

COMMITTENTE: DIREZIONE TECNICA - INGEGNERIA CIVILE


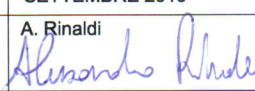
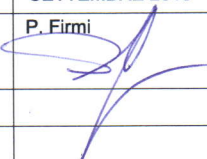
PROGETTAZIONE: S.O. AMBIENTE

PROGETTO ESECUTIVO

BARRIERE ANTIRUMORE STANDARD PER IMPIEGHI FERROVIARI TIPO "HS" PER VELOCITA' $V \leq 200$ km/h

RELAZIONE DI CALCOLO PER TIPOLOGIA DI BARRIERA A "PORTALE"

Codice Progetto	Documento		Elaborato di Progetto N°	Scala:
	Tipo	Progressivo		
RFI DTC ICI AM ST 01 2010	REL.	01/01	09/17	-

Rev.	Descrizione	Redatto	Verificato	Approvato	Autorizzato
A	Emissione esecutiva	SETTEMBRE/2010	SETTEMBRE 2010	SETTEMBRE 2010	SETTEMBRE 2010
		ITALFERR 	A. Rinaldi 	C. Giangrande 	P. Firmi 

Barriera antirumore standard tipo “HS” per velocità fino a 200 km/h.

Relazione di calcolo per tipologia di barriera con struttura a portale.

Relazione sui materiali

Relazione di calcolo

Relazione sulle fondazioni

Indice

1	RELAZIONE DI CALCOLO - BARRIERA A COPERTURA TOTALE.....	4
1.1	PREMESSA.....	4
1.2	NORMATIVE DI RIFERIMENTO	6
1.3	DESCRIZIONE DEL MODELLO	8
1.3.1	Caratteristiche inerziali	9
1.3.2	Materiali.....	10
1.3.3	Carichi	11
1.4	VERIFICHE	21
1.4.1	Sezione a doppia T.....	24
1.4.2	Collegamento bullonato a quota 2.5 m su p.f.	26
1.4.2.1	Verifica bulloni e rifollamento	27
1.4.2.2	Verifica piatti coprigiunto.....	30
1.4.3	Profilo a T.....	31
1.4.4	Collegamento tubolare $\phi 88.9*16$ – sella.....	32
1.4.5	Collegamento tubolare $\phi 88.9*16$ – profilo a T	34
1.4.6	Profilo tubolare $\phi 88.9*16$	35
1.4.7	Profilo a T corrente superiore trave reticolare	36
1.4.8	Sezione rettangolare 480x12 adiacente il giunto bullonato	37
1.4.9	Profilo tubolare $\phi 114.3*16$ corrente inferiore traverso.....	37
1.4.10	Doppio profilo angolare 60x8.....	38
1.4.11	Collegamento bullonato trave reticolare – montante	39
1.4.12	Collegamento a perno tubolare trave reticolare – montante	42
1.4.13	Collegamento montante in acciaio – manufatto in c.a.	44
1.4.13.1	Verifica a fatica collegamento barre $\phi 30$ - sella in acciaio	44
1.4.13.2	Verifica a resistenza collegamento barre $\phi 30$ - sella in acciaio	47
1.4.13.3	Verifica a schiacciamento locale del calcestruzzo	49
1.4.14	Controventi	50

1.4.15	Verifica armature manufatto in c.a.	54
1.5	VERIFICHE DI DEFORMABILITA'	55
1.6	TIRAFONDI.....	56
1.6.1	Schema di calcolo.....	58
1.6.2	Verifiche a fatica dei tirafondi	59
1.7	MICROPALI E CORDOLO DI FONDAZIONE.....	60

1 RELAZIONE DI CALCOLO - BARRIERA A COPERTURA TOTALE

1.1 PREMESSA

Si sono progettati/verificati il manufatto ed i collegamenti sia a fatica a tempo infinito con una sovrappressione dinamica indotta dal passaggio dei treni di forma non aerodinamica alla velocità di 200 km/h (variabile tra $240 \times 3.5 = 840 \text{ N/m}^2$ e $2 \times 460 = 920 \text{ N/m}^2$), sia a resistenza e deformabilità con tutti i carichi più una spinta totale limite dovuta al vento, pari a $p = 1299 \text{ N/m}^2$, sulla parte di struttura verticale sopravento, da intendersi calcolata con un coefficiente di forma di 0.8 e pari a 650 N/m^2 sulla parte di struttura sottovento così come sulle parti non verticali a copertura, da intendersi calcolata con un coefficiente di forma pari a 0.4.

La barriera a copertura totale presenta per la parte verticale le stesse caratteristiche della barriera standard di altezza H10, fatta eccezione per la coppia di tondi $\phi 30$ che in questo caso è assente come componente strutturale.

La copertura viene realizzata con l'introduzione tra le due mensole semplici di un traverso tralicciato che collega le estremità superiori delle mensole stesse, il quale ogni 40 – 60 metri porta la sospensione della TE.

Il traverso è una travata reticolare con un tubo $\phi 114.3 \times 16 \text{ mm}$ come corrente inferiore, un profilo a T dalle caratteristiche simili a quello del montante ($h=245 \times b=240 \times t_w=12 \times t_f=20$) come corrente superiore e doppi profili ad L $60 \times 60 \times 8$ come aste diagonali; l'altezza complessiva della travata in campata è pari a 943 mm.

Tutte le verifiche di sicurezza sono state effettuate alle tensioni ammissibili.

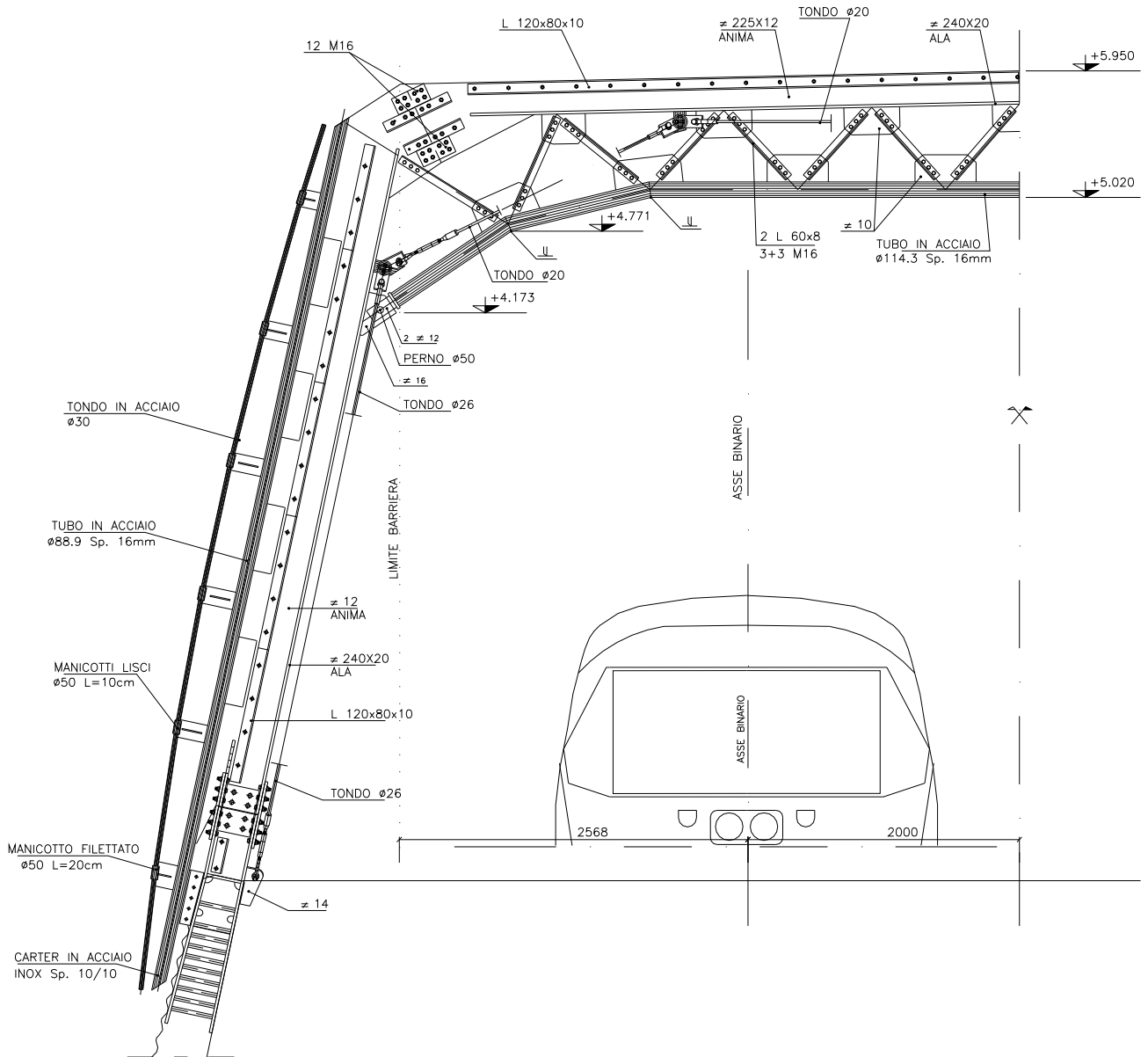


Fig. 1 Vista laterale.

1.2 NORMATIVE DI RIFERIMENTO

- CNR 10011 Costruzioni in acciaio. Istruzioni per il calcolo, l'esecuzione, il collaudo e la manutenzione
- CNR 10016 Travi composte di acciaio e calcestruzzo. Istruzioni per l'impiego nelle costruzioni.
- CNR 10025 Istruzioni per il progetto, l'esecuzione e il controllo delle strutture in conglomerato cementizio e per le strutture costruite con sistemi industrializzati
- Eurocodice 3 UNI ENV 1993-2:2002 Appendice L (per le categorie relative alle verifiche a fatica ad integrazione della CNR 10011-97)
- D.M. del 09/01/96 (Ministero LL.PP.) Norme tecniche per il calcolo, l'esecuzione ed il collaudo delle strutture in cemento armato, normale e precompresso e per le strutture metalliche
- Circ. n.252/AA.GG/STC. del 15/10/96 (Ministero LL.PP.) Istruzioni per l'applicazione delle "Norme tecniche per il calcolo, l'esecuzione ed il collaudo delle strutture in cemento armato, normale e precompresso e per le strutture metalliche" di cui al D.M. 9 gennaio 1996
- D.M. del 16/01/96 (Ministero LL.PP.) Norme tecniche relative ai "Criteri generali per la verifica di sicurezza delle costruzioni e dei carichi e sovraccarichi"
- Circ. n.156/AA.GG/STC. del 04/07/96 (Ministero LL.PP.) Istruzioni per l'applicazione delle "Norme tecniche relative ai criteri generali per la verifica di sicurezza delle costruzioni e dei carichi e sovraccarichi" di cui al decreto ministeriale 16 gennaio 1996
- D.M. del 16/01/96 (Ministero LL.PP.) Norme tecniche per le costruzioni in zone sismiche
- Circ. n.65/AA.GG. del 10/04/97 (Ministero LL.PP.) Istruzioni per l'applicazione delle "Norme tecniche per le costruzioni in zone sismiche" di cui al decreto ministeriale 16 gennaio 1996
- Ordinanza del Presidente del Consiglio dei ministri 20 marzo 2003, n. 3274. Norme tecniche per il progetto, la valutazione e l'adeguamento sismico degli edifici.

- Istruzione F.S. I/SC/PS-OM/2298 del 2/6/1995 testo aggiornato 13/01/97 e successive modificazioni e/o integrazioni Sovraccarichi per il calcolo dei ponti ferroviari – Istruzioni per la progettazione la esecuzione ed il collaudo
- Istruzione F.S. 44/M “Specifica tecnica relativa al collaudo dei materiali ed alla costruzione delle travate metalliche e miste acciaio-calcestruzzo per ponti ferroviari e cavalcaferrovia.”
- Istruzione F.S. 44/F “Verifica a fatica dei ponti ferroviari metallici”.
- Istruzione F.S. 44/S “Specificazione di istruzione tecnica per la saldatura ad arco di strutture destinate ai ponti ferroviari”
- Istruzione F.S. 44/V “Specificazione di istruzione tecnica dei cicli di verniciatura per la protezione della corrosione di opere metalliche nuove per la manutenzione di quelle esistenti”
- Disciplinare tecnico - Barriere Antirumore per impieghi ferroviari edizione 1998 e successive modificazioni ed integrazioni
- Decreto del Ministero dei Lavori Pubblici del 11.03.88 "Norme tecniche riguardanti le indagini sui terreni e sulle rocce, la stabilità dei pendii naturali e delle scarpate, i criteri generali e le prescrizioni per la progettazione, l'esecuzione ed il collaudo delle opere di sostegno delle terre e delle opere di fondazione".

1.3 DESCRIZIONE DEL MODELLO

E' stato realizzato un modello tramite elementi trave con l'introduzione di opportuni bracci rigidi per modellare le intersezioni nei nodi. Tutti gli elementi sono posizionati in corrispondenza degli assi baricentrici degli elementi strutturali della barriera.

Il modello risulta incastrato al piede, in corrispondenza della quota d'estradosso dello zoccolo della base in cls e presenta una cerniera fra il corrente inferiore della trave reticolare ed il montante (rilascio del momento sull'estremo del corrente inferiore indicato con THZ). Anche il collegamento fra i profili che sostengono la TE e la struttura principale della barriera è modellato mediante cerniere (rilasci dei momenti sugli estremi dei profili che sostengono la TE).

Il Software utilizzato è Lusas 13.8.

Nel seguito viene descritto il modello.

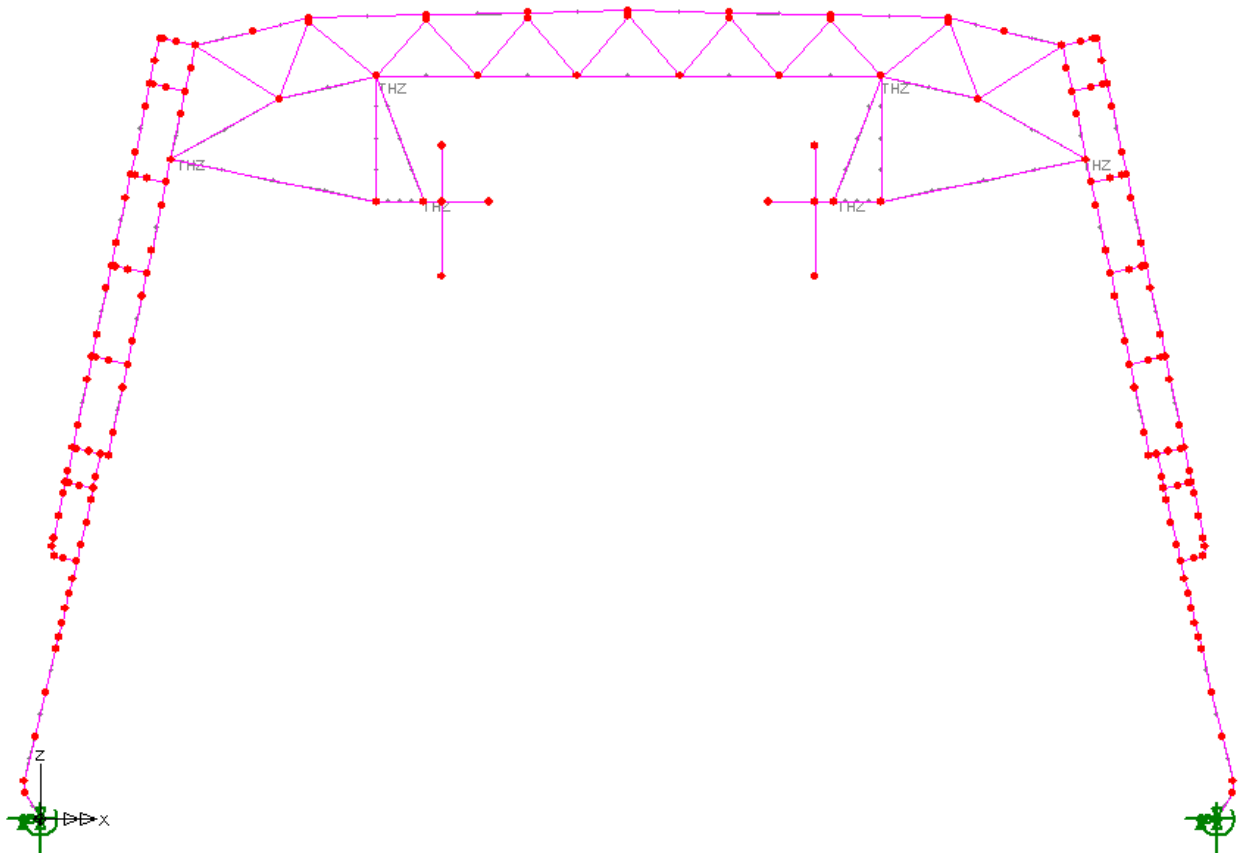


Fig. 2 Geometria, mesh e vincoli della barriera.

1.3.1 Caratteristiche inerziali

Di seguito è riportata le mappatura delle caratteristiche geometriche del montante.

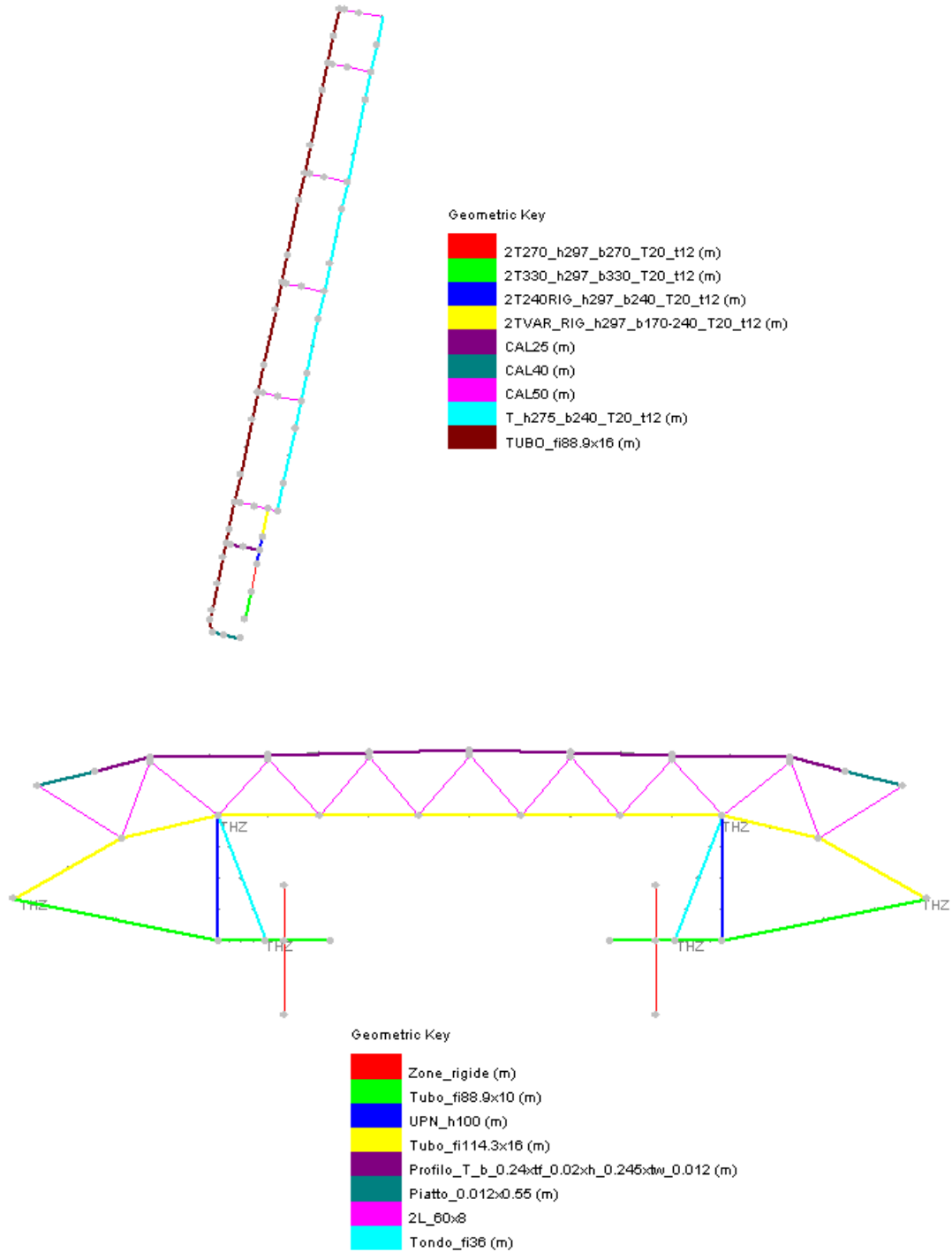


Fig. 3 Caratteristiche inerziali della parte di barriera in acciaio.

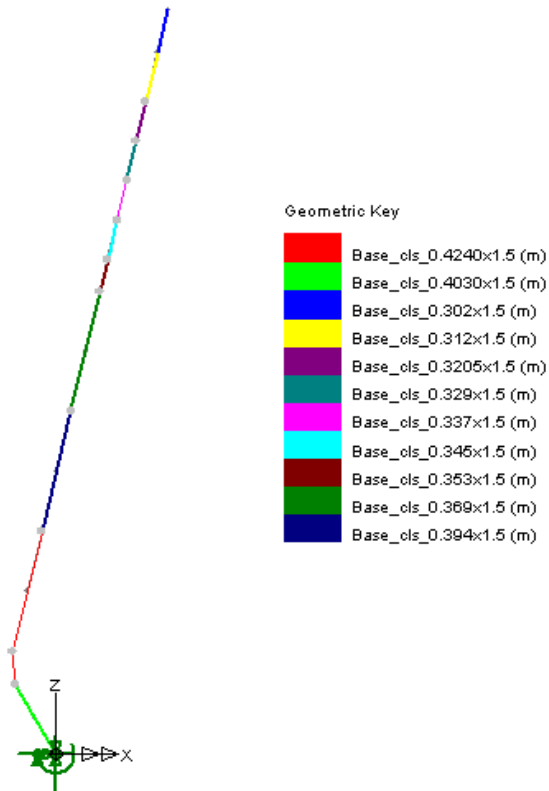


Fig. 4 Caratteristiche inerziali della base in cls.

1.3.2 Materiali

Cls

Peso specifico $\gamma_c = 25000 \text{ N/m}^3$

Coeff. Poisson 0.2

Modulo elastico $E_c = 3.824\text{E}+10 \text{ N/m}^2$

Acciaio

Peso specifico $\gamma_c = 78500 \text{ N/m}^3$

Coeff. Poisson 0.2

Modulo elastico $E_s = 2.06\text{E}+11 \text{ N/m}^2$

Per le zone rigide del modello è stato adottato anche un modulo elastico di un ordine di grandezza superiore.

1.3.3 Carichi

I carichi agenti sulla struttura sono stati riportati sul montante considerando un interasse di progetto di 3000 mm, sulla base un interasse di 1500 mm.

Pressione per effetti aerodinamici del treno

Ai sensi della Istruzione N° I/SC/PS-OM/2298, punto 1.4.6.6, per superfici che circondano integralmente il binario, si ha quanto segue.

Sulla superficie verticale e obliqua si ha su tutta l'altezza una pressione ortogonale $k_4 * q_{1k} = 2 * 460 = 920 \text{ N/m}^2$ ($q_{1k} = 460 \text{ N/m}^2$ valore di pressione con coefficiente di forma aerodinamica pari a 1), sulla parte di barriera orizzontale una pressione ortogonale $k_5 * q_{2k} = 3.5 * 240 = 840 \text{ N/m}^2$ ($q_{2k} = 240 \text{ N/m}^2$ calcolato ai sensi del punto 1.4.6.3. per $h_g = 7.5 \text{ m}$)

La velocità v della linea è posta uguale a 200 km/h, il coefficiente per la forma aerodinamica del treno è posto pari ad 1.

Le predette pressioni ortogonali alla barriera possono agire in entrambe le direzioni.

Pressione del vento

Si assume per le verifiche il valore limite già calcolato per le barriere standard pari a $p = 1948 * 0.8 / 1.2 = 1299 \text{ N/m}^2$, sulla parte di struttura verticale sopravento, da intendersi calcolata con un coefficiente di forma di 0.8, pari a $1299 / 2 = 650 \text{ N/m}^2$ sulla parte di struttura sottovento così come sulle parti oblique e orizzontali a copertura, da intendersi calcolata con un coefficiente di forma pari a 0.4.

Pressione interna

Si assume il valore $1948 * 0.2 / 1.2 = 325 \text{ N/m}^2$, agente ortogonalmente alla barriera, da intendersi calcolata con un coefficiente di forma di 0.2.

Peso delle pennellature fonoassorbenti

Viene posto pari a 500 o 1500 N/m² per i pannelli fonoassorbenti a rappresentare il peso di pannelli leggeri con materiale fonoassorbente, i quali possono essere rispettivamente asciutti (minimo) o imbevuti di acqua (massimo). A favore di sicurezza per le verifiche sul montante si suppone l'intero carico come agente direttamente sul montante in acciaio senza alcun appoggio sulla base in calcestruzzo.

Carico della neve

Viene posto un carico distribuito superficiale pari a 1500 N/m² su tutta la copertura orizzontale e sui tratti obliqui ed un carico distribuito linearmente alla fine dei tratti verticali di barriera pari a 750 N/m (valori medio-alti per la maggioranza delle linee).

Peso proprio

E' presente negli elementi in acciaio e nel calcestruzzo; esso deriva dalla densità di massa dei materiali, dalla geometria degli elementi e dall'accelerazione di gravità applicata. Per una maggior chiarezza si esegue l'analisi dei carichi della barriera (montanti + basi in cls):

Pesi agenti:

Descrizione	Peso unitario	Quantità	Peso tot. [N]
4 tondi ϕ 30 lunghezza 6.5 m	0.706858E-3*78500 N/m	4*6.5 m	1443 (*)
2 tubi ϕ 88.9*16 lunghezza 6.5 m	3.664E-3*78500 N/m	2*6.5 m	3739
Piatti da 130 mm lungh. tot. 4.2 m	0.13*0.008*78500 N/m	4.2 m	343 (*)
Piatti da 180 mm lungh. tot. 0.6 m	0.13*0.008*78500 N/m	0.6 m	49 (*)
Piatti spessi 12 mm area tot. 1.4 m ²	0.012*78500 N/m ²	1.4 m ²	1319
2 profili a T lunghezza 4.5 m	7.86E-3*78500 N/m	2*4.5 m	5553
Profili a 2T (2*4 tratti di sezione diversa lunghi 0.25 m)	2*(0.0139+0.0163+0.0127+0.0113)*78500 N/m	0.25 m	2127
2 basi in cls lungh. 1.5 m (escluso zoccolo orizzontale)	2*1.11*25000 N/m	1.5 m	83250
Profilo a T – corrente sup. reticolare	7.5E-3*78500 N/m	8.1 m	4769
Tubo ϕ 114.3*16 lunghezza 10.2 m	4.9411E-3*78500 N/m	10.2 m	3956

Doppia L 60*8 lunghezza 11 m	2*0.896E-3*78500 N/m	11 m	1547
Totale P			106260 (**)

(*) Pesi di elementi non strutturali e quindi non inseriti nel modello

(**) Il peso totale P non comprende gli elementi (*)

Azione sismica

In direzione trasversale, per i pesi propri ed i pesi delle pannellature presenti determina sollecitazioni inferiori a quelle di vento + sovrappressione del treno con le quali non va comunque combinata, quindi si conducono le verifiche tralasciando l'azione sismica.

In direzione longitudinale si effettua la verifica dei controventi del sistema considerando invece l'azione sismica.

Azioni TE

Le seguenti azioni sono relative al caso peggiore di una doppia linea da 610 con raggio di curvatura R pari a 1500 m e lunghezza della campata C pari a 60 m:

$$Ps1 = -300 \text{ N}$$

$$Wf1 = 1220 \text{ N}$$

$$Rf1 = 900 \text{ N}$$

$$Pcf1 = -3420 \text{ N}$$

$$Wc1 = 1380 \text{ N}$$

$$Rc1 = 800 \text{ N}$$

$$Ptt1 = -840 \text{ N}$$

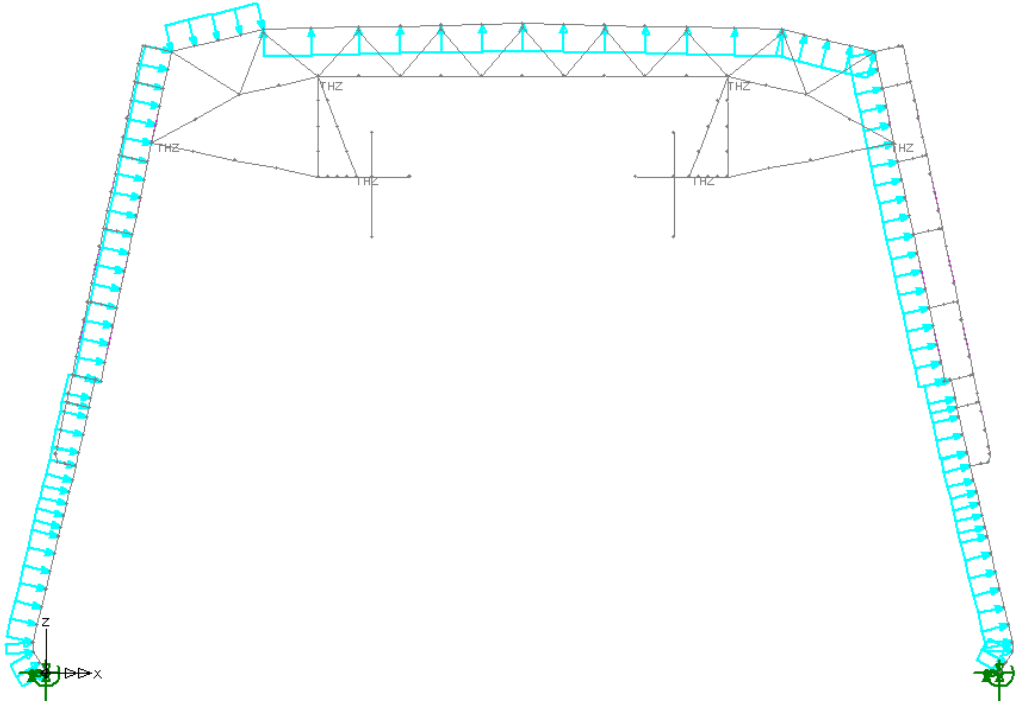
$$Wtt1 = 2424 \text{ N}$$

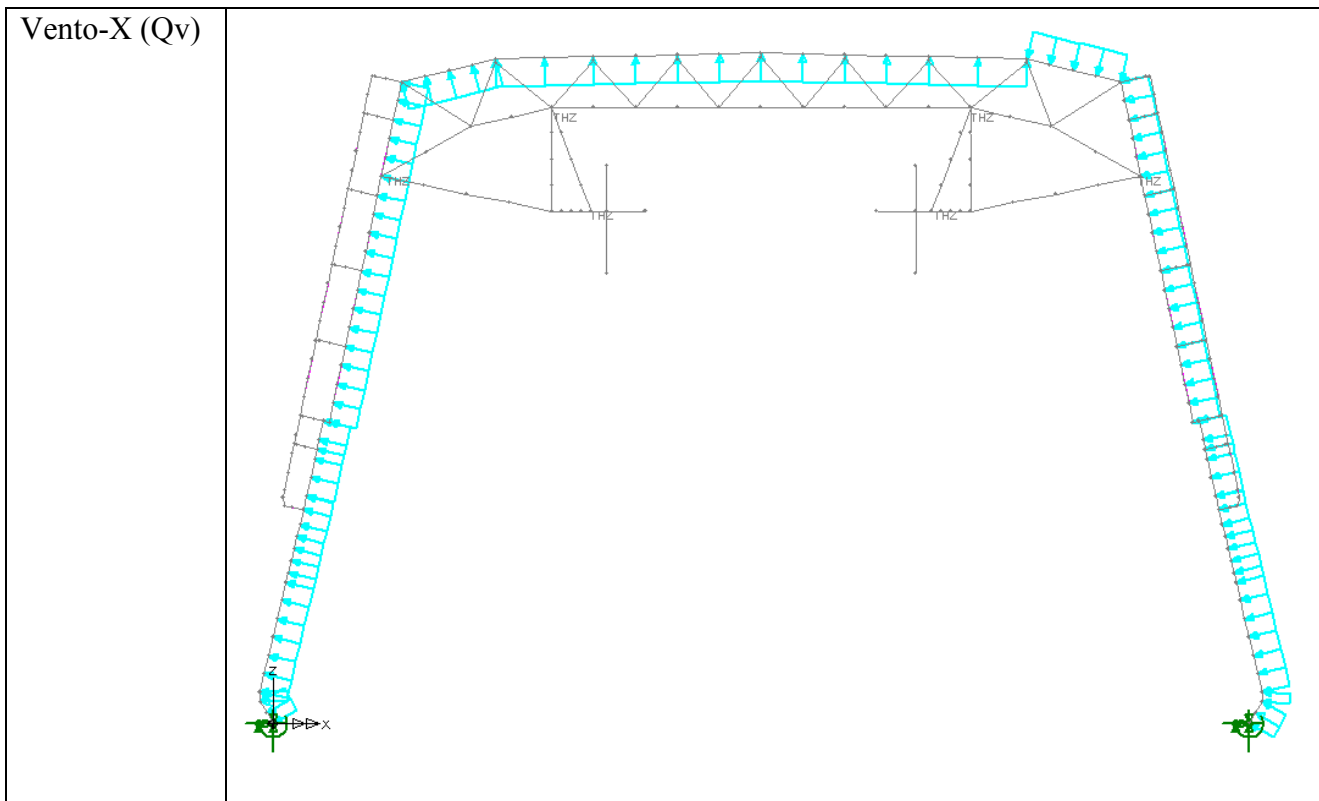
$$Rtt1 = 559.6 \text{ N}$$

Condizioni di carico

Il carico relativo al peso proprio è stato assegnato ad una condizione di carico ed è stato considerato sempre presente; il carico dovuto alla pannellatura fonoassorbente è stato considerato in un'altra condizione di carico ed è stato posto pari a 500 N/m^2 (per pannelli secchi) o 1500 N/m^2 (per pannelli imbevuti d'acqua) a seconda di quale fosse la condizione più gravosa; l'azione limite del

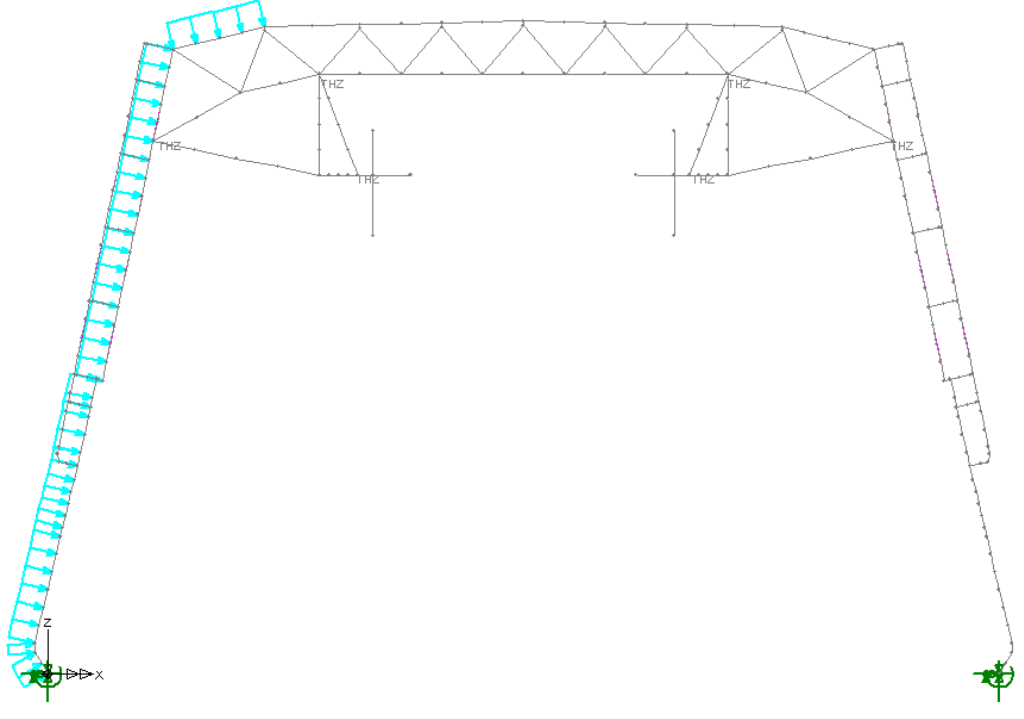
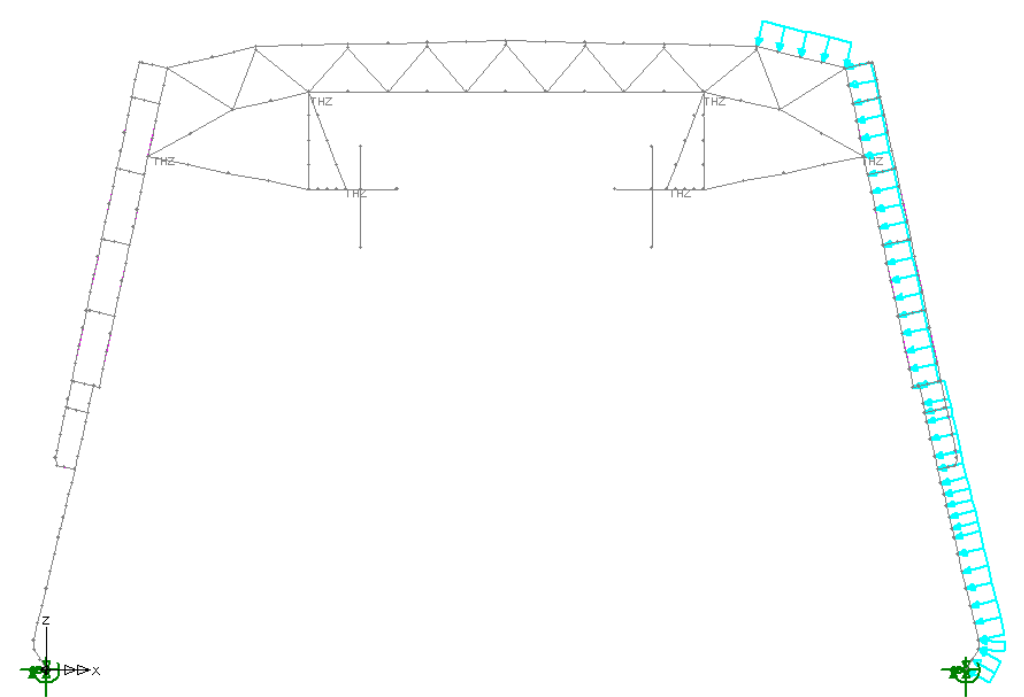
vento pari a 1299 o 650 N/m² nella direzione ortogonale alla barriera è stata inclusa in altre due condizioni di carico (da interno a esterno barriera o viceversa) come indicato di seguito:

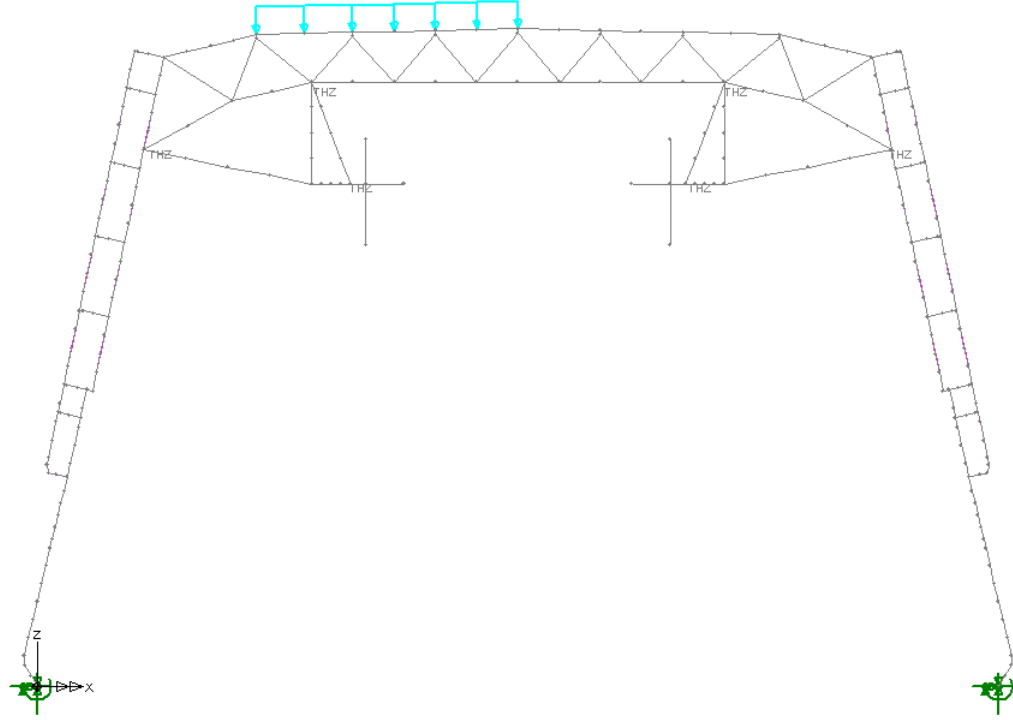
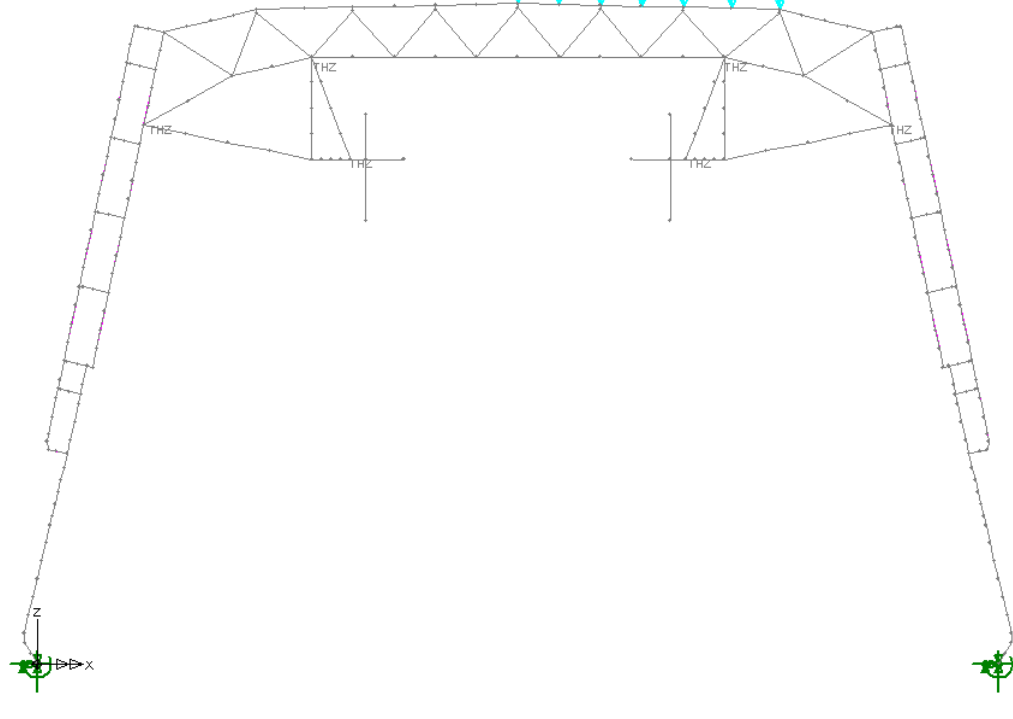
Descrizione	Schema
Vento+X (Qv)	



La sola sovrappressione dinamica pari a 920 N/m^2 sul montante verticale di sinistra più il tratto obliquo di sinistra è stata inclusa in un'altra condizione di carico e la sua azione è stata considerata come possibile in entrambe le direzioni ortogonalmente alla barriera; la sola sovrappressione dinamica pari a 920 N/m^2 sul montante verticale di destra più il tratto obliquo di destra è stata inclusa in un'altra condizione di carico e la sua azione è stata considerata come possibile in entrambe le direzioni ortogonalmente alla barriera; la sola sovrappressione dinamica pari a 840 N/m^2 sulla parte sinistra di copertura orizzontale è stata inclusa in un'altra condizione di carico e la sua azione è stata considerata come possibile in entrambe le direzioni ortogonalmente alla barriera; la sola sovrappressione dinamica pari a 840 N/m^2 sulla parte destra di copertura orizzontale è stata inclusa in un'altra condizione di carico e la sua azione è stata considerata come possibile in entrambe le direzioni ortogonalmente alla barriera.

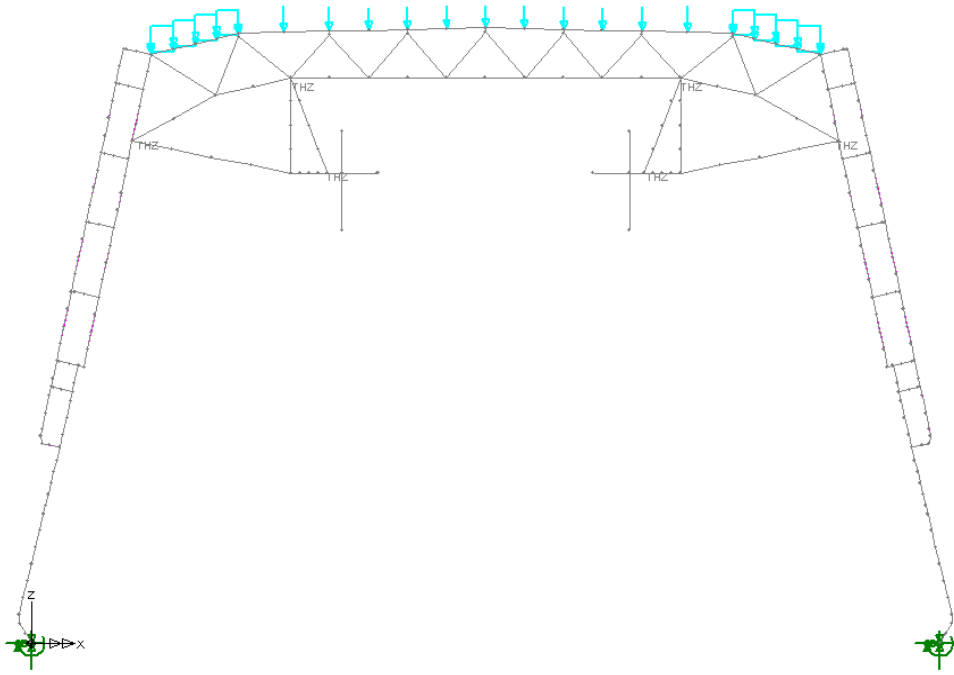
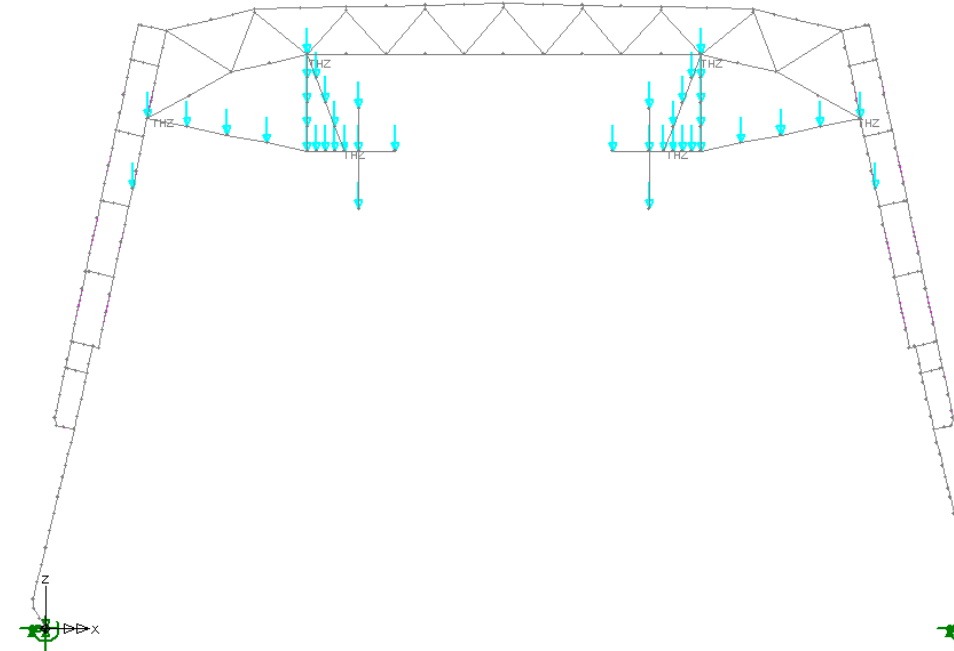
Le quattro condizioni di carico sono di seguito descritte:

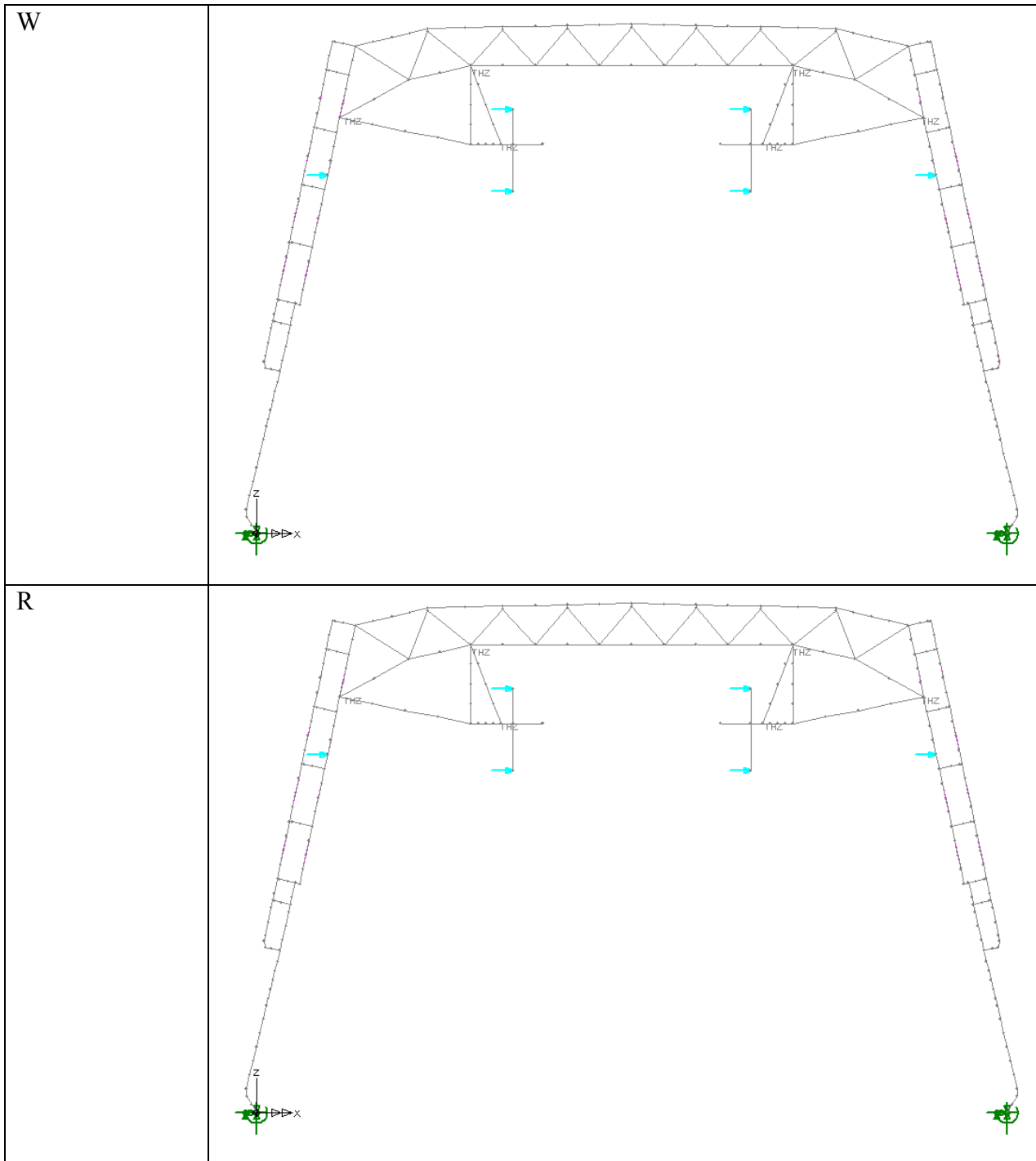
Descrizione	Schema
Sovrap mont+mensola SX (Q _{ssx})	
Sovrap mont+mensola DX (Q _{sdx})	

Sovrap cop_oriz_parte _sx (Qscopsx)	
Sovrap cop_oriz_parte _dx (Qscopdx)	

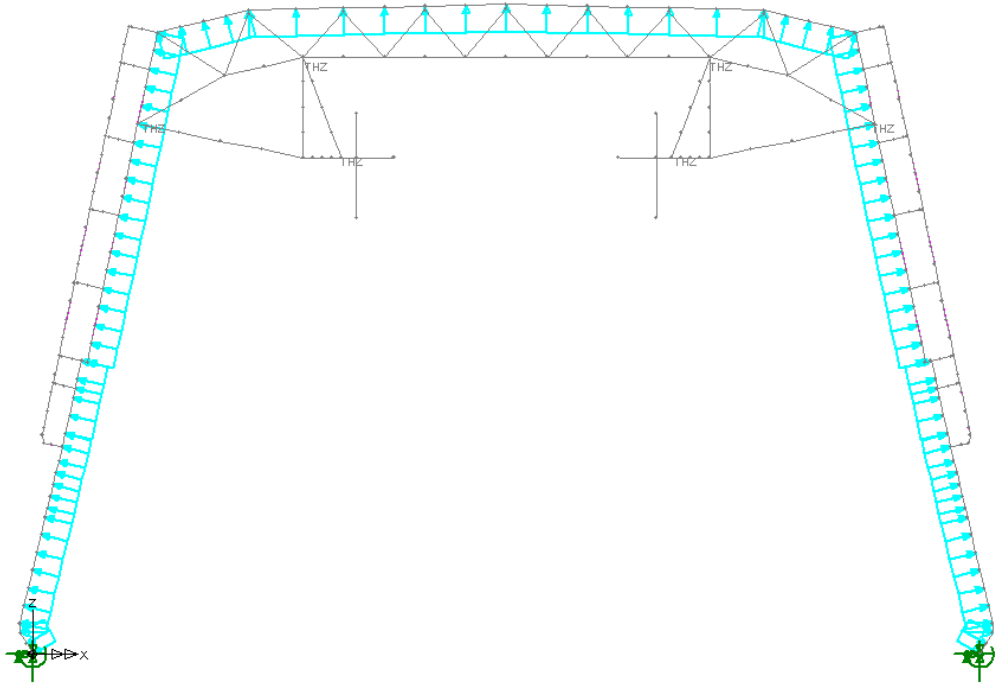
L'azione della neve considerata dall'alto verso il basso (direzione $-Z$) è stata inclusa in un'altra condizione di carico ed è stata considerata presente o meno. Le azioni verticali della TE P* sono state incluse in un'altra condizione di carico e la loro azione è stata considerata come possibile

dall'alto verso il basso. Le azioni orizzontali della TE W* e R* sono state incluse in altre due condizioni di carico e la loro azione è stata considerata come possibile in entrambi i versi.

Descrizione	Schema
Neve (Qn)	
Pp_elementi_TE	



La pressione interna pari a 325 N/m^2 infine è stata inclusa in un'altra condizione di carico e la sua azione è stata considerata come possibile in entrambe le direzioni ortogonalmente alla barriera:

Descrizione	Schema
Pressione interna	

I carichi combinati risultano dunque i seguenti:

G peso proprio struttura

Gp peso pannelli asciutti

Sovrap mont+mensola SX (Qssx) sovrappressione aerodinamica

Sovrap mont+mensola DX (Qsdx) sovrappressione aerodinamica

Sovrap cop_oriz_parte_sx (Qscopsx) sovrappressione aerodinamica

Sovrap cop_oriz_parte_dx (Qscopdx) sovrappressione aerodinamica

Vento +X (Qv)

Vento -X (Qv)

Qn neve

Pp peso elementi TE

W azioni orizzontali in X della TE (da vento)

R azioni orizzontali in X della TE (da raggio curvatura)

Pressione interna

Combinazioni e involuppi

Per il calcolo delle sollecitazioni da considerare ai fini delle verifiche a **fatica** si è considerato il seguente involuppo di carichi:

Inviluppo sovrappressioni (1) espresso dalla:

$$(1,-1) \text{ Sovrap mont+mensola SX } (Q_{ssx}) + (1,-1) \text{ Sovrap mont+mensola DX } (Q_{sdx}) + (1,-1) \text{ Sovrap cop_oriz_parte_sx } (Q_{scopsx}) + (1,-1) \text{ Sovrap cop_oriz_parte_dx } (Q_{scopdx}) \quad (1)$$

I numeri tra parentesi indicano i coefficienti di combinazione lineare che massimizzano o minimizzano l'effetto considerato.

Per il calcolo delle sollecitazioni da considerare per le verifiche a **resistenza** si è analizzato l'inviluppo (**Inviluppo_totale_TA**) del gruppo di combinazione espresso dalla:

$$(1,1) \text{ Perm. escluso pannelli } + (2,1) \text{ Peso pannelli } + (1,0) \text{ (Vento+X oppure Vento-X) } + (1,-1) \text{ Pressione_interna } + (1,0) \text{ Inviluppo sovrappressioni (1) } + (1,0) \text{ Neve } + (1,0) \text{ Pp Elementi TE } + (1,-1) \text{ W } + (1,-1) \text{ R} \quad (2)$$

Combinazioni generiche per la **deformabilità**:

si verifica che per il solo sovraccarico $Q_v + Q_{ssx} + Q_{scopsx} + Q_{scopdx} + Q_n$ lo spostamento totale (e non orizzontale a favore di sicurezza) sia inferiore a 1/150 dell'altezza H della barriera e lo spostamento verticale sia inferiore a 1/400 della luce orizzontale di 9.52 m.

1.4 VERIFICHE

Le verifiche riportate di seguito sono state effettuate considerando le sollecitazioni derivate dal modello con un interasse dei montanti di 3.00 m.

Per le verifiche a fatica, si è considerata una verifica a fatica a tempo infinito; le verifiche risultano soddisfatte se in generale le escursioni Δ delle tensioni risultanti normali o tangenziali risultano

inferiori rispettivamente ad un "valore ammissibile" $\Delta\sigma_{am}$ o $\Delta\tau_{am}$ dipendenti dalla categoria del particolare in esame (riportata in ogni verifica ed evidenziate nella figura seguente) ; tali valori si ottengono dividendo i valori limite $\Delta\sigma_D$ (limite di fatica ad ampiezza costante) per le categorie ove esso è presente o $\Delta\tau_D$ (limite per i calcoli a fatica per 5 milioni di cicli) per le altre categorie per un coefficiente di sicurezza fissato in 1.25:

$\Delta\sigma_{am} = \Delta\sigma_D / 1.25$ ($\Delta\sigma_D = \Delta\sigma_A * \sqrt[3]{n_A / n_D}$ con $n_A=2e6$, $n_D=5e6$ per tutte le categorie tranne la 56 per la quale $n_D = 10e6$; $\Delta\sigma_A =$ categoria del particolare);

$\Delta\tau_{am} = \Delta\tau_D / 1.25$ ($\Delta\tau_D$ dalla seguente formula: $\log N = \log a - m*\log \Delta\tau_D$ con $N = 5e6$, $\log a = 16.301$ per cat. 100, $\log a = 15.801$ per cat. 80, $m = 5$).

Si riporta di seguito un prospetto delle categorie dei dettagli con le relative $\Delta\sigma_D$, $\Delta\tau_D$ utilizzate:

cat	160	140	63	56
$\Delta\sigma_D$ [N/mm ²]	117.9	103.2	46.4	32.7

cat	100	80
$\Delta\tau_D$ [N/mm ²]	83.3	66.1

Le tensioni ammissibili per le verifiche di resistenza sono riportate nella relazione sui materiali.

Nelle verifiche di seguito riportate (con la numerazione sequenziale corrispondente alla figura 4) si vuole intendere con σ o $\Delta\sigma$ int. barr. la tensione dell'elemento strutturale oggetto di verifica sul bordo della sezione sul lato rivolto verso l'interno della barriera (lato binari), con σ o $\Delta\sigma$ est. barr. la tensione sul bordo della sezione sul lato rivolto verso l'esterno della barriera (lato opposto ai binari); ad esempio per il profilo a T la tensione σ int. barr. è quella sul bordo dell'ala (la verifica è relativa a tutti gli elementi strutturali sub-verticali: profilo a doppia T, profilo a T, tubolare e tondi).

Con σ o $\Delta\sigma$ sup. (o inf.) si vuole invece intendere la tensione sul bordo superiore, cioè più alto, (o inferiore) della sezione oggetto di verifica (verifica calastrelli).

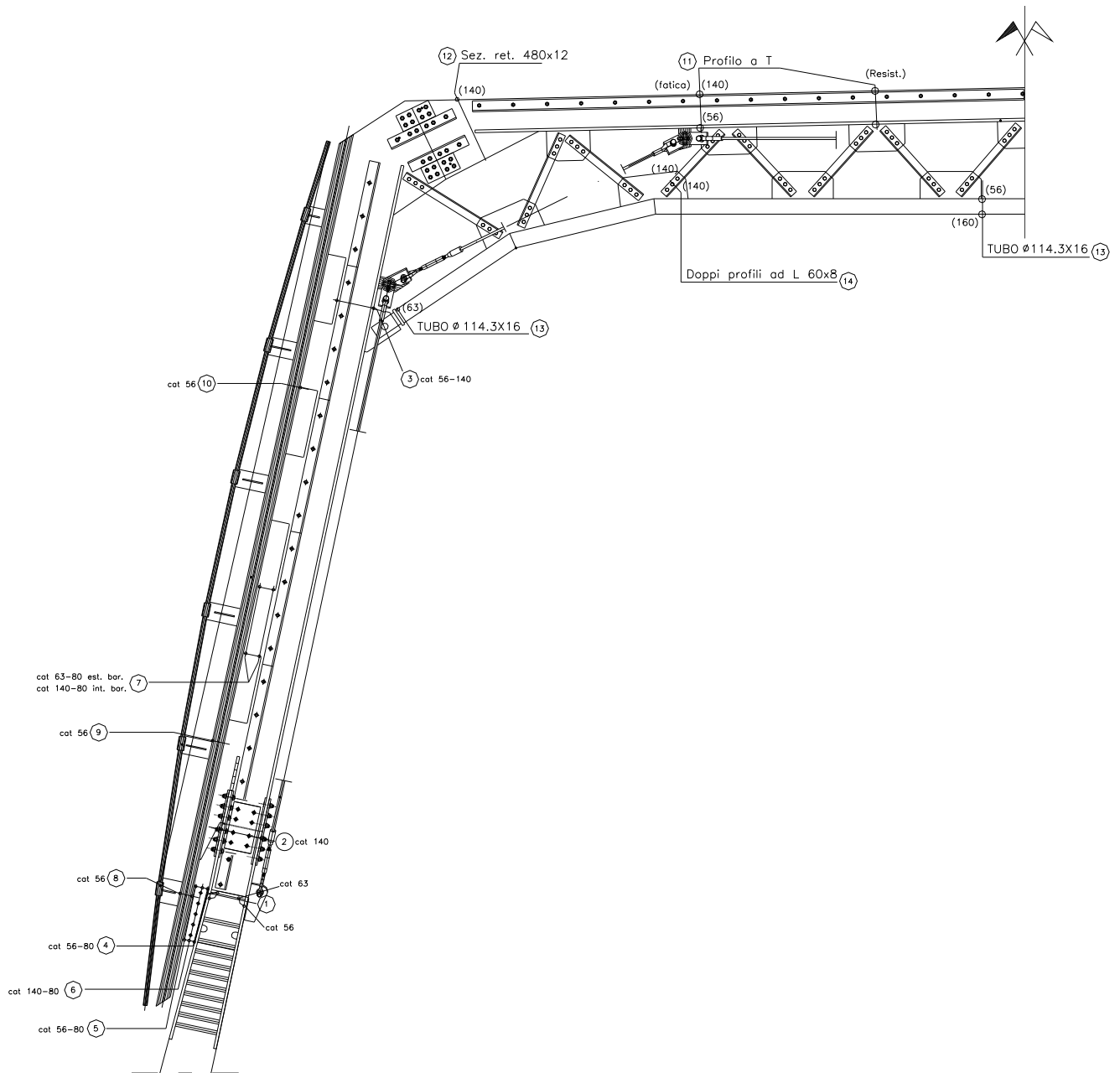


Fig. 5 Principali sezioni di verifica con relativa classe del dettaglio di fatica

1.4.1 Sezione a doppia T

Verifica 1

CARATTERISTICHE GEOMETRICHE									
2T corrente 2.0 m: sezione piena		A (m ²)	Jx (m ⁴)	W int barr (m ³)	W est barr (m ³)	Aty (m ²)	ix (m)		
Larghezza ali (m)	0.3600	0.017484	0.000293679	0.0019776	0.0019776	0.0035640	0.1296033		
Spessore ali (m)	0.0200								
Altezza anima+ali (m)	0.2970								
Spessore anima (m)	0.0120								
VERIFICA RESISTENZA									
CONDIZIONE DI CARICO	ELEMENTO	NODO	N (N)	T (N)	M (Nm)	VERIFICA SODDISFATTA		$\sigma_{id} < \sigma_{am}$	
inviluppo totale - Mmax	176	318	-16873	-41764	39678.00				
σ int barr (N/mm ²)	σ est barr (N/mm ²)	τ (N/mm ²)	σ_{id} (N/mm ²)	σ_{am} (N/mm ²)	-	-	-		
19.1	-21.0	-11.7	29.2	190.0					
F scorrimento ala - anima (N/m)		$\tau_{scorrim}$ (N/mm ²)		τ_{am} (N/mm ²)					
141811.51		11.82		109.7					
VERIFICA FATICA									
CONDIZIONE DI CARICO	ELEMENTO	NODO	N (N)	T (N)	M (Nm)	VERIFICA SODDISFATTA		$\Delta\sigma_{int} < \Delta\sigma_{am,int}$ $\Delta\sigma_{est} < \Delta\sigma_{am,est}$	
inviluppo sovrappressioni - Mmax	176	318	18365	-16400	14496.20				
$\Delta\sigma$ int barr (N/mm ²)	$\Delta\sigma$ est barr (N/mm ²)				Categoria particolare	$\Delta\sigma_{am,int}$ (N/mm ²)			
16.8					56	26.2			
$\Delta\sigma$ int barr (N/mm ²)	$\Delta\sigma$ est barr (N/mm ²)				Categoria particolare	$\Delta\sigma_{am,est}$ (N/mm ²)			
	-12.6				56	26.2			
ΔF scorrimento ala - anima (N/m)			$\Delta\tau_{scorrim}$ (N/mm ²)		Categoria particolare		$\Delta\tau_{am}$ (N/mm ²)		
-111373.85			-9.28		80		66.1		

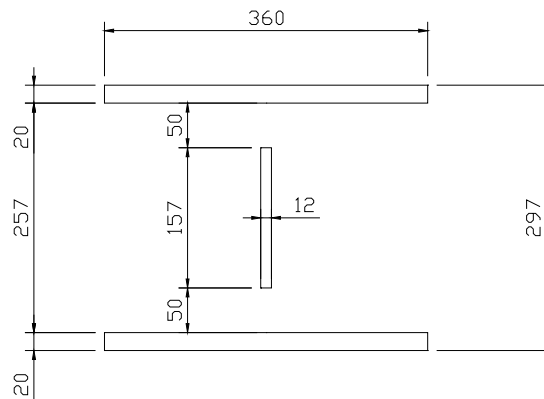
La verifica a scorrimento tra anima e ala viene effettuata sullo spessore dell'anima e non delle saldature in quanto più gravosa; sono presenti infatti due cordoni d'angolo da 12 mm.

L'anima del profilo a doppia T viene inoltre prolungata verso il basso all'interno del manufatto in cls fino a coprire l'intera altezza dei piatti di collegamento sella-tubolare prevedendo anche delle asole per il passaggio delle armature longitudinali; ciò viene fatto per consentire un adeguato passaggio delle sollecitazioni di taglio e flettenti dal tubolare al profilo a doppia T e quindi alla base in cls.

Viene poi effettuata una verifica della sezione a quota 2 m sul p.f. in corrispondenza degli slot per il passaggio delle armature longitudinali della base in cls.

La verifica viene effettuata sulla sezione costituita da ali più anima e non in corrispondenza delle saldature presenti sull'anima (2 cordoni d'angolo da 12 mm) in quanto la larghezza della sezione di gola di queste ultime è uguale alla sezione dell'anima anche considerando che la tensione ammissibile dei cordoni è pari a $0.7 \cdot \sigma_{amm}$ acciaio infatti:

Larghezza sezione di gola cordoli: $12 \cdot 0.707 \cdot 2 \cdot 0.7 = 12$ mm (0.707 tiene conto della riduzione di larghezza nella sezione di gola, 0.7 tiene conto della riduzione della σ_{amm}). La verifica delle saldature è quindi automatica. La sezione è quella mostrata di seguito:



CARATTERISTICHE GEOMETRICHE							
2T corrente 2.0 m: sezione con slot da 50 mm		A (m ²)	Jx (m ⁴)	W int barr (m ³)	W est barr (m ³)	Aty (m ²)	ix (m)
Larghezza ali (m)	0.3600	0.016284	0.000280574	0.0018894	0.0018894	0.0018840	0.1312633
Spessore ali (m)	0.0200						
Altezza anima+ali (m)	0.2970						
Spessore anima (m)	0.0120						
VERIFICA RESISTENZA							
CONDIZIONE DI CARICO	ELEMENTO	NODO	N (N)	T (N)	M (Nm)	VERIFICA SODDISFATTA	$\sigma_{id} < \sigma_{am}$
involuppo totale - Mmax	176	318	-16873	-41764	39678.00		
σ int barr (N/mm ²)	σ est barr (N/mm ²)	τ (N/mm ²)	σ_{id} (N/mm ²)	σ_{am} (N/mm ²)	-	-	-
20.0	-22.0	-22.2	44.3	190.0			
VERIFICA FATICA							
CONDIZIONE DI CARICO	ELEMENTO	NODO	N (N)	T (N)	M (Nm)	VERIFICA SODDISFATTA	$\Delta\sigma_{int} < \Delta\sigma_{am,int}$ $\Delta\sigma_{est} < \Delta\sigma_{am,est}$
involuppo sovrappressioni - Mmax	176	318	18365	-16400	14496.20		
$\Delta\sigma$ int barr (N/mm ²)	$\Delta\sigma$ est barr (N/mm ²)				Categoria particolare	$\Delta\sigma_{am,int}$ (N/mm ²)	
17.6					63	37.1	
$\Delta\sigma$ int barr (N/mm ²)	$\Delta\sigma$ est barr (N/mm ²)				Categoria particolare	$\Delta\sigma_{am,est}$ (N/mm ²)	
	-13.1				63	37.1	

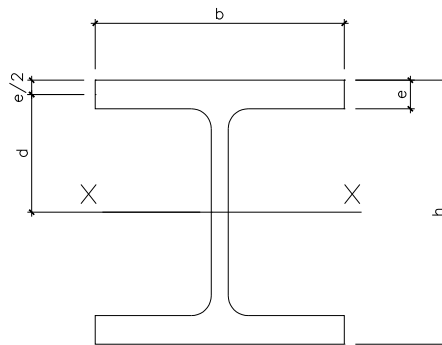
Verifica 2

CARATTERISTICHE GEOMETRICHE								
2T corrente 2.5 m forata		A (m ²)	J _x (m ⁴)	W int barr (m ³)	W est barr (m ³)	A _{ty} (m ²)	i _x (m)	
Larghezza ali (m)	0.2400	0.010893	0.000174616	0.0011759	0.0011759	0.0030768	0.1266102	
Spessore ali (m)	0.0200							
Altezza anima+ali (m)	0.2970							
Spessore anima (m)	0.0120							

VERIFICA RESISTENZA								
CONDIZIONE DI CARICO	ELEMENTO	NODO	N (N)	T (N)	M (Nm)	VERIFICA SODDISFATTA		
involuppo totale - Mmin	200	376	-50383	36627	-15942.00	σ _{id} < σ _{am}		
σ int barr (N/mm ²)	σ est barr (N/mm ²)	τ (N/mm ²)	σ _{id} (N/mm ²)	σ _{am} (N/mm ²)	-	-	-	
-18.2	8.9	11.9	27.5	190.0				

VERIFICA FATICA								
CONDIZIONE DI CARICO	ELEMENTO	NODO	N (N)	T (N)	M (Nm)	VERIFICA SODDISFATTA		
involuppo sovrappressioni - Mmin	200	376	-18462	14906	-6665.50	Δσ _{int} < Δσ _{am,int} Δσ _{est} < Δσ _{am,est}		
Δσ int barr (N/mm ²)	Δσ est barr (N/mm ²)				Categoria particolare	Δσ _{am,int} (N/mm ²)		
-14.7					140	82.6		
Δσ int barr (N/mm ²)	Δσ est barr (N/mm ²)				Categoria particolare	Δσ _{am,est} (N/mm ²)		
	7.9				140	82.6		

1.4.2 Collegamento bullonato a quota 2.5 m su p.f.



Con riferimento alla figura precedente ed indicando con:

A_{bp} area gambo bullone sulla piattabanda

A_{ba} area gambo bullone sull'anima

$M_p = b \cdot e \cdot (d_1^2 + d_2^2) \cdot M_x / J_x$ quota del momento M_x trasmesso dai coprigiunti dalle ali

$M_a = (1 - b \cdot e \cdot (d_1^2 + d_2^2) / J_x) \cdot M_x$ quota del momento M_x trasmesso dai coprigiunti dall'anima

$N_p = 2 \cdot b \cdot e \cdot N / A$ quota dello sforzo normale N trasmesso dai coprigiunti dalle ali

$N_a = (1-2*b*e/A)*N$ quota dello sforzo normale N trasmesso dai coprigiunti dall'anima

$S_{px} = M_p/(h-e)+N_p/2$ sforzo dovuto a M_p e N_p che sollecita i coprigiunti delle ali su un lato del profilo

$S_{py} = M_y/t$ sforzo dovuto a M_y che sollecita i coprigiunti e i bulloni delle ali su un lato del profilo
t distanza tra i bulloni delle ali in direzione longitudinale barriera

$V_p = T_y/(n_{bp}*2)$ quota di taglio orizzontale T_y su ogni bullone delle ali (n_{bp} num. totale bulloni ali)

$H_p = S_{px}/n_{bp} + S_{py}/n_{bp}$ quota di taglio verticale su un bullone delle ali

$R_p = (V_p^2 + H_p^2)^{0.5}$ taglio complessivo su un bullone delle ali

$V_a = T_x/n_{ba}$ quota di taglio T_x su ogni bullone dell'anima (n_{ba} numero bulloni anima)

f coefficiente dipendente dal numero di file di bulloni sull'anima e dal numero di bulloni su una fila sull'anima

h' distanza tra i bulloni più esterni sull'anima

$H_a = f*M_a/h' + N_a/n_{ba}$ quota di taglio sul bullone più esterno dell'anima dovuta al momento M_a e allo sforzo normale N_a

$R_a = (V_a^2 + H_a^2)^{0.5}$ taglio complessivo sul bullone più esterno dell'anima

$\tau_{bp} = R_p/(n_{fp}*A_{bp})$ tensione di taglio sui bulloni delle ali a resistenza (n_{fp} numero facce resistenti)

$\tau_{ba} = R_a/(n_{fa}*A_{ba})$ tensione di taglio sui bulloni dell'anima a resistenza (n_{fa} numero facce resistenti)

$\Delta\tau_{bp} = 2*R_p/(n_{fp}*A_{bp})$ delta di tensione di taglio sui bulloni delle ali a fatica

$\Delta\tau_{ba} = 2*R_a/(n_{fa}*A_{ba})$ delta di tensione di taglio sui bulloni dell'anima a fatica

τ_{am} tensione di taglio ammissibile a resistenza

$\Delta\tau_{am}$ delta di tensione di taglio ammissibile a fatica

1.4.2.1 Verifica bulloni e rifollamento

Si utilizzano 6+6 bulloni M16 sulle ali, 4+4 bulloni M20 sull'anima; cond. di carico "Inviluppo totale M_{min} "

RESISTENZA

Profilo con la sezione piena dalle caratteristiche statiche minori: a doppia T saldato

b [mm]	e [mm]	d [mm]	h [mm]	A [mm ²]	J _x [mm ⁴]
240	20	138.5	297	12684	201444193

Sollecitazioni frame elem. 200 - joint 376

N [N]	M _x [N*mm]	T _x [N]	M _y [N*mm]	T _y [N]
50383	15942000	36627	0	0

Verifica bulloni ali

n° bulloni	6
n° facce	2
A _{bp} [mm ²]	201
t [mm]	160
M _p [N*mm]	14573331.1
N _p [N]	38132.8
S _{px} [N]	71677.7
S _{py} [N]	0.0
V _p [N]	0.0
H _p [N]	11946.3
R _p [N]	11946.3
tau _{bp} [N/mm ²]	29.7
tau _{am} [N/mm ²]	224.4 cl. 8.8

Verifica bulloni anima

n° bulloni	4
n° facce	2
A _{ba} [mm ²]	314.2
f	1
h' [mm]	120
M _a [N*mm]	1368668.9
N _a [N]	12250.2
V _a [N]	9156.8
H _a [N]	14468.1
R _a [N]	17122.3
tau _{ba} [N/mm ²]	27.2
tau _{am} [N/mm ²]	224.4 cl. 8.8

Verifica soddisfatta

Verifica soddisfatta

Rifollamento ANIMA

s [mm] (spessore minore elementi collegati)	12
d [mm] (diametro bullone)	20
a [mm] (dist. fori-bordo libero in dir. forza)	40

$\alpha = a/d$	2
$\alpha * \sigma_{amm}$ [N/mm ²]	380
$\sigma_{rif} = R_a / (s * d)$ [N/mm ²]	71.3

$\sigma_{rif} < \alpha * \sigma_{amm}$

Verifica non soddisfatta

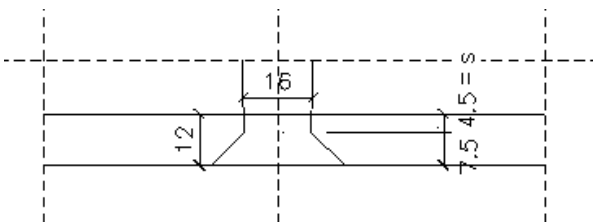
Rifollamento ALI

s [mm] (spessore minore elementi collegati)	4.5
d [mm] (diametro bullone)	16
a [mm] (dist. fori-bordo libero in dir. forza)	50

$\alpha = a/d$	2.5
$\alpha * \sigma_{amm}$ [N/mm ²]	475
$\sigma_{rif} = R_p / (s * d)$ [N/mm ²]	165.9

$\sigma_{rif} < \alpha * \sigma_{amm}$

Verifica non soddisfatta



Condizione di carico "Involuppo sovrappressioni Mmin":

FATICA

Profilo con la sezione piena dalle caratteristiche statiche minori: a doppia T saldato

b [mm]	e [mm]	d [mm]	h [mm]	A [mm ²]	J _x [mm ⁴]
240	20	138.5	297	12684	201444193

Sollecitazioni frame elem. 200 - joint 376

N [N]	M _x [N*mm]	T _x [N]	M _y [N*mm]	T _y [N]
18462	6665500	14906	0	0

Verifica bulloni ali

n° bulloni	6
n° facce	2
A _{bp} [mm ²]	201
t [mm]	160
M _p [N*mm]	6093246.7
N _p [N]	13973.1
S _{px} [N]	28983.8
S _{py} [N]	0.0
V _p [N]	0.0
H _p [N]	4830.6
R _p [N]	4830.6
Δtau _{bp} [N/mm ²]	24.0
Δtau _{am} [N/mm ²]	66.6 Cat. 100

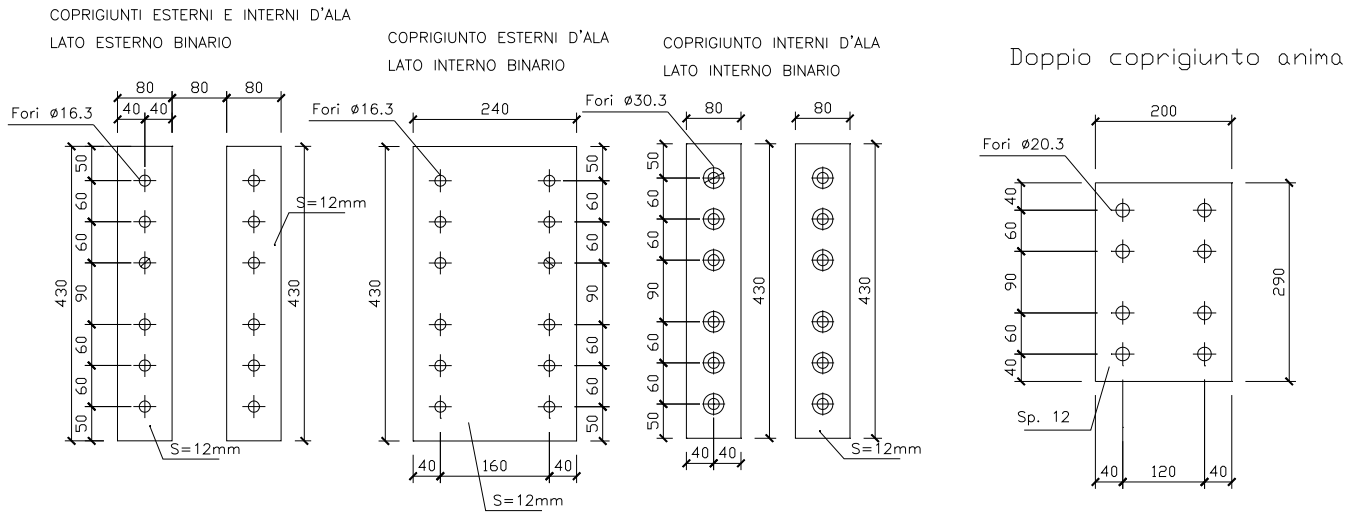
Verifica soddisfatta

Verifica bulloni anima

n° bulloni	4
n° facce	2
A _{ba} [mm ²]	314.2
f	1
h' [mm]	120
M _a [N*mm]	572253.3
N _a [N]	4488.9
V _a [N]	3726.5
H _a [N]	5891.0
R _a [N]	6970.7
Δtau _{ba} [N/mm ²]	22.2
Δtau _{am} [N/mm ²]	66.6 Cat. 100

Verifica soddisfatta

1.4.2.2 Verifica piatti coprigiunto



Coprigiunto ali:

Resistenza:

$$S = M_p / (h - e) = 14573331 / 277 = 52611 \text{ N sforzo sull'ala}$$

$$\sigma_{\text{cop,ala}} = S / [t1 * (b1 - 4 * 16.3)] = 17.2 \text{ N/mm}^2 < \sigma_{\text{am}}$$

t1 = 12 mm spessore piatto coprigiunto

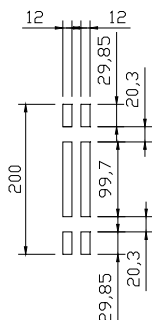
b1 = 4 * 80 = 320 mm larghezza piatti coprigiunto ala lato esterno barr.

Fatica:

$$S = M_p / (h - e) = 6093247 / 277 = 21997 \text{ N sforzo sull'ala}$$

$$\Delta\sigma_{\text{cop,ala}} = 2 * S / [t1 * (b1 - 4 * 16.3)] = 14.4 \text{ N/mm}^2 < \Delta\sigma_{\text{am}} = 82.6 \text{ N/mm}^2 \text{ (CAT. 140)}$$

Coprigiunto anima:



Verifica coprigiunti ANIMA

N_a [N]	12250
M_a [N mm]	1368669
T_a [N]	36627
Area netta coprig. d'anima [mm ²]	4066
momento d'inerzia [mm ⁴]	12220000
y [mm]	100
W [mm ³]	122200
sigma [Mpa]	14.21
tau [Mpa]	9.01
sigma_{id} [Mpa]	21.11
sigamm [Mpa]	190

Verifica soddisfatta

1.4.3 Profilo a T

Verifica 3

CARATTERISTICHE GEOMETRICHE							
T corrente 6.4 m		A (m2)	Jx (m4)	W int barr (m3)	W est barr (m3)	Aty (m2)	ix (m)
Larghezza ala (m)	0.2400	0.007860	0.00005207	0.0008196	0.0002462	0.0033000	0.0813933
Spessore ala (m)	0.0200						
Altezza anima+ala (m)	0.2750						
Spessore anima (m)	0.0120						
VERIFICA RESISTENZA							
CONDIZIONE DI CARICO	ELEMENTO	NODO	N (N)	T (N)	M (Nm)	VERIFICA	
inviluppo totale - Mmax	194	1	90678	-37623	18215.8	SODDISFATTA	$\sigma_{id} < \sigma_{am}$
σ int barr (ala) (N/mm2)	σ est barr (anima) (N/mm2)	τ (N/mm2)	σ_{id} (N/mm2)	σ_{am} (N/mm2)	-	-	-
33.8	-62.4	-11.4	65.5	190.0			
VERIFICA FATICA							
CONDIZIONE DI CARICO	ELEMENTO	NODO	N (N)	T (N)	M (Nm)	VERIFICA	
inviluppo sovrappressioni - Mmax	194	tra 1 e 364	42734	-16452	5060.1	SODDISFATTA	$\Delta\sigma_{int} < \Delta\sigma_{am,int}$ $\Delta\sigma_{est} < \Delta\sigma_{am,est}$
$\Delta\sigma$ int barr (ala) (N/mm2)	$\Delta\sigma$ est barr (anima) (N/mm2)				Categoria particolare	$\Delta\sigma_{am,int}$ (N/mm2)	
23.2					56	26.2	
$\Delta\sigma$ int barr (ala) (N/mm2)	$\Delta\sigma$ est barr (anima) (N/mm2)				Categoria particolare	$\Delta\sigma_{am,est}$ (N/mm2)	
	-30.2				140	82.6	

1.4.4 Collegamento tubolare $\phi 88.9 \times 16$ – sella

Verifica 4

CARATTERISTICHE GEOMETRICHE							
Calastrello Sella -Tubo 2 m int. Barriera		A (m ²)	Jx (m ⁴)	W sup (m ³)	W inf (m ³)	Aty (m ²)	ix (m)
Altezza piatto (m)	0.4000	0.009600	1.28E-04	0.0006400	0.0006400	0.0080000	0.1154701
Spessore piatto (m)	0.0240						
VERIFICA RESISTENZA							
CONDIZIONE DI CARICO	ELEMENTO	NODO	N (N)	T (N)	M (Nm)	VERIFICA SODDISFATTA	$\sigma_{id} < \sigma_{am}$
involuppo totale - Mmin	210	393	-2001	-62908	-9318.6		
σ sup (N/mm ²)	σ inf (N/mm ²)	τ (N/mm ²)	σ_{id} (N/mm ²)	σ_{am} (N/mm ²)	-	-	-
14.4	-14.8	-7.9	20.1	190.0			
VERIFICA FATICA							
CONDIZIONE DI CARICO	ELEMENTO	NODO	N (N)	T (N)	M (Nm)	VERIFICA SODDISFATTA	$\Delta\tau < \Delta\tau_{am}$ $\Delta\sigma_{inf} < \Delta\sigma_{am}$
involuppo sovrappressioni - Mmin	210	393	-429	-18397	-2742.53		
$\Delta\sigma$ sup (N/mm ²)	$\Delta\sigma$ inf (N/mm ²)		$\Delta\tau$ (N/mm ²)		Categoria particolare	$\Delta\sigma_{am}$ (N/mm ²)	$\Delta\tau_{am}$ (N/mm ²)
8.5	-8.7		-4.6		56(σ) - 80(τ)	26.2	52.9

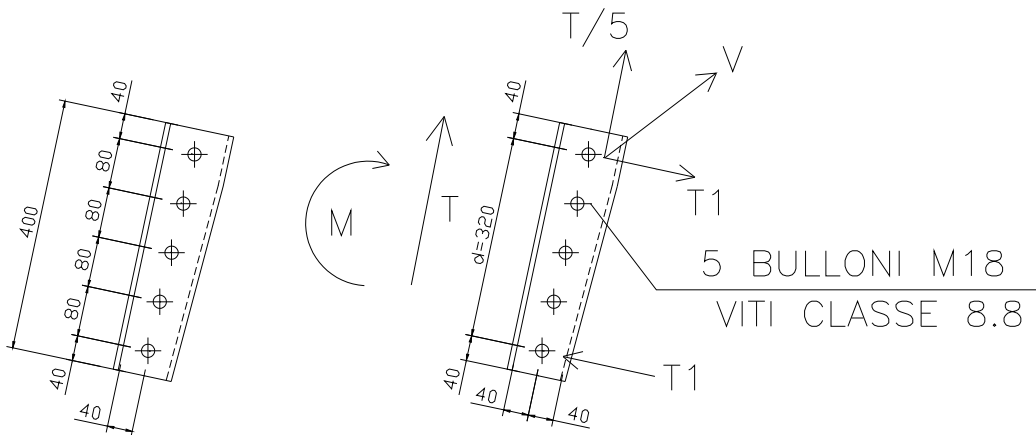
Verifica 5

CARATTERISTICHE GEOMETRICHE							
Calastrello Sella -Tubo 2 m est. Barriera		A (m ²)	Jx (m ⁴)	W sup (m ³)	W inf (m ³)	Aty (m ²)	ix (m)
Altezza piatto (m)	0.4000	0.004800	6.40E-05	0.0003200	0.0003200	0.0040000	0.1154701
Spessore piatto (m)	0.0120						
VERIFICA RESISTENZA							
CONDIZIONE DI CARICO	ELEMENTO	NODO	N (N)	T (N)	M (Nm)	VERIFICA SODDISFATTA	$\sigma_{id} < \sigma_{am}$
involuppo totale - Mmin	210	392	-1992.2	-62871	-2659.85		
σ sup (N/mm ²)	σ inf (N/mm ²)	τ (N/mm ²)	σ_{id} (N/mm ²)	σ_{am} (N/mm ²)	-	-	-
7.9	-8.7	-15.7	28.6	190.0			
VERIFICA FATICA							
CONDIZIONE DI CARICO	ELEMENTO	NODO	N (N)	T (N)	M (Nm)	VERIFICA SODDISFATTA	$\Delta\tau < \Delta\tau_{am}$ $\Delta\sigma_{inf} < \Delta\sigma_{am}$
involuppo sovrappressioni - Mmin	210	392	-429	-18397	-847.31		
$\Delta\sigma$ sup (N/mm ²)	$\Delta\sigma$ inf (N/mm ²)		$\Delta\tau$ (N/mm ²)		Categoria particolare	$\Delta\sigma_{am}$ (N/mm ²)	$\Delta\tau_{am}$ (N/mm ²)
5.1	-5.5		-9.2		56(σ) - 80(τ)	26.2	52.9

Verifica 6

CARATTERISTICHE GEOMETRICHE									
Calastrello Sella -Tubo 2 m sez. forata		A (m2)	Jx (m4)	W sup (m3)	W inf (m3)	Aty (m2)	ix (m)		
Altezza piatto (m)	0.4000	0.003702	4.99E-05	0.0002496	0.0002496	0.0030850	0.1161174		
Spessore piatto (m)	0.0120								
VERIFICA RESISTENZA									
CONDIZIONE DI CARICO	ELEMENTO	NODO	N (N)	T (N)	M (Nm)	VERIFICA SODDISFATTA	σ _{id} <σ _{am}		
inviluppo totale - Mmin	210	392-393	-1996.6	-62889.5	-5989.225				
σ _{sup} (N/mm2)	σ _{inf} (N/mm2)	τ (N/mm2)	σ _{id} (N/mm2)	σ _{am} (N/mm2)	-	-	-		
23.5	-24.5	-20.4	43.0	190.0					
VERIFICA FATICA									
CONDIZIONE DI CARICO	ELEMENTO	NODO	N (N)	T (N)	M (Nm)	VERIFICA SODDISFATTA	Δτ<Δτ _{am} Δσ _{inf} <Δσ _{am}		
inviluppo sovrappressioni - Mmin	210	392-393	-429	-18397	-1794.92				
Δσ _{sup} (N/mm2)	Δσ _{inf} (N/mm2)	Δτ (N/mm2)	Categoria particolare		Δσ _{am} (N/mm2)	Δτ _{am} (N/mm2)			
14.2	-14.6	-11.9	140(σ) - 80(τ)		82.6	52.9			

Verifica bulloni 5M18



Verifica a fatica

$$M = 1794920 \text{ N*mm}$$

$$T = 18397 \text{ N}$$

$$T1 = 0.8 * M / d = 4487 \text{ N} \quad (d = 320 \text{ mm})$$

$$V = [T1^2 + (T/5)^2]^{0.5} = 5803 \text{ N}$$

$$\Delta\tau_b = 2 * V / (2 * 254.5) = 22.8 \text{ N/mm}^2 < \Delta\tau_{am} = 66.6 \text{ N/mm}^2 \text{ (CAT 100)}$$

Verifica a resistenza

$$M = 5989225 \text{ N}\cdot\text{mm}$$

$$T = 62890 \text{ N}$$

$$T1 = 0.8 \cdot M/d = 14973 \text{ N} \quad (d = 320 \text{ mm})$$

$$V = [T1^2 + (T/5)^2]^{0.5} = 19555 \text{ N}$$

$$\tau_b = V/(2 \cdot 254.5) = 38.4 \text{ N/mm}^2 < \tau_{am} = 224.4 \text{ N/mm}^2$$

Verifica a Rifollamento

s [mm] (spessore minore elementi collegati)	12 mm	$\alpha = a/d$	2.222
d [mm] (diametro bullone)	18 mm	$\alpha \cdot \sigma_{am}$	422.2 N/mm ²
a [mm] (dist. fori-bordo libero in dir. forza)	40 mm	$\sigma_{rif} = V/(s \cdot d) =$	90.5 N/mm ²
			$\sigma_{rif} < \alpha \cdot \sigma_{am}$

1.4.5 Collegamento tubolare $\phi 88.9 \times 16$ – profilo a T

Verifica 7

CARATTERISTICHE GEOMETRICHE							
Calastrello T-Tubo 4 m		A (m2)	Jx (m4)	W sup (m3)	W inf (m3)	Aty (m2)	ix (m)
Altezza piatto (m)	0.5000	0.006000	1.25E-04	0.0005000	0.0005000	0.0050000	0.1443376
Spessore piatto (m)	0.0120						
VERIFICA RESISTENZA							
CONDIZIONE DI CARICO	ELEMENTO	NODO	N (N)	T (N)	M (Nm)	VERIFICA	
inviluppo totale - Mmax	177	334	-190	80523	12041	SODDISFATTA	$\sigma_{id} < \sigma_{am}$
σ sup (N/mm2)	σ inf (N/mm2)	τ (N/mm2)	σ_{id} (N/mm2)	σ_{am} (N/mm2)	-	-	-
-24.1	24.1	16.1	36.8	190.0			
VERIFICA FATICA 1: lato int. Barriera							
CONDIZIONE DI CARICO	ELEMENTO	NODO	N (N)	T (N)	M (Nm)	VERIFICA	
inviluppo sovrappressioni - Mmax	177	334	-172	26149	3907.22	SODDISFATTA	$\Delta\tau < \Delta\tau_{am}$ $\Delta\sigma_{sup} < \Delta\sigma_{am}$
$\Delta\sigma$ sup (N/mm2)	$\Delta\sigma$ inf (N/mm2)		$\Delta\tau$ (N/mm2)		Categoria particolare	$\Delta\sigma_{am}$ (N/mm2)	$\Delta\tau_{am}$ (N/mm2)
-15.7	15.6		10.5		140(σ) - 80(τ)	82.6	52.9
VERIFICA FATICA 2: lato est. Barriera							
CONDIZIONE DI CARICO	ELEMENTO	NODO	N (N)	T (N)	M (Nm)	VERIFICA	
inviluppo sovrappressioni - Mmax	177	292	-172	26149	376.77	SODDISFATTA	$\Delta\tau < \Delta\tau_{am}$ $\Delta\sigma_{sup} < \Delta\sigma_{am}$
$\Delta\sigma$ sup (N/mm2)	$\Delta\sigma$ inf (N/mm2)		$\Delta\tau$ (N/mm2)		Categoria particolare	$\Delta\sigma_{am}$ (N/mm2)	$\Delta\tau_{am}$ (N/mm2)
-1.6	1.4		10.5		63(σ) - 80(τ)	37.1	52.9

1.4.6 Profilo tubolare $\phi 88.9 \times 16$

Verifica 8

CARATTERISTICHE GEOMETRICHE							
Tubo montante 2.0 m		A (m2)	Jx (m4)	W int barr (m3)	W est barr (m3)	Aty (m2)	ix (m)
Diametro (m)	0.0889	0.0036625	2.551E-06	5.740E-05	5.740E-05	0.0018312	0.0263938
Spessore (m)	0.0160						
VERIFICA RESISTENZA							
CONDIZIONE DI CARICO	ELEMENTO	NODO	N (N)	T (N)	M (Nm)	VERIFICA SODDISFATTA	$\sigma_{id} < \sigma_{am}$
inviluppo totale - Nmin	215	399	-62909	569.1	-99.6		
σ int barr (N/mm2)	σ est barr (N/mm2)	τ (N/mm2)	σ_{id} (N/mm2)	σ_{am} (N/mm2)	-	-	-
-18.9	-15.4	0.31	18.9	190.0			
VERIFICA FATICA							
CONDIZIONE DI CARICO	ELEMENTO	NODO	N (N)	T (N)	M (Nm)	VERIFICA SODDISFATTA	$\Delta\sigma_{est} < \Delta\sigma_{am,est}$ $\Delta\sigma_{int} < \Delta\sigma_{am,int}$
inviluppo sovrappressioni - Nmin	215	399	-18465.7	49.7	7.346		
$\Delta\sigma$ int barr (N/mm2)	$\Delta\sigma$ est barr (N/mm2)				Categoria particolare	$\Delta\sigma_{am,est}$ (N/mm2)	
-9.8	-10.3				56	26.2	
$\Delta\sigma$ int barr (N/mm2)	$\Delta\sigma$ est barr (N/mm2)				Categoria particolare	$\Delta\sigma_{am,int}$ (N/mm2)	
-9.8	-9.8				56	26.2	

Verifica 9

CARATTERISTICHE GEOMETRICHE							
Tubo montante 3.0 m		A (m2)	Jx (m4)	W int barr (m3)	W est barr (m3)	Aty (m2)	ix (m)
Diametro (m)	0.0889	0.0036625	2.551E-06	5.740E-05	5.740E-05	0.0018312	0.0263938
Spessore (m)	0.0160						
VERIFICA RESISTENZA							
CONDIZIONE DI CARICO	ELEMENTO	NODO	N (N)	T (N)	M (Nm)	VERIFICA SODDISFATTA	$\sigma_{id} < \sigma_{am}$
inviluppo totale - Mmax	166	298	-14436	-2669.8	1323.77		
σ int barr (N/mm2)	σ est barr (N/mm2)	τ (N/mm2)	σ_{id} (N/mm2)	σ_{am} (N/mm2)	-	-	-
19.1	-27.0	-1.5	27.1	190.0			
VERIFICA FATICA							
CONDIZIONE DI CARICO	ELEMENTO	NODO	N (N)	T (N)	M (Nm)	VERIFICA SODDISFATTA	$\Delta\sigma_{est} < \Delta\sigma_{am,est}$ $\Delta\sigma_{int} < \Delta\sigma_{am,int}$
inviluppo sovrappressioni - Mmax	166	298	4306.5	-945	454.2		
$\Delta\sigma$ int barr (N/mm2)	$\Delta\sigma$ est barr (N/mm2)				Categoria particolare	$\Delta\sigma_{am,est}$ (N/mm2)	
	-13.5				56	26.2	

Verifica 10

CARATTERISTICHE GEOMETRICHE							
Tubo montante 5.75 m		A (m2)	Jx (m4)	W int barr (m3)	W est barr (m3)	Aty (m2)	ix (m)
Diametro (m)	0.0889	0.0036625	2.551E-06	5.740E-05	5.740E-05	0.0018312	0.0263938
Spessore (m)	0.0160						
VERIFICA RESISTENZA							
CONDIZIONE DI CARICO	ELEMENTO	NODO	N (N)	T (N)	M (Nm)	VERIFICA SODDISFATTA	$\sigma_{id} < \sigma_{am}$
inviluppo totale - Mmin	225	416	139259	-2145	-982.73		
σ int barr (N/mm2)	σ est barr (N/mm2)	τ (N/mm2)	σ_{id} (N/mm2)	σ_{am} (N/mm2)	-	-	-
20.9	55.1	-1.2	55.2	190.0			
VERIFICA FATICA							
CONDIZIONE DI CARICO	ELEMENTO	NODO	N (N)	T (N)	M (Nm)	VERIFICA SODDISFATTA	$\Delta\sigma_{est} < \Delta\sigma_{am,est}$ $\Delta\sigma_{int} < \Delta\sigma_{am,int}$
inviluppo sovrappressioni - Mmin	225	416	50495	945	-286.4		
$\Delta\sigma$ int barr (N/mm2)	$\Delta\sigma$ est barr (N/mm2)				Categoria particolare	$\Delta\sigma_{am,int}$ (N/mm2)	
17.6					56	26.2	

1.4.7 Profilo a T corrente superiore trave reticolare

Verifica 11

CARATTERISTICHE GEOMETRICHE							
T corrente superiore trave reticolare		A (m2)	Jx (m4)	W sup (m3)	W inf (m3)	Aty (m2)	ix (m)
Larghezza ala (m)	0.2400	0.007500	3.75E-05	0.0001963	0.0006928	0.0029400	0.0706932
Spessore ala (m)	0.0200						
Altezza anima+ala (m)	0.2450						
Spessore anima (m)	0.0120						
VERIFICA RESISTENZA							
CONDIZIONE DI CARICO	ELEMENTO	NODO	N (N)	T (N)	M (Nm)	VERIFICA SODDISFATTA	$\sigma_{id} < \sigma_{am}$
Inviluppo totale Mmax	8	18	-138085	2437	3720		
σ sup (N/mm2)	σ inf (N/mm2)	τ (N/mm2)	σ_{id} (N/mm2)	σ_{am} (N/mm2)	-	-	-
-37.4	-13.0	0.8	37.4	190.0			
VERIFICA FATICA							
CONDIZIONE DI CARICO	ELEMENTO	NODO	N (N)	T (N)	M (Nm)	VERIFICA SODDISFATTA	$\Delta\sigma_{sup} < \Delta\sigma_{am,sup}$ $\Delta\sigma_{inf} < \Delta\sigma_{am,inf}$
Inviluppo sovrappressioni Nmin	7	13	-37025	-872	962		
$\Delta\sigma$ sup (N/mm2)	$\Delta\sigma$ inf (N/mm2)				Categoria particolare	$\Delta\sigma_{am,sup}$ (N/mm2)	
-19.7					140	82.6	
$\Delta\sigma$ sup (N/mm2)	$\Delta\sigma$ inf (N/mm2)				Categoria particolare	$\Delta\sigma_{am,inf}$ (N/mm2)	
	-7.1				56	26.2	

1.4.8 Sezione rettangolare 480x12 adiacente il giunto bullonato

Verifica 12

CARATTERISTICHE GEOMETRICHE							
Sez. rettang. tra corrente sup. traverso e montante		A (m2)	Jx (m4)	W sup (m3)	W inf (m3)	Aty (m2)	ix (m)
Altezza piatto (m)	0.4800	0.005760	1.11E-04	0.0004608	0.0004608	0.0048000	0.1385641
Spessore piatto (m)	0.0120						
VERIFICA RESISTENZA							
CONDIZIONE DI CARICO	ELEMENTO	NODO	N (N)	T (N)	M (Nm)	VERIFICA	$\sigma_{id} < \sigma_{am}$
Inviluppo totale - Nmin	31	52	-82706	-1352	4384.60	SODDISFATTA	
σ_{sup} (N/mm2)	σ_{inf} (N/mm2)	τ (N/mm2)	σ_{id} (N/mm2)	σ_{am} (N/mm2)	-	-	-
-23.9	-4.8	-0.3	23.9	190.0			
VERIFICA FATICA							
CONDIZIONE DI CARICO	ELEMENTO	NODO	N (N)	T (N)	M (Nm)	VERIFICA	$\Delta\sigma_{sup} < \Delta\sigma_{am}$
Inviluppo sovrappressioni - Nmin	31	52	-31011	-2476	2338.09	SODDISFATTA	
$\Delta\sigma_{sup}$ (N/mm2)	$\Delta\sigma_{inf}$ (N/mm2)				Categoria particolare	$\Delta\sigma_{am}$ (N/mm2)	
-20.9	-0.6				140	82.6	

1.4.9 Profilo tubolare $\phi 114.3 \times 16$ corrente inferiore traverso

Verifica 13

CARATTERISTICHE GEOMETRICHE							
Tubo traverso $\phi 114.3 \times 16$		A (m2)	Jx (m4)	W sup (m3)	W inf (m3)	Aty (m2)	ix (m)
Diametro (m)	0.1143	0.0049386	6.126E-06	1.072E-04	1.072E-04	0.0024693	0.0352201
Spessore (m)	0.0160						
VERIFICA RESISTENZA							
CONDIZIONE DI CARICO	ELEMENTO	NODO	N (N)	T (N)	M (Nm)	VERIFICA	$\sigma_{id} < \sigma_{am}$
Inviluppo totale - Nmax	12	27	122091	-26	479.290	SODDISFATTA	
σ_{sup} (N/mm2)	σ_{inf} (N/mm2)	τ (N/mm2)	σ_{id} (N/mm2)	σ_{am} (N/mm2)	-	-	-
20.3	29.2	0.0	29.2	190.0			
VERIFICA FATICA							
CONDIZIONE DI CARICO	ELEMENTO	NODO	N (N)	T (N)	M (Nm)	VERIFICA	$\Delta\sigma_{inf} < \Delta\sigma_{am,inf}$ $\Delta\sigma_{sup} < \Delta\sigma_{am,sup}$
Inviluppo sovrappressioni - Nmax	1	1	29802.0	100	0.000	SODDISFATTA	
$\Delta\sigma_{sup}$ (N/mm2)	$\Delta\sigma_{inf}$ (N/mm2)				Categoria particolare	$\Delta\sigma_{am,inf}$ (N/mm2)	
12.1	12.1				63	37.1	
$\Delta\sigma_{sup}$ (N/mm2)	$\Delta\sigma_{inf}$ (N/mm2)				Categoria particolare	$\Delta\sigma_{am,sup}$ (N/mm2)	
12.1	12.1				63	37.1	
VERIFICA FATICA							
CONDIZIONE DI CARICO	ELEMENTO	NODO	N (N)	T (N)	M (Nm)	VERIFICA	$\Delta\sigma_{inf} < \Delta\sigma_{am,inf}$ $\Delta\sigma_{sup} < \Delta\sigma_{am,sup}$
Inviluppo sovrappressioni - Nmax	12	25	37623.0	0	118.140	SODDISFATTA	
$\Delta\sigma_{sup}$ (N/mm2)	$\Delta\sigma_{inf}$ (N/mm2)				Categoria particolare	$\Delta\sigma_{am,inf}$ (N/mm2)	
13.0	17.4				160	94.3	
$\Delta\sigma_{sup}$ (N/mm2)	$\Delta\sigma_{inf}$ (N/mm2)				Categoria particolare	$\Delta\sigma_{am,sup}$ (N/mm2)	
13.0	17.4				56	26.2	

1.4.10 Doppio profilo angolare 60x8

Verifica 14

CARATTERISTICHE GEOMETRICHE							
2 L 60x8 al netto dei fori		A (m ²)	Jx (m ⁴)	W int barr (m ³)	W est barr (m ³)	Aty (m ²)	ix (m)
Dimensione 1 (m)	0.0600	0.0015310	5.430E-07	3.422E-05	1.230E-05	0.0006992	0.0188327
Dimensione 2 (m)	0.0600						
Spessore (m)	0.0080						
VERIFICA RESISTENZA							
CONDIZIONE DI CARICO	ELEMENTO	NODO	N (N)	T (N)	M (Nm)	VERIFICA SODDISFATTA	$\sigma_{id} < \sigma_{am}$
Inviluppo totale Nmax	23	43	60824	-98	72.680		
σ int barr (N/mm ²)	σ est barr (N/mm ²)	τ (N/mm ²)	σ_{id} (N/mm ²)	σ_{am} (N/mm ²)	-	-	-
37.6	45.6	-0.1	45.6	190.0			
VERIFICA FATICA							
CONDIZIONE DI CARICO	ELEMENTO	NODO	N (N)	T (N)	M (Nm)	VERIFICA SODDISFATTA	$\Delta\sigma_{est} < \Delta\sigma_{am,est}$ $\Delta\sigma_{int} < \Delta\sigma_{am,int}$
Inviluppo sovrappressioni Nmax	24	8	16658	30	-1.52E+01		
$\Delta\sigma$ int barr (N/mm ²)	$\Delta\sigma$ est barr (N/mm ²)				Categoria particolare	$\Delta\sigma_{am,est}$ (N/mm ²)	
	24.2				140	82.6	
$\Delta\sigma$ int barr (N/mm ²)	$\Delta\sigma$ est barr (N/mm ²)				Categoria particolare	$\Delta\sigma_{am,int}$ (N/mm ²)	
	22.7				140	82.6	

Verifica a fatica bulloni di collegamento

Si verificano i bulloni di collegamento ai piatti; ogni collegamento è realizzato tramite 3 bulloni M16 con 2 aree di taglio resistenti per ogni bullone essendo i profili angolari doppi:

$$\Delta\tau_b = 2 \cdot N / (6 \cdot A_t) = 2 \cdot 16658 / (6 \cdot 201.1) = 27.6 \text{ N/mm}^2 < \Delta\tau_{am} = 66.6 \text{ N/mm}^2 \text{ (CAT. 100)}$$

Verifica a resistenza bulloni di collegamento

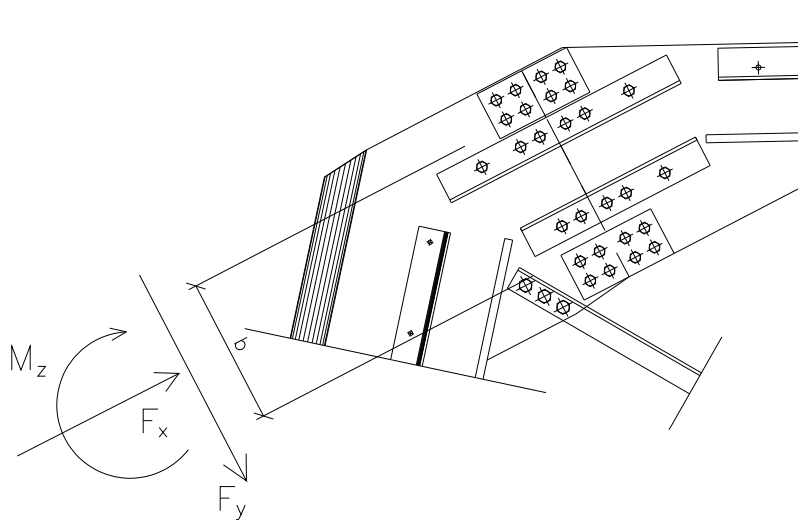
$$\tau_b = N / (6 \cdot A_t) = 60824 / (6 \cdot 201.1) = 50.4 \text{ N/mm}^2 < \tau_{b,am} = 224.4 \text{ N/mm}^2 \text{ (cl. 8.8)}$$

Verifica a Rifollamento

s [mm] (spessore minore elementi collegati)	8 mm	$\alpha = a/d$	2.5
d [mm] (diametro bullone)	16 mm	$\alpha \cdot \sigma_{am}$	475 N/mm ²
a [mm] (dist. fori-bordo libero in dir. forza)	40 mm	$\sigma_{rif} = N / (3 \cdot s \cdot d) =$	158.4 N/mm ²
			$\sigma_{rif} < \alpha \cdot \sigma_{am}$

1.4.11 Collegamento bullonato trave reticolare – montante

Il collegamento bullonato superiore tra trave reticolare e montante è realizzato da 12 bulloni M16 con 2 aree resistenti a taglio per ogni bullone essendo presenti doppi piatti coprigiunto:



Verifica a fatica bulloni di collegamento

Condizione di carico: Involuppo sovrappressioni – Nmin:

$$\Delta F_x = 2 * F_x = 31038 * 2 = 62076 \text{ N}$$

$$\Delta M_z = 2 * M_z = 2871.96 * 2 = 5743.92 \text{ N*m}$$

$$\Delta F_y = 2 * F_y = 1225 * 2 = 2450 \text{ N}$$

Su sei bulloni M16 agisce la seguente sollecitazione:

$$b = 0.36 \text{ m}$$

$$\Delta F_{x,tot} = \Delta F_x / 2 + \Delta M_z / b = 46993 \text{ N}$$

Su un bullone M16 ($A_t = 201.1 \text{ mm}^2$, 2 aree resistenti a taglio) si ha il seguente taglio:

$$\Delta V = [(\Delta F_{x,tot} / 6)^2 + (\Delta F_y / 12)^2]^{0.5} = 7835 \text{ N}$$

$$\Delta \tau_b = \Delta V / (2 * A_t) = 19.5 \text{ N/mm}^2 < \Delta \tau_{am} = 66.6 \text{ N/mm}^2 \text{ (CAT. 100)}$$

Verifica a resistenza bulloni di collegamento

Condizione di carico: Involuppo totale – Mmin:

$$F_x = 41271 \text{ N}$$

$$M_z = 12059.2 \text{ N*m}$$

$$F_y = 14735 \text{ N}$$

Su sei bulloni M16 agisce la seguente sollecitazione:

$$b = 0.36 \text{ m}$$

$$F_{x,tot} = F_x/2 + M_z/b = 54133 \text{ N}$$

Su un bullone M16 si ha il seguente taglio:

$$V = [(F_{x,tot}/6)^2 + (F_y/12)^2]^{0.5} = 9105 \text{ N}$$

$$\tau_b = V/(2 \cdot A_t) = 22.6 \text{ N/mm}^2 < \tau_{b,am} = 224.4 \text{ N/mm}^2 \text{ (cl. 8.8)}$$

Verifica piastre coprigiunto

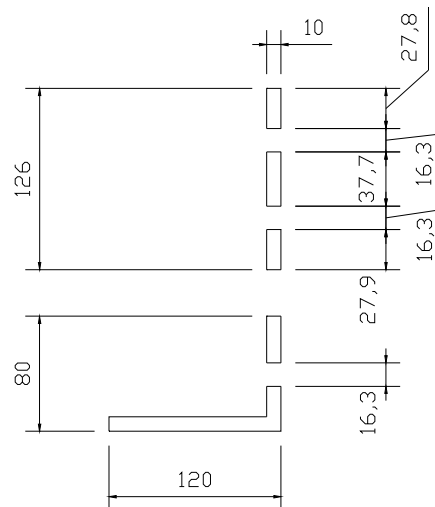
Condizione di carico: Involuppo sovrappressioni – Nmin:

$$\Delta F_x = 2 \cdot F_x = 31038 \cdot 2 = 62076 \text{ N}$$

$$\Delta M_z = 2 \cdot M_z = 2871.96 \cdot 2 = 5743.92 \text{ N*m}$$

$$\Delta F_y = 2 \cdot F_y = 1225 \cdot 2 = 2450 \text{ N}$$

Sulla singola piastra coprigiunto + la squadretta reggipannello 120x80x10 mostrate di seguito agisce uno sforzo normale ΔN ed una forza di taglio ΔV :



$$b = 0.36 \text{ m}$$

$$\Delta N = (\Delta F_x/2 + \Delta M_z/b)/2 = 23497 \text{ N}$$

Su un bullone M16 ($A_t = 201.1 \text{ mm}^2$, 2 aree resistenti a taglio) si ha il seguente taglio:

$$\Delta V = (\Delta F_y/2)/2 = 613 \text{ N}$$

$$A = (196 - 16.3 \cdot 3) \cdot 10 + 120 \cdot 10 = 2671 \text{ mm}^2$$

$$\Delta \sigma = \Delta N/A = 8.8 \text{ N/mm}^2 < \Delta \sigma_{am} = 82.6 \text{ N/mm}^2 \text{ (CAT. 140)}$$

Verifica a Rifollamento

s [mm] (spessore minore elementi collegati)

12 mm

$\alpha = a/d$

2.25

d [mm] (diametro bullone)

16 mm

$\alpha \cdot \sigma_{am}$

427.5 N/mm²

a [mm] (dist. fori-bordo libero in dir. forza)

36 mm

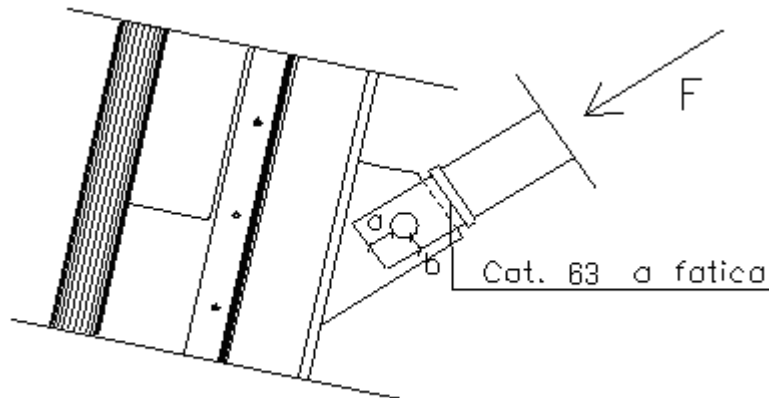
$\sigma_{rif} = V/(s \cdot d) =$

47.4 N/mm²

(V = 9105 N)

$\sigma_{rif} < \alpha \cdot \sigma_{am}$

1.4.12 Collegamento a perno tubolare trave reticolare – montante



Sollecitazioni da condizione di carico "Involuppo totale" – N minimo

$$N = -97020 \text{ N}$$

Distanze minime:

$t = 16 \text{ mm}$ spessore piatto saldato al montante

$$1.4 \cdot N / \sigma_{am} = 715 \text{ mm}^2$$

$$2 \cdot b \cdot t > 1.4 \cdot N / \sigma_{am} = 715 \Rightarrow b > 23.3 \text{ mm}$$

$$t \cdot a > N / \sigma_{am} = 511 \text{ mm}^2 \Rightarrow a > 31.9 \text{ mm}$$

Verifica perno $\phi 50$:

Verifica a resistenza perno:

$$N = 97020 \text{ N}$$

$$d = 50 \text{ mm}$$

$$W = \pi \cdot d^3 / 32 = 12272 \text{ mm}^3$$

$$A = 1963 \text{ mm}^2$$

$$A_t = 1767 \text{ mm}^2$$

In via cautelativa si considera un momento M pari a $(N/2) \cdot (t/2) = 291060 \text{ N} \cdot \text{mm}$ ($t = 12 \text{ mm}$)

$$\sigma = M/W = 23.7 \text{ N/mm}^2$$

$$\tau = N/2A_t = 27.5 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_{id} = (\sigma^2 + 3\tau^2)^{0.5} = 53.1 \text{ N/mm}^2 < \sigma_{amm} = 170 \text{ N/mm}^2 \text{ (} t > 40 \text{ mm)}$$

La verifica a fatica risulta meno gravosa non essendo contemplato il taglio per un profilo laminato non saldato.

Verifica rifollamento:

$$N = 97020 \text{ N}$$

$$d = 50 \text{ mm}$$

$$s = t = 16 \text{ mm}$$

$$A = s*d = 800 \text{ mm}^2$$

$$\sigma_{\text{rif}} = N/A = 121 \text{ N/mm}^2 < 1.35*\sigma_{\text{amm}} = 256 \text{ N/mm}^2$$

Verifica piastre:

la verifica più gravosa risulta quella a fatica del collegamento saldato piatti – flangia in categoria 63 nella condizione “Inviluppo sovrappressioni” – N minimo, effettuata sui due piatti di spessore t = 12 mm:

$$\Delta N = 29802*2 = 59604 \text{ N}$$

$$A = 120*2*t = 2880 \text{ mm}^2$$

$$\Delta\sigma = \Delta N/A = 20.7 \text{ N/mm}^2 < \Delta\sigma_{\text{am}} = 37.1 \text{ N/mm}^2 \text{ (Cat 63)}$$

1.4.13 Collegamento montante in acciaio – manufatto in c.a.

Il collegamento viene realizzato con una sella in acciaio, costituita da piatti di spessore 20 mm, annegata nel cls e con 16 barre $\phi 30$ mm passanti trasversalmente nel cls e saldate a cordone d'angolo sui piatti della sella; le sollecitazioni derivanti dal montante (profilo in composizione saldata e tubolare $\phi 88.9 \times 16$) solleciteranno a taglio i bulloni su entrambe le facce del manufatto.

1.4.13.1 Verifica a fatica collegamento barre $\phi 30$ - sella in acciaio

Si considerano le seguenti sollecitazioni per la condizione "Inviluppo sovrappressioni" – Mmax alla in testa alla sella:

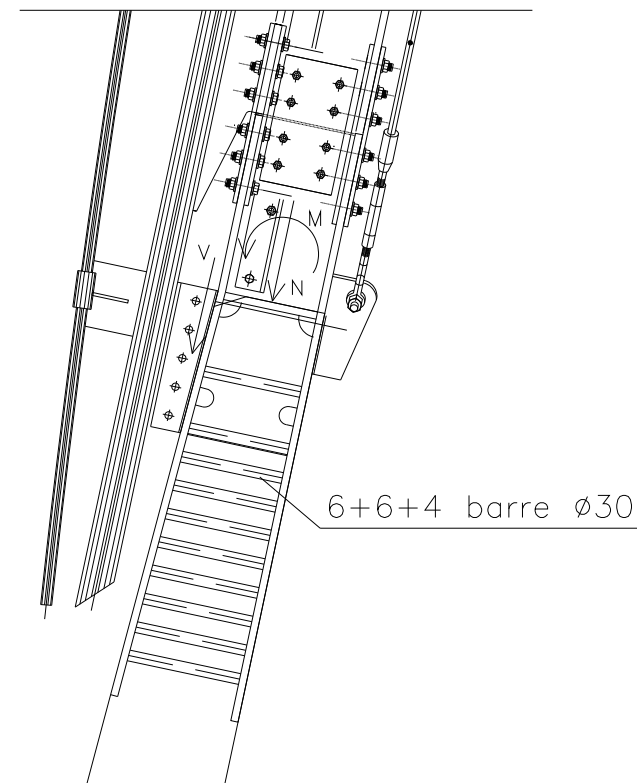


Fig. 6 Sella con barre $\phi 30$ di collegamento: sollecitazioni a fatica.

N = 18365 N sforzo assiale

M = 14496200 N*mm momento flettente

V = 18397 N taglio derivante dal calastrello di collegamento al tubo

Taglio derivante dalle sollecitazioni sulle due facce della sella:

$t_m = 305$ mm distanza media tra i piatti della sella

$$T = M/t_m - N/2 + V = 56743 \text{ N} (= \text{circa } M/t_m + N/2)$$

$$T1 = T/16 = 3546 \text{ N} \text{ taglio su ciascuna barra}$$

Per determinare il momento agente sulla barra si è realizzato un modello di trave su suolo elastico, in cui la trave rappresenta la barra $\phi 30$ avente lunghezza $t_m = 305$ mm, e il suolo elastico il calcestruzzo; tale trave risulta vincolata sui due punti di estremità in modo tale che questi possano solo traslare lungo la direzione verticale Z utilizzata nel modello; la rigidezza del calcestruzzo viene introdotta tramite una distribuzione lineare di molle lungo la trave aventi una rigidezza calcolata ad hoc in seguito. La barra e quindi la trave sarà caricata in corrispondenza dei punti d'estremità tramite due forze concentrate lungo la direzione Z , aventi verso opposto, pari a $T1 = 3546$ N. Lo schema di calcolo utilizzato è il seguente:

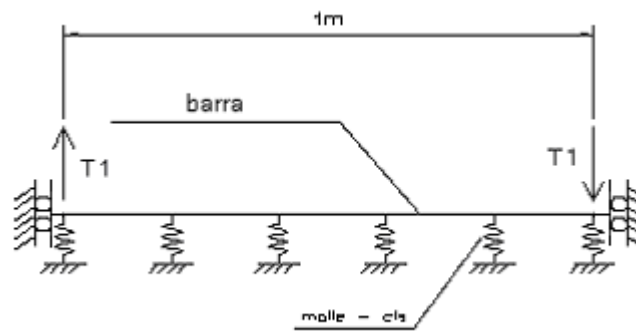


Fig. 7 Contatto barra $\phi 30$ – cls: schema di calcolo di trave su suolo elastico.

La rigidezza complessiva delle molle rappresentanti il calcestruzzo risulta la seguente:

$$K_c = EA/s_c = 11662285 \text{ N/mm} \text{ essendo:}$$

$$E = 38237 \text{ N/mm}^2 \text{ modulo elastico del calcestruzzo}$$

$$A = 2 \cdot d \cdot t_m = 18300 \text{ mm}^2 \text{ (} d = 30 \text{ mm diametro barra) area calcestruzzo reagente; si ipotizza una larghezza pari a due volte il diametro del tubo}$$

$$s_c = 2d = 60 \text{ mm spessore calcestruzzo reagente supposto pari a due volte il diametro della barra.}$$

La rigidezza delle molle per unità di lunghezza della trave sarà dunque:

$$K_m = K_c/t_m = 38237 \text{ N/mm}^2 = 38.237\text{E}9 \text{ N/m}^2$$

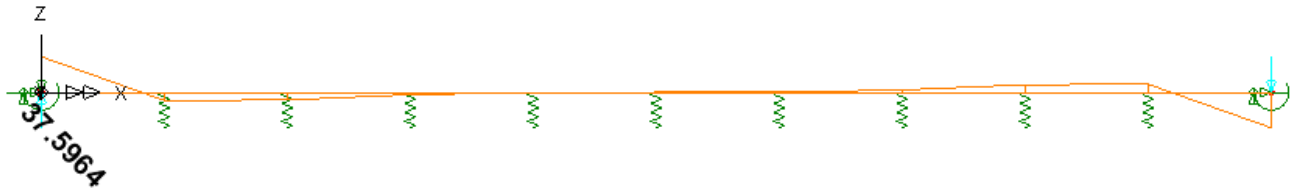


Fig. 8 Momento flettente lungo la barra.

Dalla risoluzione del modello si ottiene dunque il momento sollecitante la barra:

$$M_1 = 37.596 \text{ Nm} = 37596 \text{ Nmm}$$

Caratteristiche saldatura:

Saldature a T	
Categoria particolare	80
$\Delta\tau_{am}$	52.9
Giunto in croce	
Categoria particolare	63
$\Delta\sigma_{am}$	37.1

Caratteristiche	saldatura a cordone d'angolo 10mm (7.07mm gola) su barra $\phi 30$
Area A [mm ²]	823
Momento d'inerzia J_x [mm ⁴]	146576
Modulo resistente W_x [mm ³]	6641
Area di taglio A_t [mm ²]	412

Si verifica il giunto a T tra la barra e la sella in acciaio realizzato con una saldatura a cordone d'angolo avente le caratteristiche sopra riportate; risulta dunque:

Saldatura:

$$\Delta\sigma = 2*(M_1/W_x) = 11.32 \text{ N/mm}^2 < \Delta\sigma_{am}$$

$$\Delta\tau = 2*(T_1/A_t) = 17.21 \text{ N/mm}^2 < \Delta\tau_{am}$$

Barra:

$$A = 706.85 \text{ mm}^2$$

$$J = 39760 \text{ mm}^4$$

$$W = 2650 \text{ mm}^3$$

$$A_t = 636 \text{ mm}^2$$

$$\Delta\sigma = 2*(M_1/W_x) = 28.4 \text{ N/mm}^2 < \Delta\sigma_{am}$$

$$\Delta\tau = 2*(T_1/A_t) = 11.2 \text{ N/mm}^2 < \Delta\tau_{am}$$

1.4.13.2 Verifica a resistenza collegamento barre $\phi 30$ - sella in acciaio

Si considerano le seguenti sollecitazioni per la condizione "Inviluppo totale TA" – Mmax in testa alla sella per la verifica delle barre e dello schiacciamento del calcestruzzo:

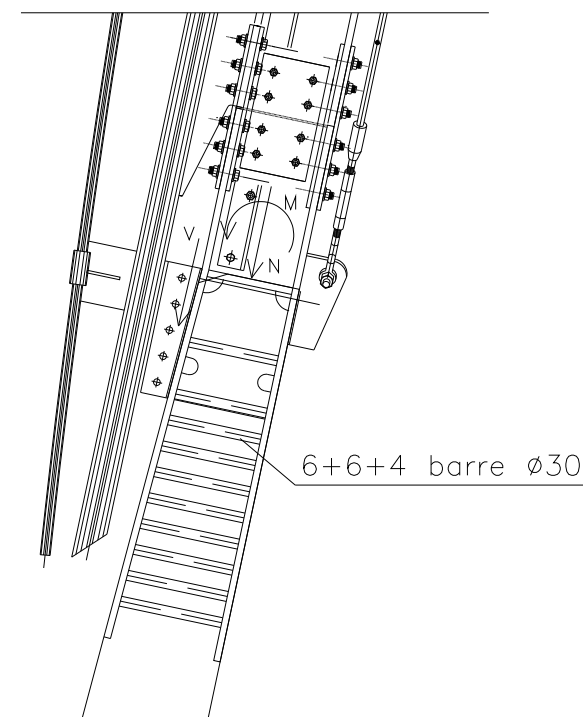


Fig. 9 Sella con barre $\phi 30$ di collegamento: sollecitazioni a resistenza.

N = 16873 N sforzo assiale

M = 39678000 N*mm momento flettente

V = 42937 N taglio derivante dal calastrello di collegamento al tubo

Taglio derivante dalle sollecitazioni sulla faccia esterna della sella rispetto ai binari:

$t_m = 305$ mm distanza media tra i piatti della sella

$T = M/t_m + N/2 + V = 181465$ N

T1 = T/16 = 11342 N taglio su ciascuna barra

Dalla risoluzione del **modello di trave su suolo elastico** (descritto nel paragrafo precedente) si ottiene:

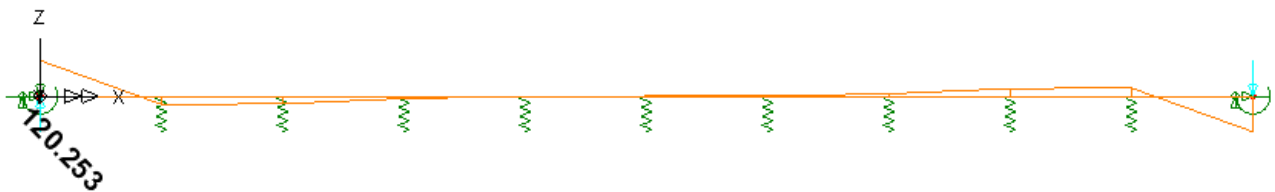


Fig. 10 Momento flettente lungo la barra.

M = 120.253 Nm = 120253 Nmm

Barra:

$A = 706.85$ mm²

$J = 39760$ mm⁴

$W = 2650$ mm³

$A_t = 636$ mm²

$\sigma = M/W = 45.4$ N/mm²

$\tau = T1/A_t = 17.8$ N/mm²

$\sigma_{id} = (\sigma^2 + 3\tau^2)^{0.5} = 54.9$ N/mm² < σ_{am}

1.4.13.3 Verifica a schiacciamento locale del calcestruzzo

Si verifica che le tensioni di compressione indotte sul calcestruzzo dalle barre per effetto del taglio agente sulle facce della sella, non superi il valore ammissibile previsto σ_{am} .

Vengono utilizzate per il collegamento 16 barre $\phi 30$ saldate a cordone d'angolo sui piatti della sella; la loro lunghezza media è $t_m = 305$ mm.

Si considerano le seguenti sollecitazioni per la condizione "Inviluppo totale TA" – Mmax in testa alla sella

N = 16873 N sforzo assiale

M = 39678000 N*mm momento flettente

V = 42937 N taglio derivante dal calastrello di collegamento al tubo

Taglio derivante dalle sollecitazioni sulla faccia esterna della sella rispetto ai binari:

$t_m = 305$ mm distanza media tra i piatti della sella

$T = M/t_m + N/2 + V = 181465$ N

T1 = T/16 = 11342 N taglio su ciascuna barra

Dalla risoluzione del **modello di trave su suolo elastico** (descritto nei paragrafi precedenti) si ottiene:

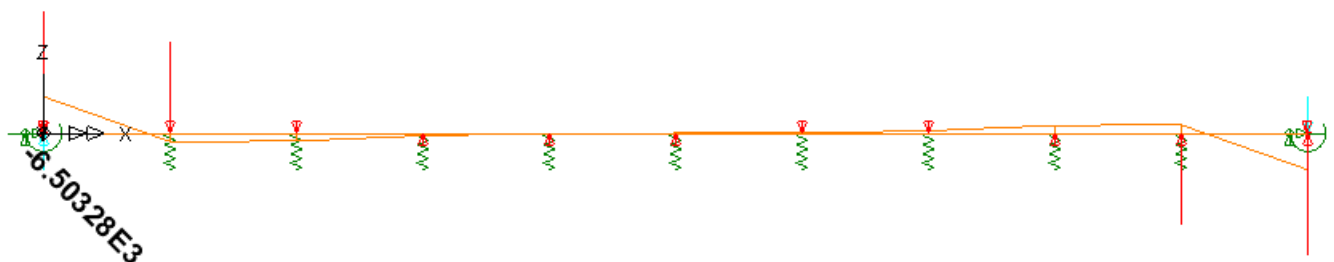


Fig. 11 Reazioni in corrispondenza delle molle.

Si ottengono le reazioni concentrate in corrispondenza delle molle; da queste poi, dividendo per la relativa area d'influenza, è possibile ottenere le pressioni di contatto; la massima pressione si ha in

L'azione sismica viene calcolata nel seguente modo, considerando un interasse dei montanti di 12 m (in considerazione del fatto che i controventi sui tratti di barriera obliqui e verticali sono disposti ogni 4 campi cioè ogni 12 m) ed una ordinata dello spettro di risposta pari a $S_d = 2.897 \text{ m/sec}^2$, derivante da un comportamento a portale della struttura controventata ($q = 4$), considerando inoltre le altezze dei vari livelli i a partire dalla quota di 2 m sul p.f., cioè dalla testa del manufatto in c.a., in considerazione del fatto che in questa direzione i manufatti in c.a. presentano una notevole rigidità, che con buona approssimazione può essere considerata infinita:

Viene realizzata un'analisi statica lineare come da ordinanza n. 3274 calcolando le forze da applicare al montante nel caso delle varie altezze. Per prima cosa è stato calcolato il primo periodo di vibrazione della struttura (T_1) per l'altezza massima.

$$T_1 = C_1 H^{3/4}$$

dove

$$H = 8.86 \text{ m (massima altezza del modello)}$$

$$C_1 = 0.085 \quad \Rightarrow \quad T_1 = 0.437 \text{ sec}$$

$$F_i = F_h (z_i W_i / \sum z_j W_j) \text{ dove:}$$

$$F_h = S_d (T_1) W \lambda / g$$

F_i è la forza da applicare al livello i

W_i e W_j sono i pesi delle masse dei livelli i e j rispettivamente

z_i e z_j sono le altezze dei livelli i e j rispetto alle fondazioni

$S_d (T_1)$ è l'ordinata dello spettro di risposta di progetto

W è il peso complessivo

$$\lambda = 1$$

$$g = 9.81 \text{ m/sec}^2$$

Per il calcolo dei W_i si è considerato per i pannelli un peso di 1500 N/m^2 , il peso proprio dei vari

elementi in acciaio e in c.a. e infine la neve agente sulla mensola al 20%.

In favore di sicurezza è stata considerata la categoria D del suolo di fondazione e la zona sismica 1 con $a_g = 0.35g$ per massimizzare l'azione sismica.

Mediante la definizione della categoria del suolo si ricavano, da normativa, rispettivamente:

S (fattore che tiene conto del profilo stratigrafico del suolo di fondazione) = 1.35 e i valori dei periodi che separano i diversi rami dello spettro, dipendenti dal profilo stratigrafico del suolo di fondazione:

$$T_B = 0.20 \text{ sec}$$

$$T_C = 0.80 \text{ sec}$$

$$T_D = 2.00 \text{ sec.}$$

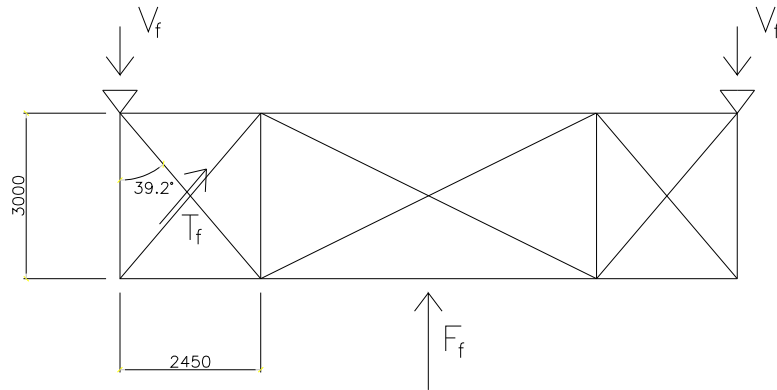
Fattore di struttura $q = \psi_R * q_0 = 4$ nello spettro

Da cui deriva il valore di $S_d = 0.35g * 2.5 * S / q = 2.897 \text{ m/sec}^2$ (per $T_B < T_1 < T_C$)

Si riporta di seguito il calcolo delle forze F_i :

		(quota 2m su pf)						
		quota livello	zi [m]	ΔL [m]	Wi [N]	zi*Wi [N*m]	Fi [N]	Fi*zi [N*m]
Muro cls								
peso cls	50000 N/m ³		5.75	0.5	259840	1494080	102780	590983.9926
Spess. Sup.	0.30 m		5.25	0.5	22309.09	117122.7273	8057	42299.42861
Spess. Incastro	0.45 m		4.75	0.5	22309.09	105968.1818	7290	34626.06288
interasse i	6 m		4.25	0.5	22309.09	94813.63636	6522	27720.03372
			3.75	0.5	22309.09	83659.09091	5755	21581.34113
			3.25	0.5	22309.09	72504.54545	4988	16209.98511
Pannelli (qp)	1500 N/m ²		2.75	0.5	22309.09	61350	4220	11605.96567
interasse i	12 m		2	1	44618.18	89236.36364	6139	12277.38517
			1	1	44618.18	44618.18182	3069	3069.346294
Profilati			0.25	0.5	22309.09	5577.272727	384	95.91707168
peso 1 fila di 4 montanti verticali (p1)	4309.091 N/m							
peso 1 fila di 4 reticolari orizz. (p2)	5562.105 N/m							
Sisma					ΣW_i [N]	505240	2168930	
Sd(T) per sisma su portali	2.897016 m/sec ²				Fh [N]	149203.7		
λ	1							
g	9.81							
Sd(T) per sisma su mensole	5.794031 m/sec ²							

Per il calcolo dei **controventi di falda**, cioè sulla parte di barriera a copertura orizzontale ed obliqua, si considera l'azione tagliante derivante dalla accelerazione delle masse della copertura che per quanto detto vale $F_f = 102780 \text{ N}$; lo schema di calcolo considerato è il seguente:



da cui si ha:

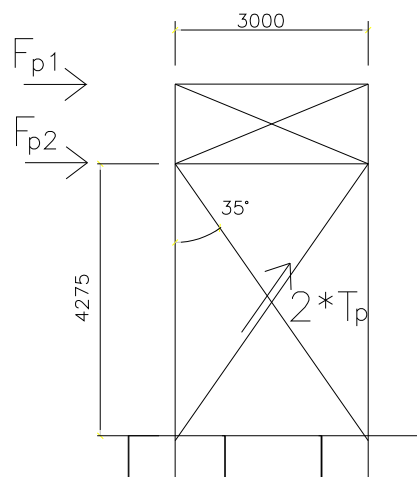
$$V_f = F_f/2 = 51390 \text{ N}$$

$$T_f = V_f/\cos 39.2^\circ = 66314 \text{ N}$$

$$\text{Area necessaria di un tondo: } A_{nec} = T_f/f_d = 241 \text{ mm}^2 \text{ (} f_d = 275 \text{ N/mm}^2\text{)}$$

Si utilizzano quindi tondi $\phi 20$ con una area della sezione $A = 314 \text{ mm}^2 > A_{nec}$

Per il calcolo dei **controventi di parete**, cioè sulla parte di barriera verticale, si considera l'azione tagliante derivante dalla accelerazione delle masse della copertura e di metà altezza della barriera verticale che vale $F_p = F_{p1} + F_{p2} = 139612 \text{ N}$ essendo $F_{p1} = F_f = 102780 \text{ N}$ e $F_{p2} = 8057+7290+6522+5755+4988+4220 = 36832 \text{ N}$; lo schema di calcolo considerato è il seguente:



da cui si ha l'azione di taglio sul singolo controvento:

$$V_p = F_p/2 = 69806 \text{ N}$$

$$T_p = V_p/\sin 35^\circ = 121703 \text{ N}$$

$$\text{Area necessaria di un tondo: } A_{nec} = T_p/f_d = 422 \text{ mm}^2$$

Si utilizzano quindi tondi $\phi 26$ con una area della sezione $A = 531 \text{ mm}^2 > A_{nec}$

Come **controventi longitudinali** si considerano infine tubi $\phi 88.9 \times 10$ mm. Imputando infatti in favore di sicurezza l'intera forza di compressione V_p al tubo si ha:

$$\omega = 1.95$$

$$A = 2479 \text{ mm}^2 \text{ area sezione tubo}$$

$$i = 28.1 \text{ mm giratore d'inerzia}$$

$$\text{snellezza } \lambda = \beta * L/i = 1 * 3000/28.1 = 106.8, \text{ curva a, acciaio Fe430}$$

$$\text{essendo } \beta = 1, L = 3000 \text{ mm.}$$

$$\sigma = \omega * V_p/A = 55 \text{ N/mm}^2 < f_d$$

1.4.15 Verifica armature manufatto in c.a.

Valgono le armature e le verifiche delle sezioni in c.a. condotte per il manufatto della barriera standard di altezza H10. Le sollecitazioni infatti risultano, rispetto a quest'ultima, leggermente inferiori data la forma a portale della barriera a copertura totale.

Di seguito vengono messe a confronto le sollecitazioni flettenti relative alle verifiche alle tensioni ammissibili per le due tipologie di barriera, in corrispondenza della sezione immediatamente sotto sella (a quota 0.91 m su p.f.) e della sezione di base (a quota estradosso zoccolo di base) per quanto concerne le verifiche delle armature longitudinali. Gli sforzi assiali danno un contributo minimo nelle verifiche quindi risultano trascurabili anche nel confronto delle sollecitazioni in oggetto.

Da tale confronto si evinde come le sollecitazioni sui manufatti in c.a. della barriera a copertura totale siano tutte inferiori alle corrispondenti della barriera standard e quindi le verifiche siano automaticamente soddisfatte.

Momenti [N*m]			
Armatura longitudinale (*)		Copertura totale	Barriera standard H10
Sez. sottosella (B = 1.5 m)	VP	-100467	-192041
	VN	105688	149351
Sez. di base (B = 1.5 m)	VP	-193913	-288339
	VN	213856	234539

* Nota: con VP si intende la condizione di carico più gravosa per le verifiche a resistenza con vento da esterno binari a interno binari (positivo) quindi "PPPBVSP" per la barriera standard H10, "Inviluppo totale – Mmax" per la copertura totale, con VN la condizione di carico più gravosa per le verifiche a resistenza con vento da interno binari a esterno binari (negativo) quindi "PPPAVNSN" per la barriera standard H10, "Inviluppo totale – Mmin" per la copertura totale.

1.5 VERIFICHE DI DEFORMABILITA'

Si verifica che per il solo sovraccarico $Q_v + Q_{ssx} + Q_{scopsx} + Q_{scopdx} + Q_n$ lo spostamento totale (e non orizzontale a favore di sicurezza) sia inferiore a 1/150 dell'altezza H della barriera e lo spostamento verticale sia inferiore a 1/400 della luce orizzontale.

Lo spostamento viene valutato per un interasse dei montanti di 3.00 m.

Per lo spostamento totale si ha quindi $L = 8870$, per cui $f_{am,1} = 8870/150 = 59.1 \text{ mm}$.

Per lo spostamento verticale $L = 9520$, per cui $f_{am,2} = 9520/400 = 23.8 \text{ mm}$.

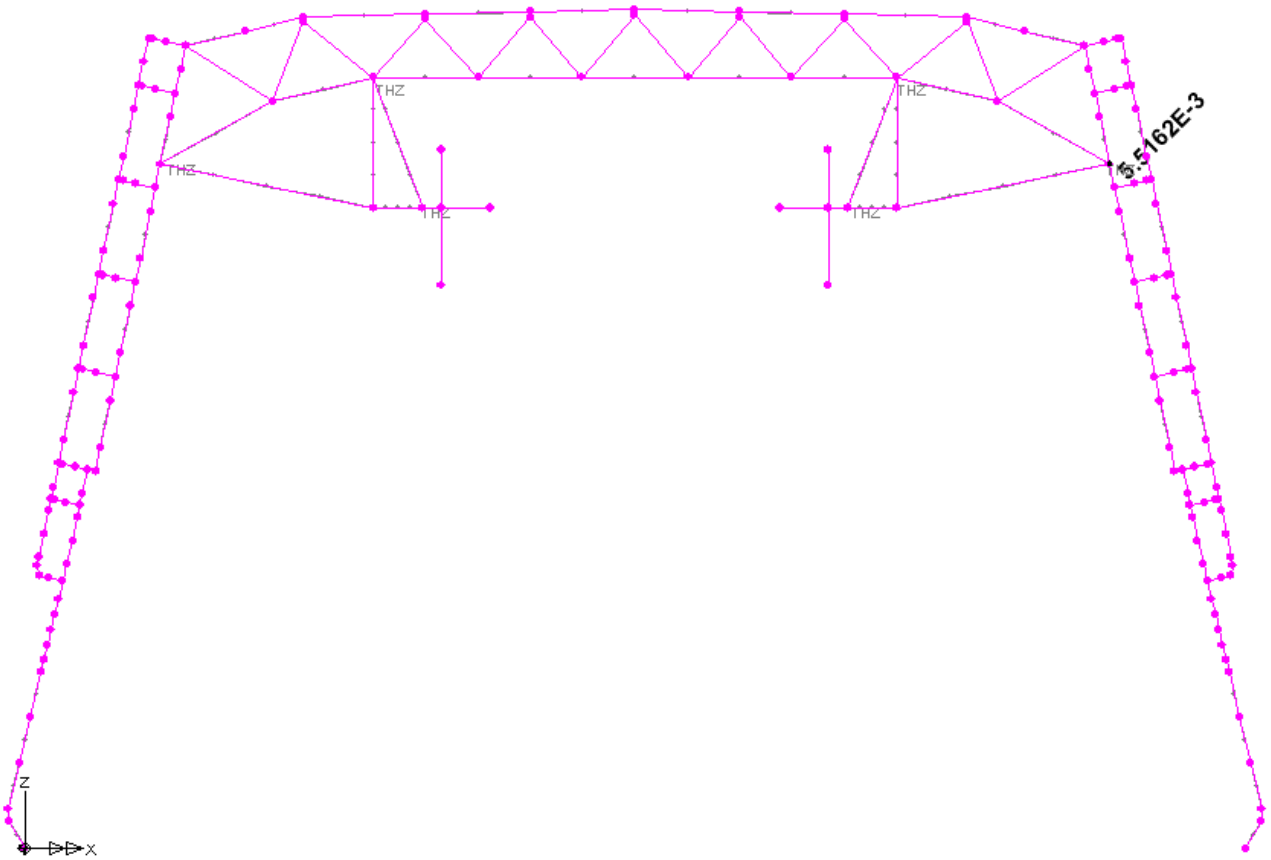


Fig. 13 Spostamento totale massimo nella condizione $Q_v + Q_{ssx} + Q_{scopsx} + Q_{scopdx} + Q_n$.

Verifica

$$f_{\max, \text{tot}} = 5.52 \text{ mm} < f_{\text{am}, 1}$$

$$f_{\max, \text{vert}} = 1.11 \text{ mm} < f_{\text{am}, 2}$$

1.6 TIRAFONDI

Viene eseguita la verifica dei tirafondi a fatica essendo questa la più gravosa (la verifica a resistenza risultano automaticamente soddisfatte in quanto le sollecitazioni della barriera a copertura totale a livello di sezione di base del manufatto sono inferiori a quelle della barriera standard di altezza H10 allo stesso livello mantenendo lo stesso numero e dimensioni di tirafondi). Dal modello agli elementi finiti derivano le seguenti caratteristiche di sollecitazione, massimizzando o minimizzando il momento (rispettivamente M_{\max} o M_{\min} M2) e considerando i valori correlati F3 e F1, sulla singola base poggiate sopra la trave di fondazione, definite nella sezione di base della mensola

(estradosso della base del manufatto, P0) e nel sistema di riferimento M2,F3,F1 rappresentato in figura.

Condizione di carico	M2 [Nm]	F3 [N]	F1 [N]
"Inviluppo sovrappressioni" – Mmin	-79918.5	-7351	-23582
"Inviluppo sovrappressioni" – Mmax	79918.5	7351	23582

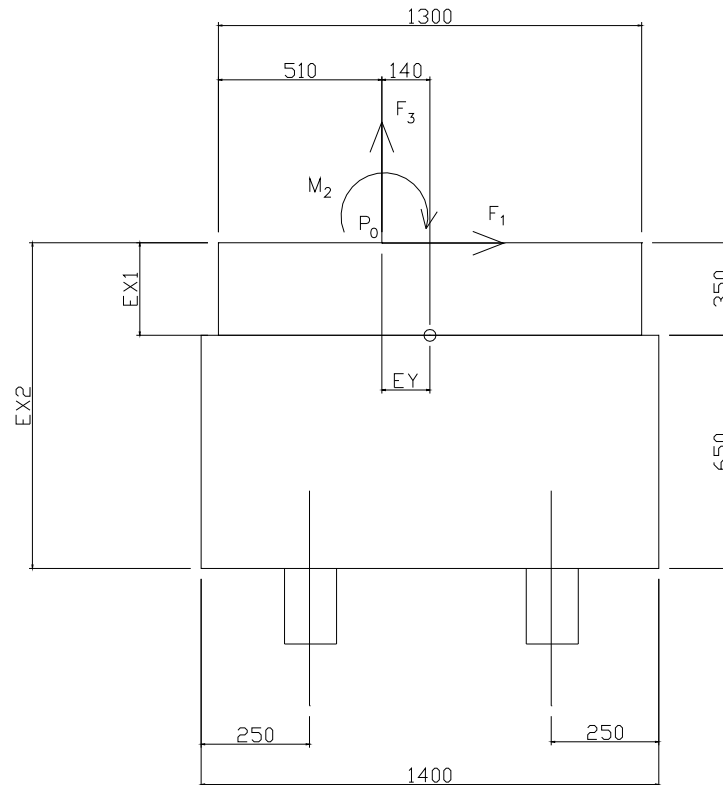


Fig. 14 Sistemi di riferimento

1.6.1 Schema di calcolo

Le caratteristiche delle zone di base del modulo a contatto con la fondazione sono quelle di seguito riportate. Si utilizzano 2+2 tirafondi $\phi 42$, con un'area dell'armatura: $A_{res} = 2 \cdot 1108.4 \text{ mm}^2 = 2216.7 \text{ mm}^2$ (80% dell'area nominale). Si riporta di seguito il calcolo delle tensioni; le sollecitazioni agenti si ricavano a partire dalle sollecitazioni F1, F3, M2 all'estradosso dello zoccolo di base (alla base del modello) considerando anche il peso dello zoccolo stesso ed il peso della base. Nelle verifiche i tirafondi non vengono considerati reagenti a compressione e viene inserito il peso della base in cls pari a $N_b = -1.613 \cdot 1.49 \cdot 25000 = -60084 \text{ N}$ per cui si ha ($e_y = 0.140 \text{ m}$; $e_{x1} = 0.350 \text{ m}$):

A fatica sforzo normale sollecitante $N = F3T + Nb = F3 + Nb$,

 momento sollecitante $M_x = M2T = M2 + F3 \cdot e_y + F1 \cdot e_{x1}$.

1.6.2 Verifiche a fatica dei tirafondi

Verifica a fatica tirafondi

Reazioni alla base del modello

JOINT	LOAD	F1	F2	F3	M1	M2	M3
		N	N	N	Nm	Nm	Nm
	217 "Inv. Sovrap." – Mmax	-23582		-7351		-79918.5	
	217 "Inv. Sovrap." – Mmin	23582		7351		79918.5	

Base in cls per tirafondi

Lunghezza base in cls	1.44 m	Larghezza zoccolo orizz base cls	1.3 m
Ecc centro base cls da parete vert.	0.14 m	Altezza zoccolo orizz base cls	0.35 m

CLS

Rck=	35 N/mm2	Ec=	33721.655 N/mm2
$\sigma_{c,amm}$	11 N/mm2	H=	130 cm

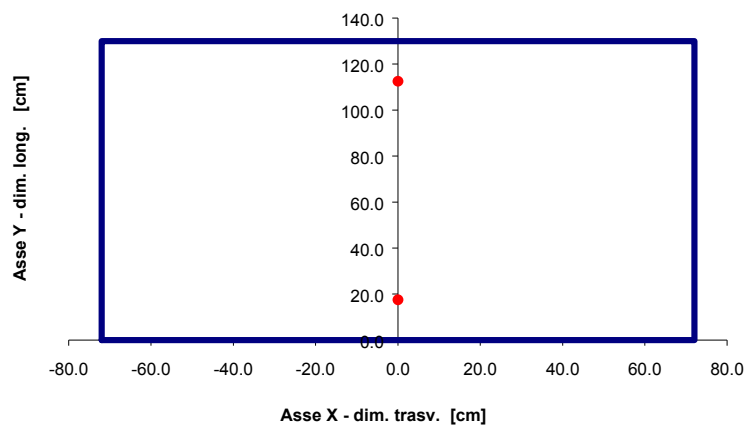
ACCIAIO Fe430

Es=	206000 N/mm2	n=	15		
classe 50*		$\Delta\sigma_D$	36.84 N/mm2	γ_M	1.25
diam max.	42 mm	$\Delta\sigma_{amm}$	27.094 N/mm2		

Armature	X [cm]	Y [cm]	Area [cm2]
1		17.5	22.166424
2		112.5	22.166424
3			
4			

80% diametro nominale

2fi 42 superiore
2fi 42 inferiore



Verifica a fatica

Combinaz.	N [kN]	Mx [kNm]	$\sigma_{s,max}$ [N/mm^2]	
"I. S." – Mmax	-52.73	-89.201	26.08	verifica soddisfatta
"I. S." – Mmin	-67.43	89.201	22.90	verifica soddisfatta

I piatti di contrasto dei tirafondi sono di spessore 30 mm.

1.7 MICROPALI E CORDOLO DI FONDAZIONE

Per quanto concerne la verifica di micropali e cordolo di fondazione vale quanto già detto per le armature del manufatto in c.a.; le sollecitazioni della barriera a copertura totale a livello di sezione di base del manufatto sono inferiori a quelle della barriera standard di altezza H10 allo stesso livello, quindi le verifiche risultano automaticamente soddisfatte mantenendo, in linea di principio, lo stesso numero e dimensioni di micropali e armature del cordolo di fondazione.

La lunghezza dei micropali sarà calcolata sulla base del criterio contenuto nelle relazioni di calcolo dei moduli standard, tenendo conto della natura e dei parametri geotecnici del terreno di fondazione.