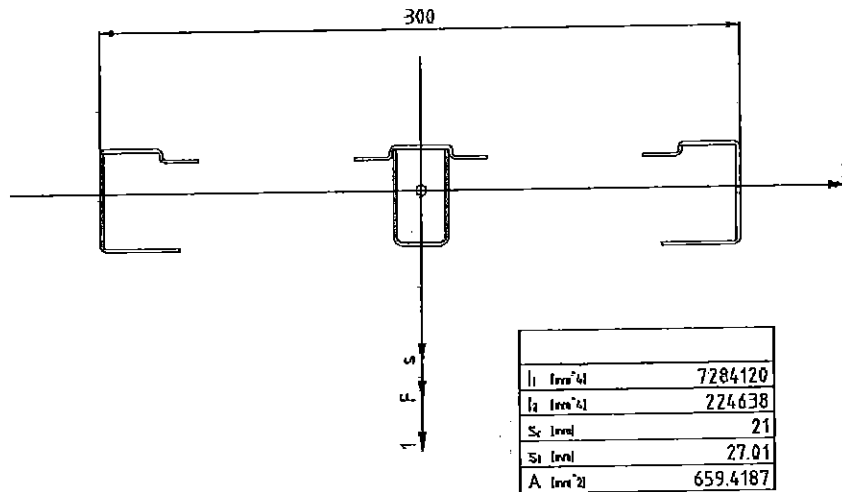
$$M_{c,Rd} = \frac{W_{pl1} \cdot f_{yk}}{\gamma_{M0}} = \left(\frac{13385 \cdot 360}{1.05} \right) \text{ N} \cdot \text{mm} = 4589142 \text{ N} \cdot \text{mm}$$

$$\frac{M_{Ed}}{M_{c,Rd}} \cong 0.46 \leq 1 \rightarrow \text{verifica soddisfatta!}$$



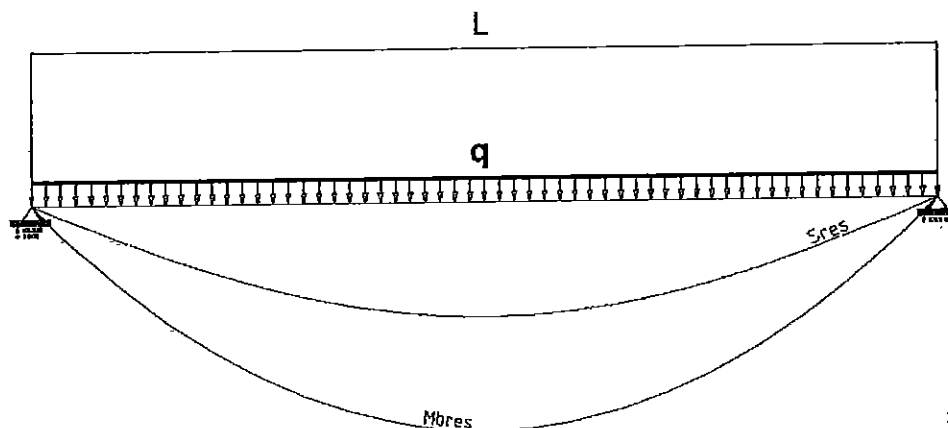
7.7. Gradino scala

Il manto dei piani della panchetta è ricavato da un foglio di lamiera avente spessore pari a 1.5mm. Nella figura seguente è rappresentata la sezione della panchetta



Le caratteristiche della sezione sono state ottenute con l'aiuto di un apposito software (Mechanical Power Pack):

- $A = 659 \text{ mm}^2$;
- $J = 224638 \text{ mm}^2$;
- $Y_G = 27.01 \text{ mm}$
- Modulo di resistenza flessionale: $W = \frac{I}{y_{MAX}} = \left(\frac{224638}{27.01} \right) \text{ mm}^3 = 8316 \text{ mm}^3$
- Carico utile di progetto = 5000 N/m^2 ; $\gamma_Q = 1.5$
- Carico utile sulla trave = $q = 1.5 \cdot (5000 \cdot 0.3) \text{ N/m} \cong 2250 \text{ N/m}$;
- Peso proprio = trascurabile rispetto al carico variabile.
- Schema di calcolo: trave semplicemente appoggiata agli estremi e gravata da un carico uniformemente distribuito.



$$M = \frac{q \cdot l^2}{8} = \left(\frac{2.25 \cdot 1200^2}{8} \right) N \cdot mm = 405000 N \cdot mm$$

$$M_{c,Rd} = \frac{W_{el} \cdot f_{yk}}{\gamma_{M0}} = \left(\frac{8316 \cdot 235}{1.05} \right) N \cdot mm = 1861200 N \cdot mm$$

$$\frac{M_{Ed}}{M_{c,Rd}} \cong 0.217 \leq 1 \rightarrow \text{verifica soddisfatta!}$$

- Verifica di deformabilità: (SLE)

$$f = \frac{5}{384} \frac{q \cdot l^4}{EJ} = 1.28 mm < 4.8 mm = \frac{l}{250} = f_{adm} \rightarrow \text{verifica soddisfatta!}$$

8. VERIFICA AL RIBALTAMENTO

8.1. ANALISI DEI CARICHI

8.1.1. Peso proprio + Permanente

È stato stimato pari a: $G_1 = 560 \frac{N}{m^2}$

8.1.2. Carico del vento

ZONA	$V_{b,0}$ (m/s)	Categoria	Classe	H(s.l.m.)	h (tribuna)
3	27	II	C	2 m	6 m

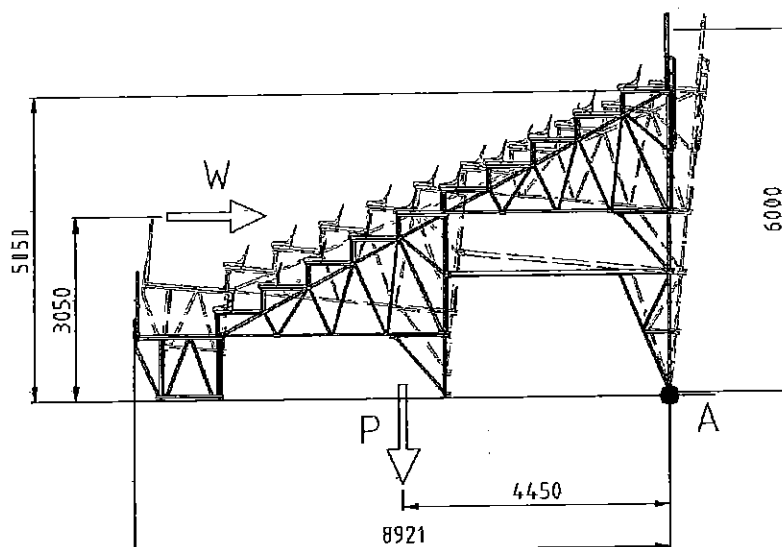
- Pressione di riferimento del vento (q_{ref}) $\cong 455.6 \text{ N/m}^2$
 - $C_e = 1.82$ (valore medio)
 - $C_d = 1$
 - $C_p = 1.2$
- La pressione del vento vale:

$$p = q_{ref} \cdot c_e \cdot c_d \cdot c_p \cong 455.6 \cdot 1.82 \cdot 1 \cdot 1.2 \cong 995 \frac{N}{m^2}$$



8.2. IPOTESI A

La verifica di equilibrio complessivo viene effettuata per indagare sulla rotazione rigida della struttura rispetto al punto A (come rappresentato in figura).



Per le verifiche si ipotizza la presenza del vento con la tribuna scarica con i relativi coefficienti secondo la tabella 2.6.1 delle NTC, verifica riferita a ciascuna campata.

- Interasse capriate 1.8m;
- Peso proprio + permanente 560N/m²
- Profondità tribuna 7.5m

$$W = [1101 \cdot (1.8 \cdot 5.5)] N \cong 10900 N$$

$$\gamma_{Q1} = 1.5$$

$$M_{RIB} = \gamma_{Q1} \cdot W \cdot b_w = (1.5 \cdot 10900 \cdot 3) N \cdot m = 49050 N \cdot m$$

$$P = [560 \cdot (1.8 \cdot 8.9)] N \cong 8950 N$$

$$\gamma_{G1} = 0.9$$

$$M_{RES} = \gamma_{G1} \cdot P \cdot b_p = (0.9 \cdot 8950 \cdot 4.45) N \cdot m \cong 35840 N \cdot m$$

$$M_{RIB} > M_{RES} \rightarrow \text{SERVE ZAVORRA}$$

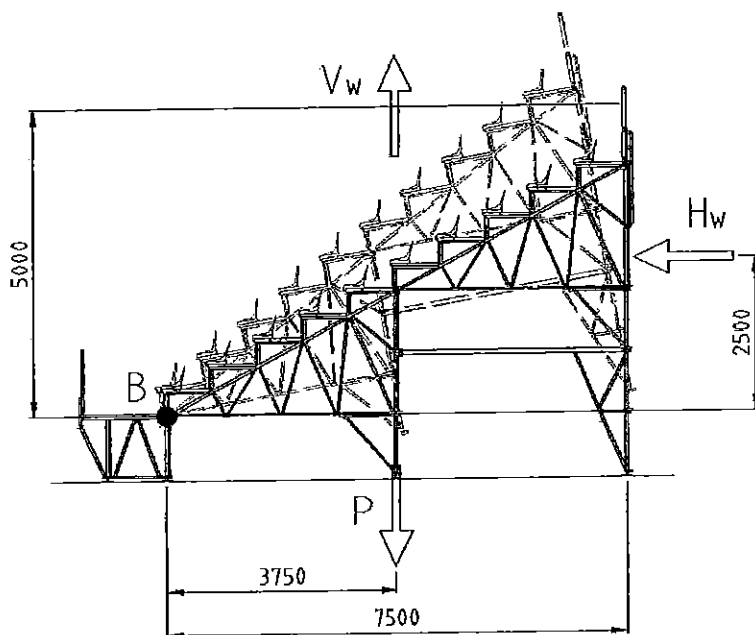
$$Z = \frac{M_{RIB} - M_{RES}}{b_z} = \left(\frac{49050 - 35840}{8.9} \right) N \cong 1484 N \quad (Z=150\text{kg})$$

È possibile utilizzare un mini New Jersey da 660kg ogni 4 campate, posizionato nella parte anteriore alla tribuna



8.3. IPOTESI B

La verifica di equilibrio complessivo viene effettuata per indagare sulla rotazione rigida della struttura rispetto al punto B (come rappresentato in figura).



Per le verifiche si ipotizza la presenza del vento con la tribuna scarica con i relativi coefficienti secondo la tabella 2.6.1 delle NTC, verifica riferita a ciascuna campata.

Il vento che spira dal retro della tribuna genera una risultante orizzontale (H_w) e una verticale verso l'alto (V_w).

- Interasse capriate 1.8m ;
- Peso proprio + permanente 560N/m^2
- Profondità tribuna 7.5m

$$H_w = [1101 \cdot (1.8 \cdot 4.5)]\text{N} \cong 8918\text{N}$$

$$V_w = [1101 \cdot (1.8 \cdot 7.5)]\text{N} \cong 14863\text{N}$$

$$\gamma_{Q1} = 1.5$$

$$M_{RIB} = \gamma_{Q1} \cdot [(H_w \cdot b_H) + (V_w \cdot b_V)] = 1.5 \cdot [(8918 \cdot 2.5) + (14863 \cdot 3.75)]\text{N} \cdot \text{m} \cong 117050\text{N} \cdot \text{m}$$

$$P = [560 \cdot (1.8 \cdot 7.5)]\text{N} \cong 7560\text{N}$$

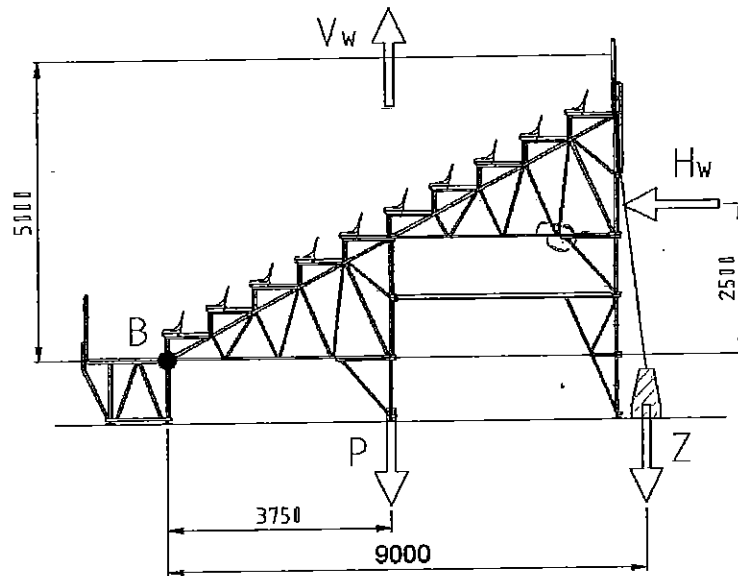
$$\gamma_{G1} = 0.9$$

$$M_{RES} = \gamma_{G1} \cdot P \cdot b_p = (0.9 \cdot 7560 \cdot 3.75)\text{N} \cdot \text{m} = 25515\text{N} \cdot \text{m}$$

$$M_{RIB} > M_{RES} \rightarrow \text{SERVE ZAVORRA}$$

Posizionando la zavorra come in figura ($b_z=9\text{m}$):





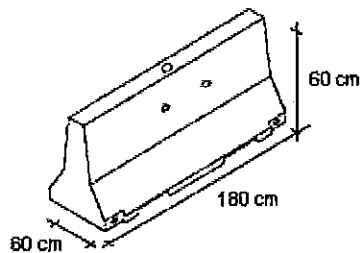
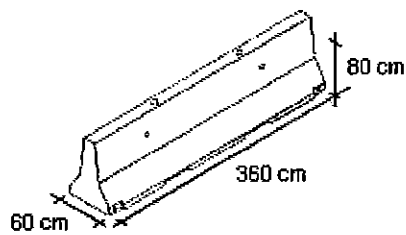
$$Z = \frac{M_{RIB} - M_{RES}}{b_z} = \left(\frac{117050 - 25515}{9} \right) N \approx 10170 N \quad (Z=1000kg)$$

Avendo a disposizione i seguenti elementi:

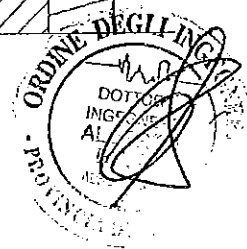
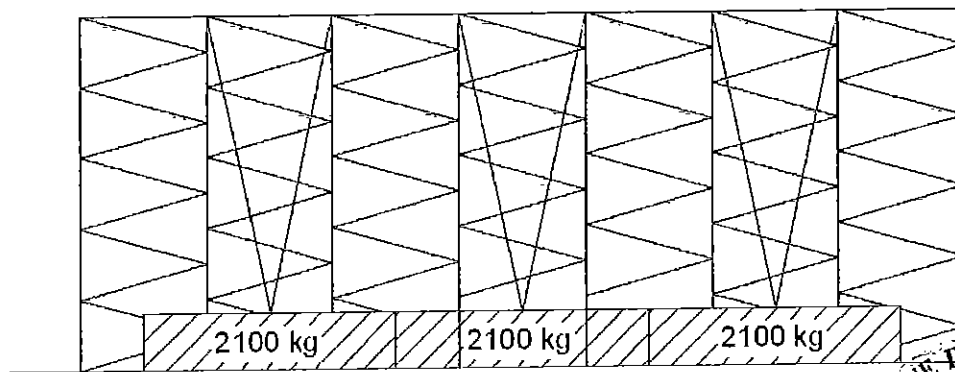
New Jersey (2100kg)

e

mini-New Jersey (660kg)

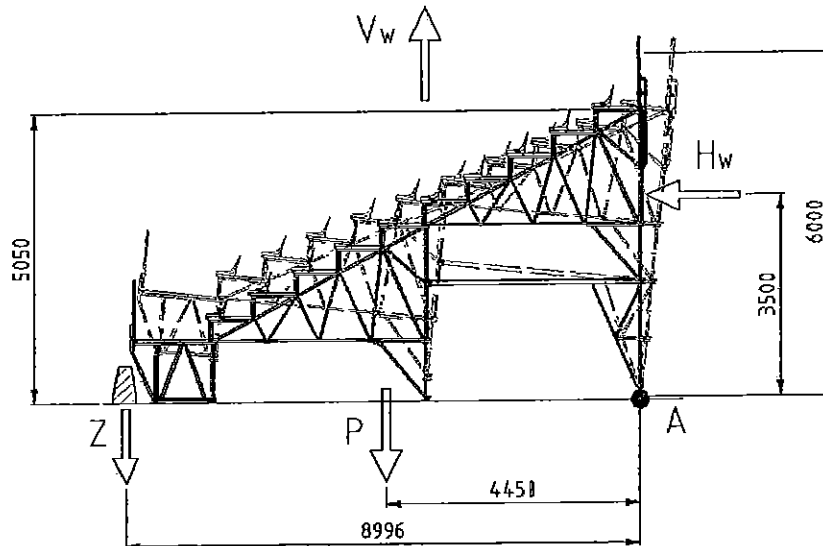


È possibile utilizzare un New Jersey da 2100kg ogni 2 campate come mostrato nella seguente figura:



8.4. IPOTESI C

La verifica di equilibrio complessivo viene effettuata per indagare sulla rotazione rigida della struttura rispetto al punto A (come rappresentato in figura).



Per le verifiche si ipotizza la presenza del vento con la tribuna scarica con i relativi coefficienti secondo la tabella 2.6.1 delle NTC, verifica riferita a ciascuna campata. Il vento che spirava dal retro della tribuna genera una risultante orizzontale (H_w) e una verticale verso l'alto (V_w).

- Interasse capriate 1.8m;
- Peso proprio + permanente 560N/m²
- Profondità tribuna 7.5m

$$H_w = [1101 \cdot (1.8 \cdot 4.5)]N \cong 8918N$$

$$V_w = [1101 \cdot (1.8 \cdot 7.5)]N \cong 14863N$$

$$\gamma_{Q1} = 1.5$$

$$M_{RIB} = \gamma_{Q1} \cdot [(V_w \cdot b_v)] = 1.5 \cdot [(14863 \cdot 3.75)]N \cdot m \cong 83604N \cdot m$$

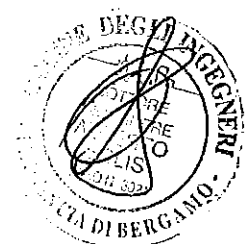
$$P = [560 \cdot (1.8 \cdot 8.9)]N \cong 8950N$$

$$\gamma_{G1} = 0.9$$

$$M_{RES} = \gamma_{G1} \cdot P \cdot b_p + \gamma_{Q1} \cdot [(H_w \cdot b_H)] + \gamma_Z \cdot Z \cdot b_z$$

$$M_{RES} = (0.9 \cdot 8950 \cdot 4.45) + 1.5 \cdot (8918 \cdot 3.5)N \cdot m + (0.9 \cdot 1650 \cdot 9) \cong 96029N \cdot m$$

$$M_{RIB} > M_{RES} \rightarrow \text{VERIFICA SODDISFATTA}$$

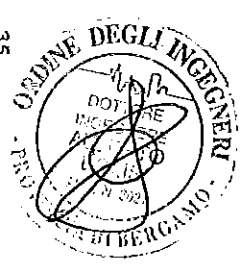
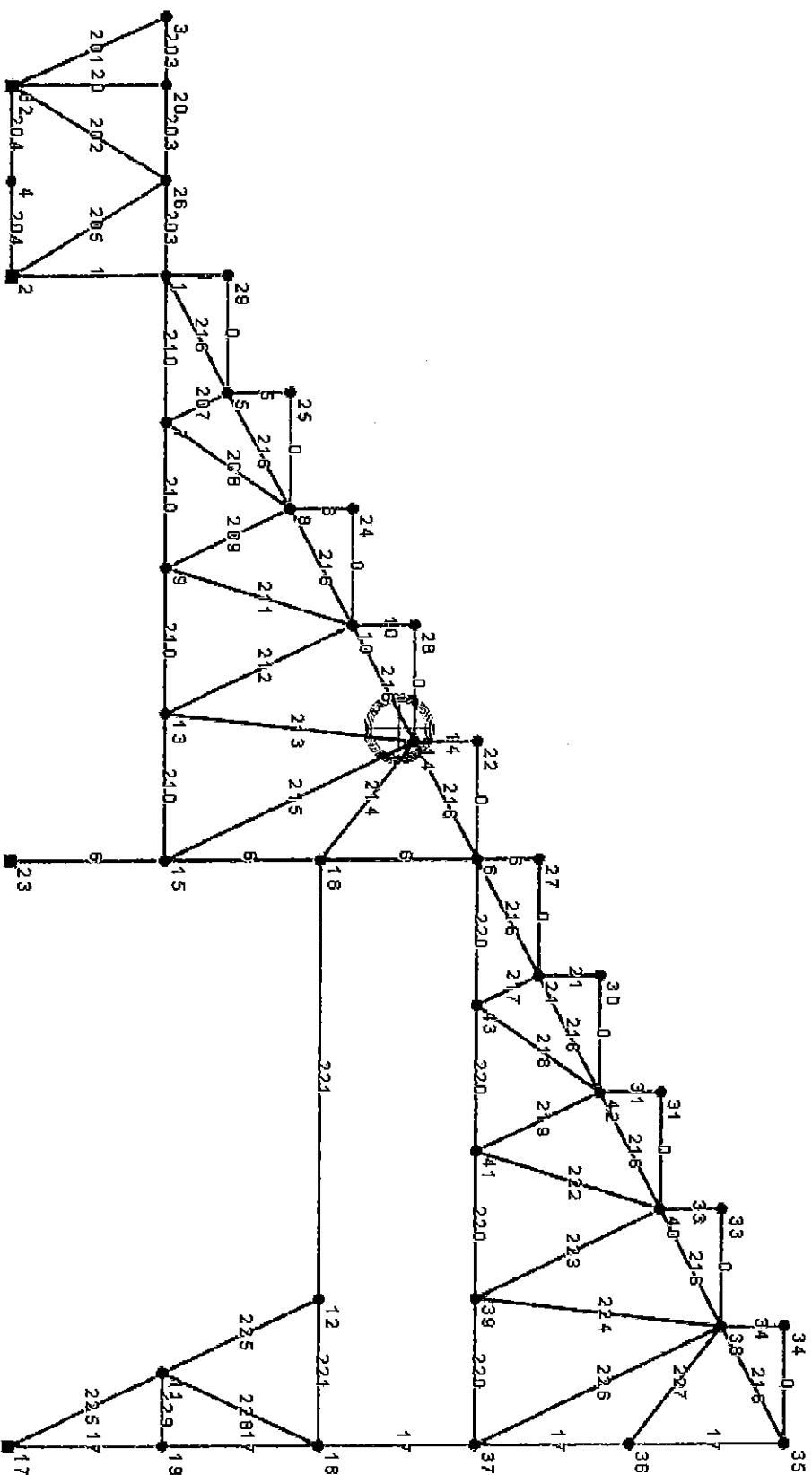


ALLEGATO A

(NUMERAZIONE NODI E ASTE)



NUMERAZIONE MODELLO TRASVERSALE



NUMERAZIONE MODELLO LONGITUDINALE

