

COMMITTENTE:



PROGETTAZIONE:



## POTENZIAMENTO DELLA LINEA MILANO - GENOVA

## QUADRUPLICAMENTO TRATTA MILANO ROGOREDO – PAVIA

## FASE2 – PIEVE EMANUELE - PAVIA

## U.O. OPERE CIVILI E GESTIONE DELLE VARIANTI

### PROGETTO DEFINITIVO

OPERE PRINCIPALI - PONTI E VIADOTTI

VI02 – PONTE SUL NAVIGLIO PAVESE

Relazione di calcolo impalcato in acciaio.

SCALA:

-

COMMESSA LOTTO FASE ENTE TIPO DOC. OPERA/DISCIPLINA PROGR. REV.

N M 0 Z 2 0 D 0 9 C L V I 0 2 0 7 0 0 1 A

| Rev. | Descrizione          | Redatto  | Data      | Verificato   | Data      | Approvato  | Data      | Autorizzato  | Data          |
|------|----------------------|----------|-----------|--------------|-----------|------------|-----------|--------------|---------------|
| A    | Emissione definitiva | L. Genca | Dic. 2018 | F. Bonifacio | Dic. 2018 | S. Borelli | Dic. 2018 | A. Vittorini | Dicembre 2018 |
|      |                      |          |           |              |           |            |           |              |               |
|      |                      |          |           |              |           |            |           |              |               |
|      |                      |          |           |              |           |            |           |              |               |

ITALFERR S.p.A.  
U.O. Opere Civili e Gestione delle Varianti  
Dott. Ing. Angela Vittorini  
Ordine degli Ingegneri della Provincia di Roma  
N° A20783

File: NM0Z20D09CLVI0207001A.docx

n. Elab.:

## INDICE

|          |                                                                     |                                       |
|----------|---------------------------------------------------------------------|---------------------------------------|
| <b>1</b> | <b>GENERALITÀ</b>                                                   | Errore. Il segnalibro non è definito. |
| 1.1      | PREMESSA                                                            | 4                                     |
| <b>2</b> | <b>NORMATIVA DI RIFERIMENTO</b>                                     | 4                                     |
| <b>3</b> | <b>MATERIALI IMPIEGATI</b>                                          | 6                                     |
| <b>4</b> | <b>MODELLO DI CALCOLO</b>                                           | 7                                     |
| <b>5</b> | <b>ANALISI DEI CARICHI UNITARI</b>                                  | 8                                     |
| 5.1      | CARICHI PERMANENTI                                                  | 8                                     |
| 5.1.1    | Pesi propri                                                         | 8                                     |
| 5.1.2    | Carichi permanenti portati                                          | 8                                     |
| 5.2      | SOVRACCARICHI ACCIDENTALI                                           | 9                                     |
| 5.2.1    | Treni di carico                                                     | 9                                     |
| 5.2.2    | Azioni orizzontali                                                  | 13                                    |
| 5.3      | AZIONI CLIMATICHE                                                   | 15                                    |
| 5.3.1    | Variazione termica                                                  | 15                                    |
| 5.3.2    | Azione della neve                                                   | 16                                    |
| 5.3.3    | Azione del vento                                                    | 17                                    |
| 5.4      | EFFETTI AERODINAMICI ASSOCIATI AL PASSAGGIO DEI CONVOGLI FERROVIARI | 19                                    |
| 5.5      | AZIONI ECCEZIONALI                                                  | 19                                    |
| 5.6      | AZIONI SISMICHE                                                     | 20                                    |
| 5.7      | COMBINAZIONI DI CARICO                                              | 22                                    |
| <b>6</b> | <b>SEZIONI ELEMENTI IMPALCATO</b>                                   | 23                                    |
| <b>7</b> | <b>VERIFICHE SLU</b>                                                | 26                                    |
| 7.1      | PIASTRA CON NERVATURE LONGITUDINALI                                 | 26                                    |
| 7.1.1    | Verifiche di resistenza - SLU                                       | 26                                    |
| 7.2      | TRAVERSI                                                            | 28                                    |
| 7.2.1    | Verifiche di resistenza – SLU (metodo elastico)                     | 28                                    |
| 7.2.2    | Verifiche a fatica                                                  | 30                                    |
| 7.3      | TRAVI PRINCIPALI E CONTROVENTI                                      | 32                                    |
| 7.3.1    | Verifiche di resistenza e di instabilità travi principali – SLU     | 32                                    |
| 7.3.2    | Verifiche a fatica                                                  | 37                                    |
| 7.4      | LONGHERINE                                                          | 38                                    |

|          |                                                                 |           |
|----------|-----------------------------------------------------------------|-----------|
| 7.4.1    | Verifiche di resistenza .....                                   | 38        |
| 7.4.2    | Verifiche a fatica .....                                        | 40        |
| <b>8</b> | <b>VERIFICHE SLE.....</b>                                       | <b>42</b> |
| 8.1      | Verifiche dell'inflessione impalcato nel piano verticale .....  | 42        |
| 8.2      | Verifiche dell'inflessione impalcato nel piano orizzontale..... | 43        |
| 8.3      | Verifica della prima frequenza flessionale.....                 | 41        |
| <b>9</b> | <b>REAZIONI VINCOLARI .....</b>                                 | <b>44</b> |

## 1 PREMESSA

Oggetto della presente relazione sono le verifiche principali per la travata in carpenteria metallica costituente il viadotto VI02 previsto dal progetto definitivo di quadruplicamento Milano Rogoredo – Pavia in corrispondenza del Naviglio Pavese.

Il viadotto VI02 è costituito da una campata a doppio binario semplicemente appoggiata con portata teorica pari a 54m, con asse curvilineo. La travata metallica, con armamento su ballast, è del tipo “a maglia triangolare” a via inferiore chiusa superiormente. La campata è costituita da 10 scomparti lunghi 5.4m, con altezza baricentrica pari a 10 m, interasse delle pareti di 10.05 m. L’impalcato è costituito da una vasca portaballast metallica direttamente collegata ai traversi in composizione saldata di altezza pari a 1100mm ed alle longherine in composizione saldata di altezza pari a 1100 m. La quota relativa al P.F.-sottotrave è pari a 2200 mm. I controventi sono previsti ricavati da profili laminati. Tutte le giunzioni in opera fra i vari elementi strutturali sono previste con bulloni di classe 8.8 a taglio. Gli apparecchi d’appoggio saranno del tipo ad acciaio-teflon.

### 1.1 ESECUZIONE DEL MANUFATTO

La soluzione ipotizzata per il montaggio dell’opera in oggetto (soluzione possibile), prevede un varo di punta con avambecco. In alternativa si può prevedere un sollevamento dal basso a mezzo autogrù previa predisposizione di stilate metalliche provvisorie.

## 2 NORMATIVA DI RIFERIMENTO

Il progetto è redatto secondo i metodi classici della scienza delle costruzioni e nel rispetto della seguente normativa:

I calcoli sono svolti in ottemperanza alla Normativa vigente:

- [N1] **Legge 05/01/1971 n°1086:** *Norme per la disciplina delle opere di conglomerato cementizio armato, normale e precompresso, ed a struttura metallica;*
- [N2] **Legge 02/02/1974 n°64:** *Provvedimenti per le costruzioni con particolari prescrizioni per le zone sismiche;*
- [N3] **D.M. del 14 gennaio 2008:** *Nuove norme tecniche per le costruzioni;*
- [N4] **C.M. 02/02/2009 n.617:** *Istruzioni per l'applicazione delle "Norme tecniche per le costruzioni";*
- [N5] **RFI DTC SI PS MA IFS 001 B:** *Manuale di progettazione delle Opere Civili.* Emissione per applicazione del 22/12/2017;
- [N6] **RFI DTC SI PS SP IFS 001 A del 30/12/2016:** *Capitolato generale tecnico di appalto delle opere civili – Parte II – Sezione 6 – Opere in conglomerato cementizio e in acciaio;*

Nella redazione dei progetti e nelle verifiche strutturali si è inoltre fatto riferimento alla normativa Europea di seguito specificata:

- [N7] **UNI EN 1991-1-4:2005:** *Eurocodice 1 – Azioni sulle strutture – Parte 1-4: Azioni in generale – Azioni del vento;*
- [N8] **UNI EN 1992-1-1:2005:** *Eurocodice 2 – Progettazione delle strutture di calcestruzzo – Parte 1-1: Regole generali e regole per gli edifici;*
- [N9] **UNI EN 1992-2:2006:** *Eurocodice 2 – Progettazione delle strutture di calcestruzzo – Parte 2: Ponti;*
- [N10] **UNI EN 1993-1-1:2005:** *Eurocodice 3 – Progettazione delle strutture di acciaio – Parte 1-1: Regole generali e regole per gli edifici;*
- [N11] **UNI EN 1993-2:2007:** *Eurocodice 3 – Progettazione delle strutture di acciaio – Parte 2: Ponti;*
- [N12] **UNI EN 1998-1:2005:** *Eurocodice 8 – Progettazione delle struttura per la resistenza sismica – Parte 1: Regole generali, azioni sismiche e regole per gli edifici;*
- [N13] **UNI EN 1998-2:2006:** *Eurocodice 8 – Progettazione delle struttura per la resistenza sismica – Parte 2: Ponti;*
- [N14] **STI 2014 – REGOLAMENTO UE N.1299/2014 DELLA COMMISSIONE del 18 Novembre 2014** *relativo alle specifiche tecniche di interoperabilità per il sistema "infrastruttura" del sistema ferroviario dell'Unione Europea.*

Tutti gli elementi lavorati dovranno essere controllati ed accettati in in accordo al capitolato generale tecnico delle opere civili di RFI "parte II sezione 6 e sezione 12" e alla uni en 1090-2 (classe di esecuzione exc4 eccetto camminamenti e grigliati per i quali, come previsto sull'appendice b, si puo' utilizzare la classe di esecuzione exc2).

### 3 MATERIALI IMPIEGATI

#### ACCIAIO

Acciaio secondo EN 10025, DM 14.1.2008 e Capitolato RFI

- lamiere e profili per elementi saldati S355J2
- lamiere e profili per elementi non saldati S355J0

#### PIOLI

ACCIAIO S 235 JR+ C450 ST37/3K  $f_y \geq 350$  N/mm<sup>2</sup>  
 $f_m \geq 450$  N/mm<sup>2</sup> EN 13918

#### BULLONI:

- Viti classe 8.8 UNI EN ISO 898-1, UNI EN 14399-4
- Dadi classe 8 UNI EN 20898-2, UNI EN 14399-4
- Rosette Acciaio C 50 UNI EN 10083-2, temperato e rinvenuto HRC 32÷40, UNI EN 14399-6
- Piastrine Acciaio C 50 UNI EN 10083-2, temperato e rinvenuto HRC 32÷40, UNI EN 14399-6

GIOCO FORO BULLONE – STRUTTURE PRINCIPALI:

- 0.3 mm (compresa tolleranza della vite)

GIOCO FORO BULLONE – GRIGLIATI E STRUTTURE PROVVISORIE

- BULLONE FINO A M20 +1 mm (compresa tolleranza della vite)
- BULLONE OLTRE A M20 +1,5 mm (compresa tolleranza della vite)

#### SALDATURE:

Secondo: "CAPITOLATO GENERALE TECNICO DI APPALTO DELLE OPERE CIVILI" di RFI, (PARTE II – SEZIONE 12 PONTI, VIADOTTI, SOTTOVIA E CAVALCAVIA).

#### NOTE:

Approvvigionamento, collaudo e controllo delle lavorazioni di officina dei materiali, nonché controlli da eseguire durante l'accettazione provvisoria e montaggio in opera della struttura, in accordo al capitolato generale tecnico delle opere civili di RFI "parte II sezione 6 e sezione 12";

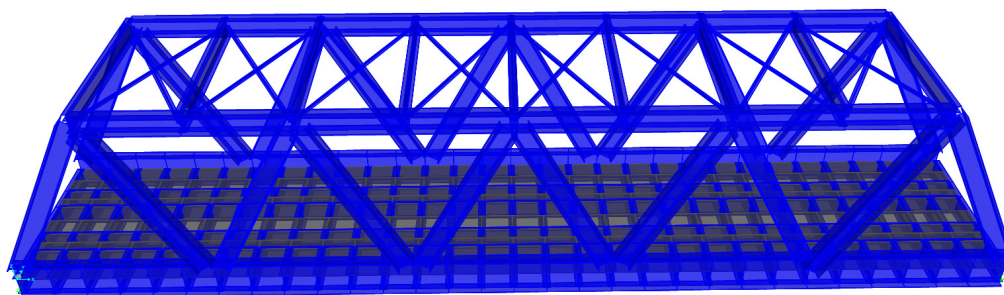
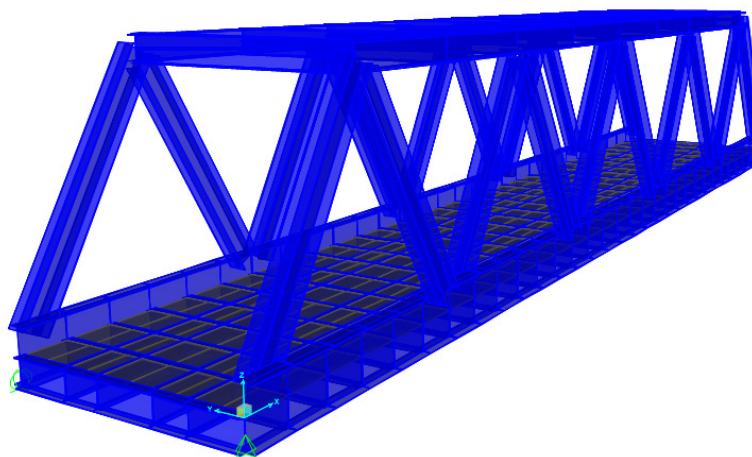
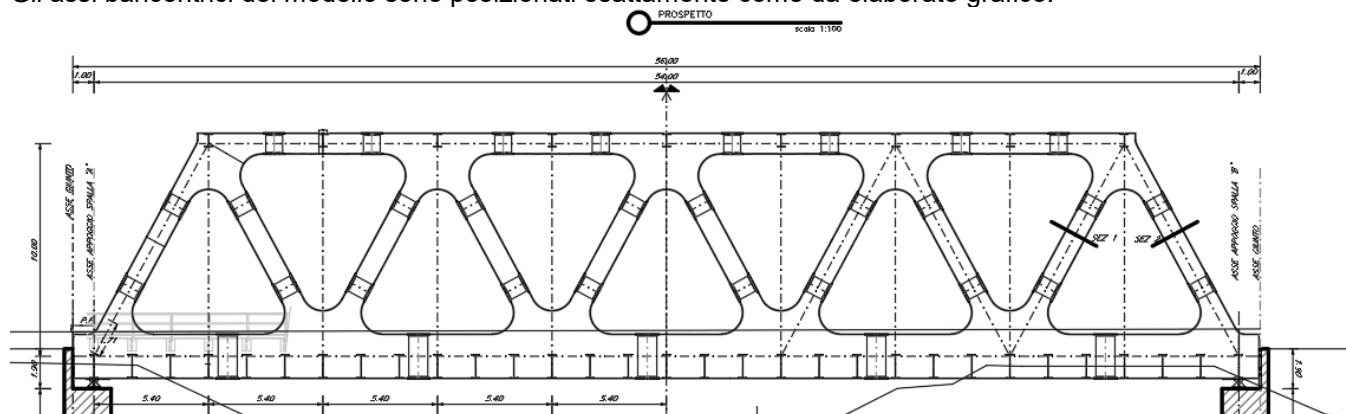
tutti gli elementi lavorati dovranno essere controllati ed accettati in in accordo al capitolato generale tecnico delle opere civili di RFI "parte II sezione 6 e sezione 12" e alla uni en 1090-2 (classe di esecuzione exc4 eccetto camminamenti e grigliati per i quali, come previsto sull'appendice b, si può utilizzare la classe di esecuzione exc2).

## 4 MODELLO DI CALCOLO

Per il calcolo delle sollecitazioni e per l'analisi strutturale sono stati realizzati dei modelli agli elementi finiti con il programma di calcolo SAP2000. L'analisi statica effettuata è di tipo elastico lineare e le verifiche sono state effettuate agli stati limite in conformità alle Normative Vigenti (§1.2).

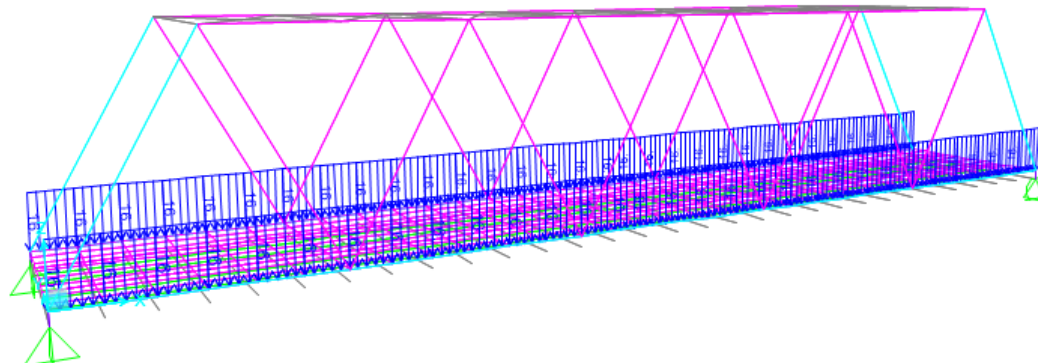
Di seguito viene rappresentato il modello tridimensionale con il quale sono stati valutati gli effetti globali in termini di resistenza, di deformazione e di stabilità.

Gli assi baricentrici del modello sono posizionati esattamente come da elaborato grafico:









*Figura 2\_Carico distribuito sulle travi = barriere antirumore*

## 5.2 SOVRACCARICHI ACCIDENTALI

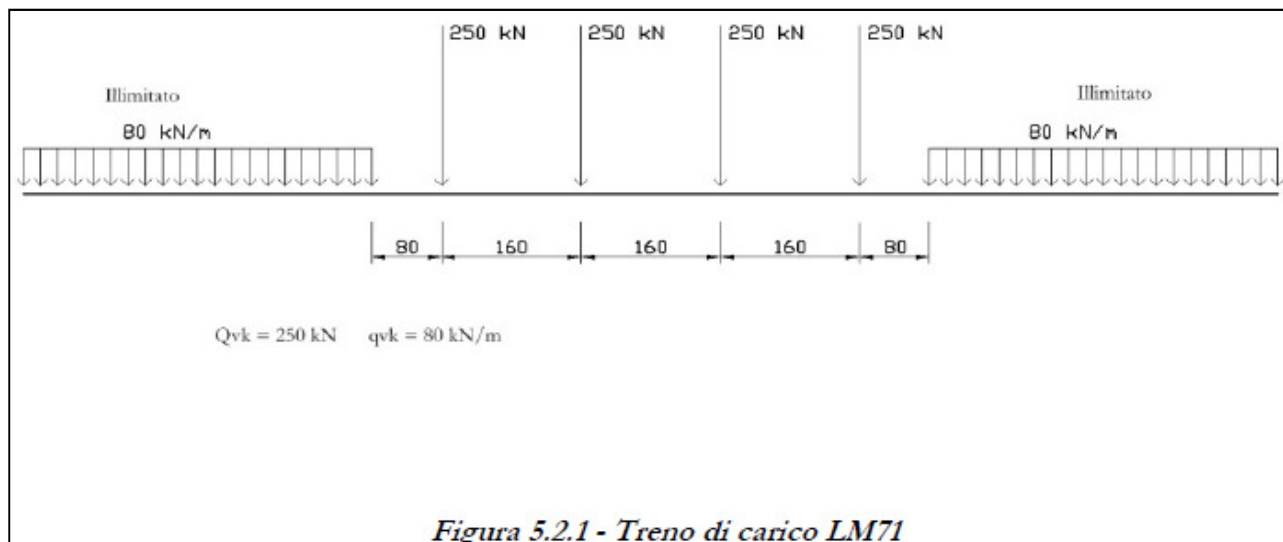
### 5.2.1 Treni di carico

I carichi verticali sono definiti attraverso dei modelli di carico; in particolare, sono forniti due treni di carico distinti: il primo rappresentativo del traffico normale (LM 71) ed il secondo di quello pesante (SW2).

#### Traffico normale: Treno LM71

Questo treno di carico schematizza gli effetti statici prodotti dal traffico ferroviario normale e risulta costituito da:

- quattro assi da 250 kN disposti ad interasse di 1.60 m;
- una stesa uniforme di 80 kN/m in entrambe le direzioni, a partire da 0.8 m dagli assi d'estremità e per una lunghezza illimitata.



È stata considerata un'eccentricità di carico pari a 1/8 dello scartamento:  $e = \frac{s}{8} = \frac{143.5}{8} = 8 \text{ cm}$   
Ogni binario è stato caricato con la seguente azione verticale:

**Vehicle Data**

Nome veicolo: LM71      Unità: KN, m, C

Prospetto del Carico:



Carichi:

| Carico         | Minimo   | Massimo  | Uniforme | Assale |
|----------------|----------|----------|----------|--------|
| Tipo Lunghezza | Distanza | Distanza | Carico   | Carico |
| Leading Load   | Infinite |          | 80.      | 0.     |
| Leading Load   | Infinite |          | 80.      | 0.     |
| Fixed Length   | 0.8      |          | 0.       | 250.   |
| Fixed Length   | 1.6      |          | 0.       | 250.   |
| Fixed Length   | 1.6      |          | 0.       | 250.   |
| Fixed Length   | 1.6      |          | 0.       | 250.   |
| Fixed Length   | 0.8      |          | 0.       | 0.     |
| Trailing Load  | Infinite |          | 80.      |        |

Agg.    Inserisci    Modif.    Canc.

☐ Vehicle Remains Fully In Path

OK    Annulla

I valori caratteristici dei carichi mobili (LM71) attribuiti ai modelli di carico sono stati moltiplicati per un coefficiente di adattamento  $\alpha = 1.10$ .

### Traffico pesante treno SW/2

Tale carico schematizza gli effetti statici prodotti dal traffico ferroviario pesante. Per tale modello di carico è stata considerata la seguente configurazione:

- due stese di carico di intensità 150 kN/m, lunghe 25.00 m distanziate da un lasco di 7.00 m.



Ogni binario è stato caricato con la seguente azione verticale:

**Vehicle Data**

Nome veicolo:  Unità:

Prospetto del Carico



Carichi

| Carico         | Minimo   | Massimo  | Uniforme | Assale |
|----------------|----------|----------|----------|--------|
| Tipo Lunghezza | Distanza | Distanza | Carico   | Carico |
| Fixed Length   | 25.      |          | 150.     | 0.     |
| Fixed Length   | 25.      |          | 150.     | 0.     |
| Fixed Length   | 7.       |          | 0.       | 0.     |
| Fixed Length   | 25.      |          | 150.     | 0.     |

Agg. Inserisci Modif. Canc.

☐ Vehicle Remains Fully In Path

OK Annulla

### Coefficienti dinamici

I coefficienti di incremento dinamico per linee con normale standard manutentivo sono stati determinati con la seguente equazione:

$$\Phi_3 = \frac{2.16}{\sqrt{L_\Phi} - 0.2} + 0.73 \quad \text{con la limitazione} \quad 1 \leq \Phi_3 \leq 2$$

con la lunghezza  $L_\Phi$  valutata secondo la Tabella 2.51.4.2.5.3.1:

- Travi principali  $L_\Phi = L = 54 \text{ m}$ ;  
 $\Phi_3 = 1.03$
- Nervature longitudinali  $i = 1.8 \text{ m}$ ;  $L_\Phi = 3 * 1.8 = 1.75 \text{ m}$ ;  
 $\Phi_3 = 1.75$
- Travi trasversali intermedie  $L = 10.05 \text{ m}$ ;  $L_\Phi = 2 * L = 2 * 10.05 \text{ m} = 20.1 \text{ m}$   
 $\Phi_3 = 1.23$
- Travi trasversali di estremità  $L_\Phi = 3.6 \text{ m}$  .  
 $\Phi_3 = 2$

Per la verifica a fatica invece, il coefficiente di incremento dinamico del sovraccarico teorico è stato valutato mediante la seguente formula, in accordo alla "Specifiche per la verifica a fatica dei ponti ferroviari":

$$\Phi_3 = \frac{1.44}{\sqrt{L_\Phi} - 0.2} + 0.82 \quad \text{con la limitazione} \quad 1 \leq \Phi_3 \leq 1.67$$

- Travi principali  $\Phi_3 = 1.02$
- Nervature longitudinali  $\Phi_3 = 1.498$
- Travi trasversali intermedie  $\Phi_3 = 1.156$

Per valutare correttamente gli effetti massimi dei carichi viaggianti previsti dalla normativa, essi sono stati definiti all'interno del modello agli elementi finiti come "moving load cases".

La posizione dei binari è simulata con lane monofilari che tengono conto dell'eccentricità geometrica degli stessi pari a 163mm.

## 5.2.2 Azioni orizzontali

### 5.2.2.1 Serpeggio

Si assume una forza orizzontale di 100 kN applicata alla sommità delle rotaie.

### 5.2.2.2 Avviamento e frenatura

**Avviamento:**  $Q_{ak} = 33 * L \leq 1000 \text{ kN}$

Treno LM71

$$Q_{ak} = 33 * 54 * 1.1 = 1960.2 \text{ kN};$$

pertanto si assumerà:

$$Q_{ak} = 1000 \text{ kN}$$

Treno SW2

$$Q_{ak} = 33 * 27 * 1 = 891 \text{ kN}$$

**Frenatura:**

Treno LM71  $Q_{bk} = 20 * L \leq 6000 \text{ kN}$

Treno SW2  $Q_{bk} = 35 * L$

Treno LM71

$$Q_{bk} = 20 * 54 * 1.1 = 1188 \text{ kN}$$

Treno SW2

$$Q_{bk} = 35 * (54 - 7) = 1645 \text{ kN}$$

Per il treno di carico LM71 le precedenti forze devono essere moltiplicate per il coefficiente  $\alpha = 1.1$ .

Nel modello di calcolo sono state considerate per ciascun treno di carico solamente le azioni (frenatura o avviamento) che determinano le sollecitazioni massime sulla struttura.

Ad esempio:

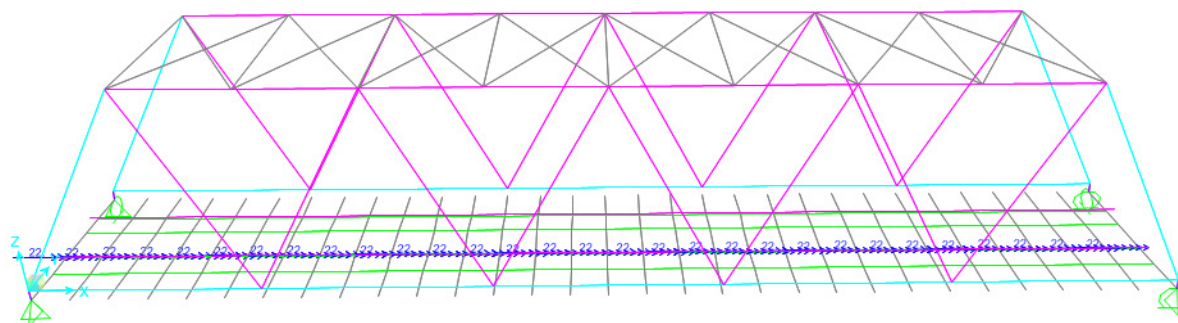


Figura 3\_Azione di frenatura LM71 bin.1

### 5.2.2.3 Forza centrifuga

Nei ponti ferroviari al di sopra dei quali il binario presenta un tracciato in curva deve essere considerata la forza centrifuga agente su tutta l'estensione della curva.

L'azione centrifuga si considera agente verso l'esterno della curva, in direzione orizzontale ed applicata alla quota di 1.80 m al di sopra del P.F..

Raggio considerato:  $R = 960$  m

- Per il treno di carico tipo SW/2 si considerano i seguenti parametri e valori:

$$V = 100 \text{ km/h}$$

$$\alpha = 1$$

$$f = 1$$

$$Q_{tk} = 0 \text{ perché } Q_{vk} = 0$$

$$q_{tk} = \frac{V^2}{127 r} \cdot f \cdot q_{vk} = \mathbf{12.3 \text{ kN/m}}$$
 (da considerare per una lunghezza di 54 m)

$$\text{Il traffico verticale associato è pari a } \Phi \cdot 1 \cdot \text{SW/2} = 1.03 \cdot 1 \cdot 150 \text{ kN/m} = 154.8 \text{ kN/m}$$

- Per il treno di carico tipo LM/71 occorre distinguere due casi:

$$V = 120 \text{ km/h}$$

$$\alpha = 1.1$$

$$f = 1$$

$$Q_{tk} = 1.1 \cdot \frac{V^2}{127 r} \cdot f \cdot Q_{vk} = \mathbf{32.5 \text{ kN}}$$

$$\text{Il traffico verticale associato è pari a } \Phi \cdot \alpha \cdot \text{LM/71} = 1.03 \cdot 1.1 \cdot 250 \text{ kN} = 283.8 \text{ kN}$$

$$q_{tk} = 1.1 \cdot \frac{V^2}{127 r} \cdot f \cdot q_{vk} = \mathbf{10.4 \text{ kN/m}}$$

$$\text{Il traffico verticale associato è pari a } \Phi \cdot \alpha \cdot \text{LM/71} = 1.03 \cdot 1.1 \cdot 80 \text{ kN/m} = 90.8 \text{ kN/m}$$

$$V = 160 \text{ km/h}$$

$$\alpha = 1$$

$$f = 0.79 \text{ (considerando } L_f = 54 \text{ m)}$$

$$Q_{tk} = \frac{V^2}{127 r} \cdot f \cdot Q_{vk} = \mathbf{41.5 \text{ kN}}$$

$$\text{Il traffico verticale associato è pari a } \Phi \cdot \text{LM/71} = 1.03 \cdot 250 \text{ kN} = 258 \text{ kN}$$

$$q_{tk} = \frac{V^2}{127 r} \cdot f \cdot q_{vk} = \mathbf{13.3 \text{ kN/m}}$$

$$\text{Il traffico verticale associato è pari a } \Phi \cdot \text{LM/71} = 1.03 \cdot 80 \text{ kN/m} = 82.6 \text{ kN/m}$$

La forza centrifuga non andrà amplificata con i coefficienti dinamici, inoltre dovrà essere considerato anche il caso di assenza di forza centrifuga (convogli fermi).

Si riporta, a titolo di esempio, la forza centrifuga distribuita per il caso LM71 a 160km/h, relativa al binario 1:

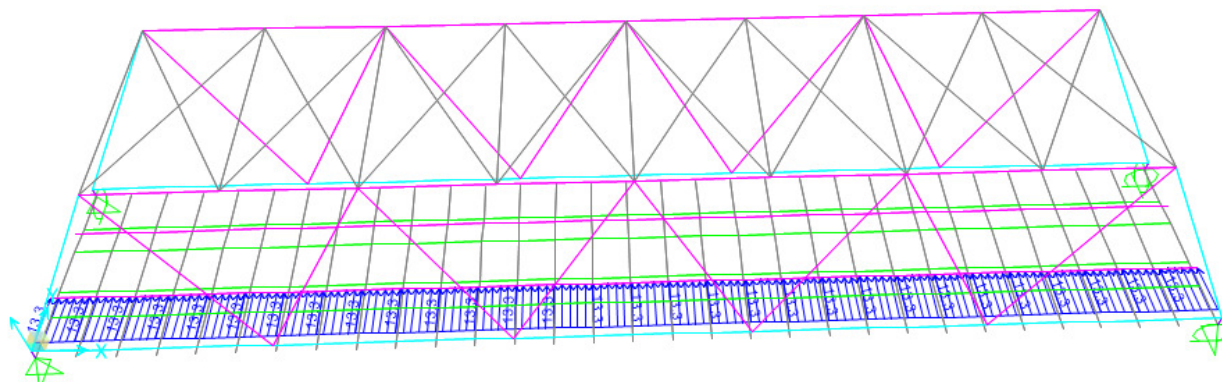


Figura 4\_Azione centrifuga distribuita LM71 bin.1

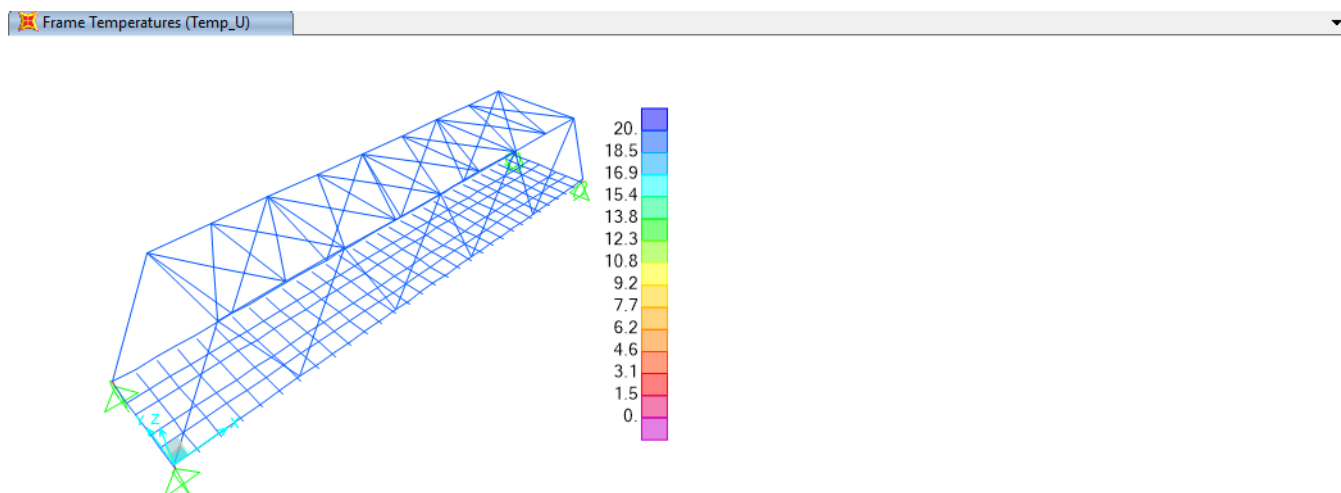
## 5.3 AZIONI CLIMATICHE

### 5.3.1 Variazione termica

Nelle verifiche dei singoli elementi è stata considerata una variazione termica uniforme, una variazione volumetrica ed una variazione termica non uniforme secondo quanto indicato sulla “Specifica per la progettazione e l'esecuzione dei ponti ferroviari e di altre opere minori sotto binario”.

#### Variazione termica uniforme

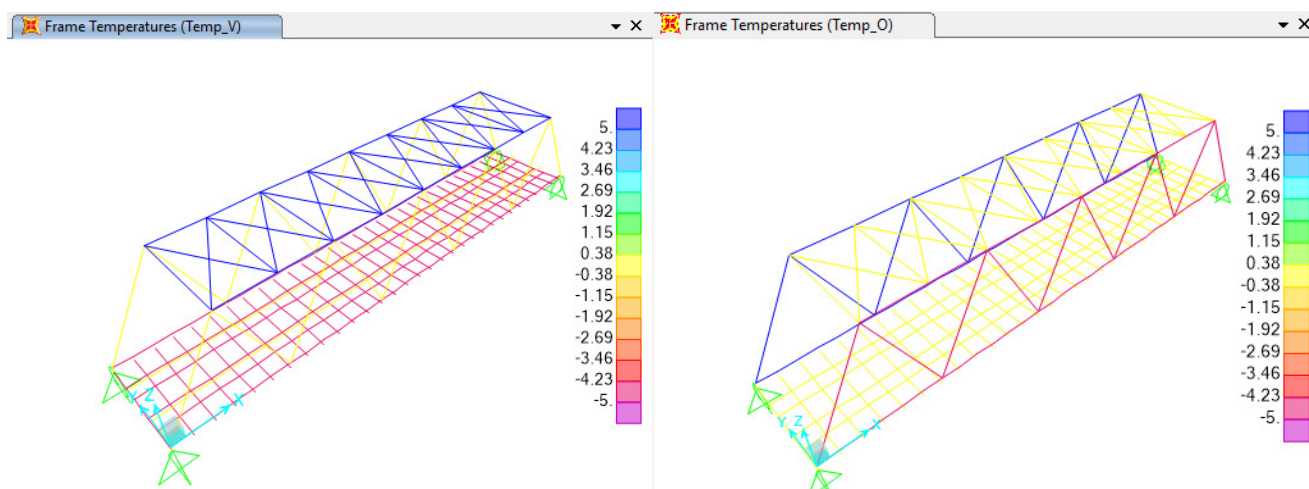
Si considera una variazione termica uniforme volumetrica per l'impalcato in acciaio pari a  $\pm 25^\circ\text{C}$ . Per la determinazione delle escursioni degli apparecchi di appoggio è stata considerata una variazione termica uniforme di  $25^\circ \times 1.5 = 37.5^\circ\text{C}$ .



### Variazione termica non uniforme

In aggiunta alla variazione termica uniforme è stato considerato un gradiente termico pari a **5°C** tra intradosso ed estradosso di impalcato.

Per la verifica delle deformazioni orizzontali e verticali dell'impalcato sono state considerate delle differenze di temperatura tra estradosso ed intradosso e fra le superfici laterali più esterne degli impalcati di **10°C**.



### **5.3.2 Azione della neve**

Per l'opera oggetto della presente relazione il carico risulta non dimensionante.



### 5.3.3 Azione del vento

L'azione del vento è stata distinta in:

- Vento su struttura scarica, ossia azione del vento sul ponte senza carichi mobili;
- Vento su struttura carica, ossia azione del vento sul ponte durante il transito dei veicoli.

| REGIONE   | Zona | $V_{ref,0}$ [m/s] | $a_0$ [m] | $k_a$ [1/s] |
|-----------|------|-------------------|-----------|-------------|
| Lombardia | 1    | 25                | 1000      | 0.01        |

| $T_R$ [anni] | $\alpha_R$ | $a_s$ [m] | $V_{ref}(T_R=50)$ [m/s] | $V_{ref}(T_R)$ [m/s] | $q_{ref}$ [N/m <sup>2</sup> ] |
|--------------|------------|-----------|-------------------------|----------------------|-------------------------------|
| 50           | 1.00       | 82        | 25.0                    | 25.0                 | 391.20                        |

| Classe di rugosità del terreno |
|--------------------------------|
| Aree urbane                    |
| <b>A</b>                       |

| Categoria di esposizione del sito      |
|----------------------------------------|
| oltre 30 km dalla costa, sotto i 500 m |
| <b>V</b>                               |

| Coefficiente di topografia | $c_t$       |
|----------------------------|-------------|
|                            | <b>1.00</b> |

| Coefficiente di esposizione |           |               |             |
|-----------------------------|-----------|---------------|-------------|
| $k_r$                       | $z_0$ [m] | $z_{min}$ [m] | $z$ [m]     |
| 0.23                        | 0.70      | 12.00         | 10.00       |
| $c_e$                       |           |               | <b>1.48</b> |

| Ulteriori coefficienti |             |
|------------------------|-------------|
| $c_d$                  | <b>1.00</b> |
| $c_f$                  | <b>0.01</b> |

| Coefficiente di forma o aerodinamico [C3.3.10.4]      |                         |       |                    |                        |                        |
|-------------------------------------------------------|-------------------------|-------|--------------------|------------------------|------------------------|
| Tipologia di struttura soggetta all'azione del vento: |                         |       | a travi reticolari |                        |                        |
| Travi reticolari                                      |                         |       |                    |                        |                        |
|                                                       | $S_p$ [m <sup>2</sup> ] | 359.3 |                    | $\phi$                 | 0.55                   |
|                                                       | $S$ [m <sup>2</sup> ]   | 650   |                    |                        |                        |
| Altezza della travata                                 | $h$ [m]                 | 10    |                    | 1 <sup>a</sup> travata | 2 <sup>a</sup> travata |
| Distanza tra le travate                               | $d$ [m]                 | 10.05 |                    | $c_{p,1}$              | $c_{p,2}$              |
|                                                       | $d/h$                   | 1.01  |                    | <b>1.6</b>             | <b>0.54</b>            |
|                                                       | $\mu$                   | 0.337 |                    |                        |                        |

| Pressione del vento                    | $T_R =$                      | 50 | anni       |
|----------------------------------------|------------------------------|----|------------|
| pressione del vento travata esposta    | $p_{,1}$ [N/m <sup>2</sup> ] |    | <b>926</b> |
| pressione del vento travata successiva | $p_{,2}$ [N/m <sup>2</sup> ] |    | <b>312</b> |
| azione tangenziale del vento           | $p_t$ [N/m <sup>2</sup> ]    |    | <b>6</b>   |

34%

Per l'azione del vento cautelativamente si prevedono 2,5 kN/mq applicati sulle superfici esposte della travata metallica e dei treni di carico (ripartendo con i coefficienti  $c_p$  da norma tra le due superfici).

**Azione di vento scarico:**

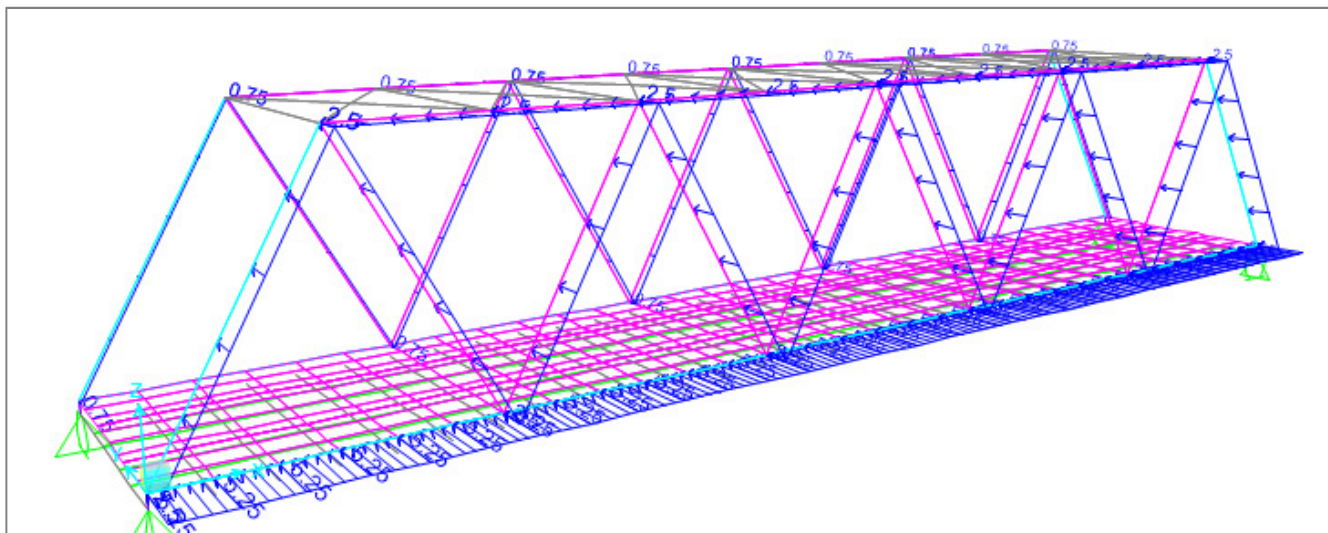


Figura 5\_Azione del Vento Scarico

**Azione di vento carico su bin.1:**

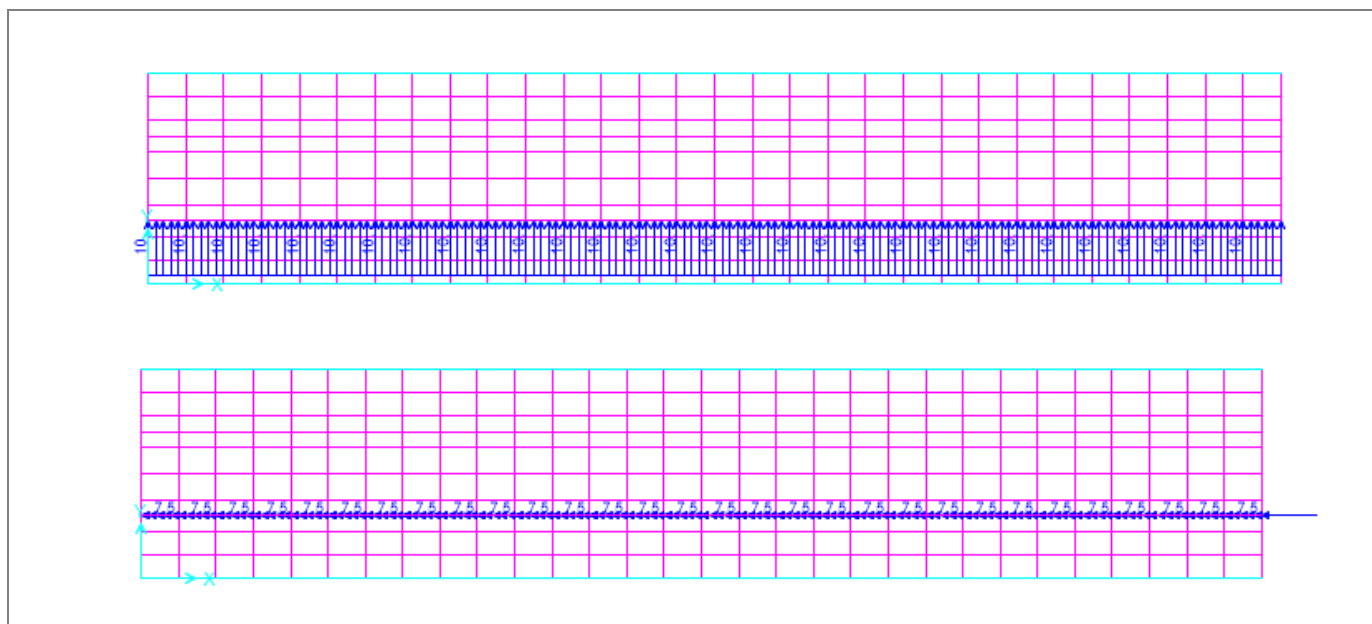


Figura 6\_Azione del vento su convoglio ferroviario (distribuito + mom. torcente)

## 5.4 EFFETTI AERODINAMICI ASSOCIATI AL PASSAGGIO DEI CONVOGLI FERROVIARI

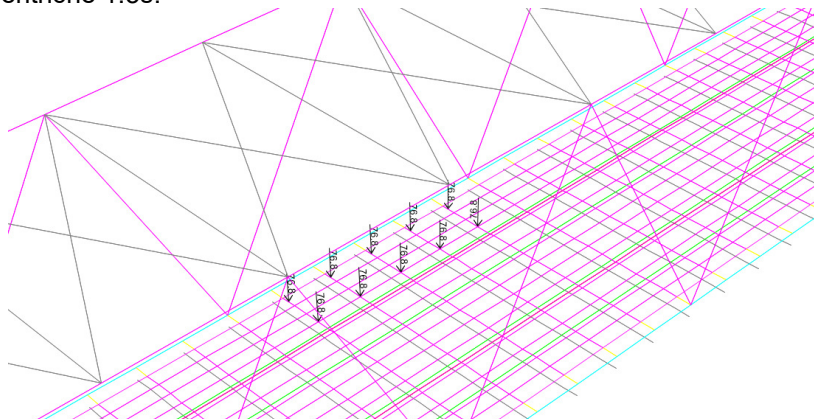
Superfici verticali parallele al binario

Per una distanza ag dall'asse del binario pari a 3.53 m, e per una velocità massima di percorrenza pari a 160 km/h, il valore caratteristico dell'azione sul pannello è di 0.3 kN/m<sup>2</sup>.

## 5.5 AZIONI ECCEZIONALI

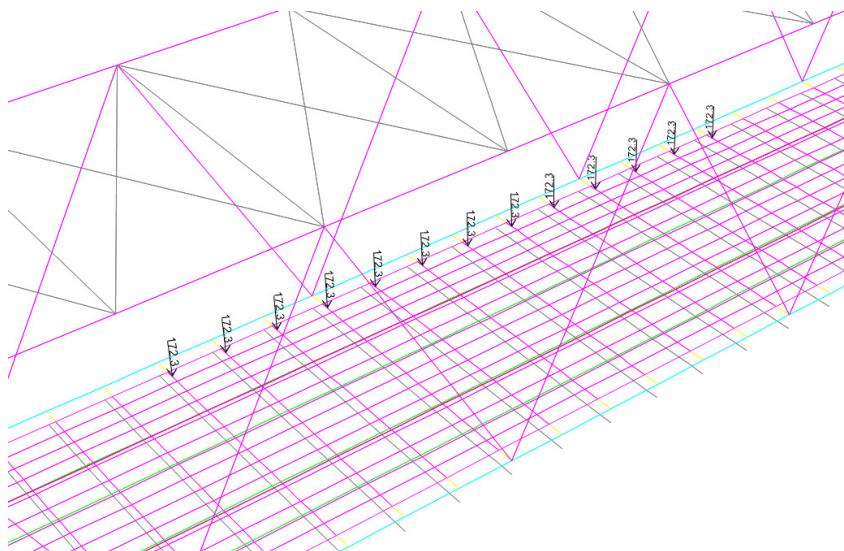
### Deragliamento schema 1

Sono state considerate due stese di carico di lunghezza 6.40 m, intensità di 60 kN/m, ad una distanza pari allo scartamento S ed eccentriche 1.5s.



### Deragliamento schema 2

È stato considerato un carico lineare di lunghezza 20m, intensità 80\*1.4 kN/m, eccentrico di 1.5s (2.15m) rispetto all'asse binari.



## 5.6 AZIONI SISMICHE

Lo spettro di progetto è stato ottenuto utilizzando il foglio di calcolo elettronico messo a disposizione dal Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici.

### FASE 1. INDIVIDUAZIONE DELLA PERICOLOSITÀ DEL SITO

☒ Ricerca per coordinate
 

LONGITUDINE  
9.20936

LATITUDINE  
45.34631

☐ Ricerca per comune
 

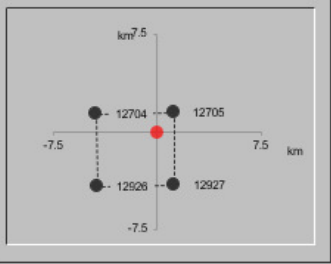
REGIONE  
Campania

PROVINCIA  
Avellino

COMUNE  
Ariano Irpino

Elaborazioni grafiche  
 Grafici spettri di risposta  
 Variabilità dei parametri

Elaborazioni numeriche  
 Tabella parametri

Nodi del reticolo intorno al sito  


Reticolo di riferimento  


Controllo sul reticolo  
☒ Sito esterno al reticolo  
☐ Interpolazione su 3 nodi  
☒ Interpolazione corretta

Interpolazione  
 superficie rigata

La "Ricerca per comune" utilizza le coordinate ISTAT del comune per identificare il sito. Si sottolinea che all'interno del territorio comunale le azioni sismiche possono essere significativamente diverse da quelle così individuate e si consiglia, quindi, la "Ricerca per coordinate".

INTRO
 **FASE 1**
 FASE 2
 FASE 3

### FASE 2. SCELTA DELLA STRATEGIA DI PROGETTAZIONE

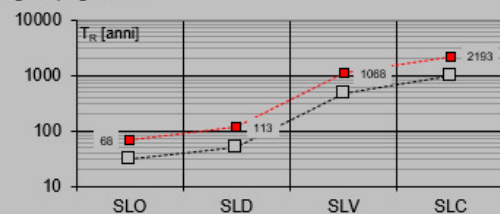
Vita nominale della costruzione (in anni) -  $V_N$  75 info

Coefficiente d'uso della costruzione -  $C_U$  1.5 info

Valori di progetto  
 Periodo di riferimento per la costruzione (in anni) -  $V_R$  112.5 info  
 Periodi di ritorno per la definizione dell'azione sismica (in anni) -  $T_R$  info  
 Stati limite di esercizio - SLE  
 SLO -  $P_{VR} = 81\%$  68  
 SLD -  $P_{VR} = 63\%$  113  
 Stati limite ultimi - SLU  
 SLV -  $P_{VR} = 10\%$  1068  
 SLC -  $P_{VR} = 5\%$  2193

Elaborazioni  
 Grafici parametri azione  
 Grafici spettri di risposta  
 Tabella parametri azione

LEGENDA GRAFICO  
 --- Strategia per costruzioni ordinarie  
 --- Strategia scelta

Strategia di progettazione  


INTRO
 FASE 1
 **FASE 2**
 FASE 3

### FASE 3. DETERMINAZIONE DELL'AZIONE DI PROGETTO

**Stato Limite**

Stato Limite considerato **SLV** info

**Risposta sismica locale**

Categoria di sottosuolo **C** info       $S_B = 1.500$        $C_C = 1.567$  info

Categoria topografica **T1** info       $h/H = 0.000$        $S_T = 1.000$  info  
(h=quota sito, H=altezza rilievo topografico)

**Compon. orizzontale**

☐ Spettro di progetto elastico (SLE)      Smorzamento  $\xi$  (%) **5**       $\eta = 1.000$  info

☒ Spettro di progetto inelastico (SLU)      Fattore  $q_s$  **1**      Regol. in altezza **si** info

**Compon. verticale**

Spettro di progetto      Fattore  $q$  **1**       $\eta = 1.000$  info

**Elaborazioni**

Grafici spettri di risposta →

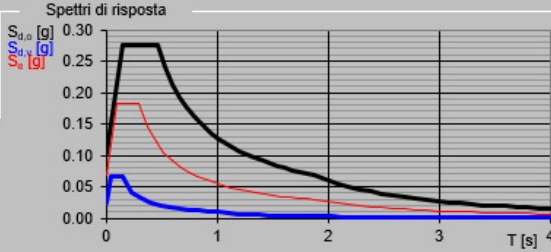
Parametri e punti spettri di risposta →

— Spettro di progetto - componente orizzontale

— Spettro di progetto - componente verticale

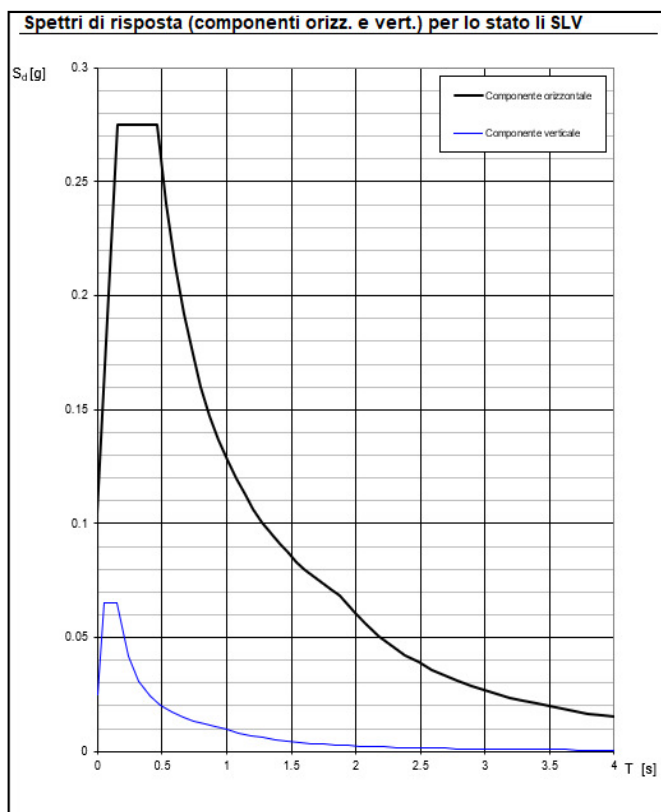
— Spettro elastico di riferimento (Cat. A-T1,  $\xi = 5\%$ )

**Spettri di risposta**



Y-axis:  $S_{d,0}$  [g],  $S_{d,v}$  [g],  $S_e$  [g]  
X-axis:  $T$  [s]

INTRO
FASE 1
FASE 2
FASE 3



## 5.7 COMBINAZIONI DI CARICO

Le singole azioni elementari vengono combinate come previsto sulla Normativa Ferroviaria RFI DTC INC PO SP IFS 001 A – “Specifica per la progettazione e l’esecuzione dei ponti ferroviari e di altre opere minori sotto binario”;

| COEFFICIENTI DI COMB.                     |             |                       | <b>A1 STR</b> |
|-------------------------------------------|-------------|-----------------------|---------------|
| <b>Carichi permanenti</b>                 | <i>sfav</i> | <b>Y<sub>G1</sub></b> | 1.35          |
|                                           | <i>fav</i>  |                       | 1             |
| <b>Carichi permanenti non strutturali</b> | <i>sfav</i> | <b>Y<sub>G2</sub></b> | 1.5           |
|                                           | <i>fav</i>  |                       | 0             |
| <b>Traffico</b>                           | <i>sfav</i> | <b>Y<sub>Q</sub></b>  | 1.45          |
|                                           | <i>fav</i>  |                       | 0             |
| <b>Variabili</b>                          | <i>sfav</i> | <b>Y<sub>Qi</sub></b> | 1.5           |
|                                           | <i>fav</i>  |                       | 0             |

| $\psi_0$                | $\psi_1$ | $\psi_2$ |
|-------------------------|----------|----------|
| <i>treno scarico</i>    |          |          |
| 1                       | 0        | 0        |
| <i>serpeggio</i>        |          |          |
| 1                       | 0.8      | 0        |
| <i>Eff_aerodinamici</i> |          |          |
| 0.8                     | 0.5      | 0        |
| <i>vento</i>            |          |          |
| 0.6                     | 0.5      | 0        |
| <i>temperatura</i>      |          |          |
| 0.6                     | 0.6      | 0.5      |

| VALUTAZIONE DEI CARICHI DA TRAFFICO |                  |                  |            |               |                        |            |             |            |             |            |                      |          |
|-------------------------------------|------------------|------------------|------------|---------------|------------------------|------------|-------------|------------|-------------|------------|----------------------|----------|
| Commenti                            | TIPO DI CARICO   | Azioni Verticali |            |               | Azioni Orizzontali     |            |             |            |             |            | <b>Y<sub>Q</sub></b> |          |
|                                     | GRUPPO DI CARICO | Carico verticale |            | Treno scarico | Frenatura e avviamento |            | Centrifuga  |            | Serpeggio   |            | 1.45                 |          |
|                                     |                  | <i>sfav</i>      | <i>fav</i> |               | <i>sfav</i>            | <i>fav</i> | <i>sfav</i> | <i>fav</i> | <i>sfav</i> | <i>fav</i> | $\psi_0$             | $\psi_1$ |
| massima azione verticale e laterale | <i>Gruppo1</i>   | 1                | 1          | 0             | 0.5                    | 0          | 1           | 0          | 1           | 0          | 0.8                  | 0.8      |
| stabilità laterale                  | <i>Gruppo2</i>   | 0                | 0          | 1             | 0                      | 0          | 1           | 0          | 1           | 0          | 0.8                  | 0.8      |
| massima azione longitudinale        | <i>Gruppo3</i>   | 1                | 0.5        | 0             | 1                      | 1          | 0.5         | 0          | 0.5         | 0          | 0.8                  | 0.8      |
| fessurazione                        | <i>Gruppo4</i>   | 0.8              | 0.6        | 0             | 0.8                    | 0.6        | 0.8         | 0.6        | 0.8         | 0.6        | 1                    | 1        |

| S.L.U                  |          |      |         |      |         |      |         |      |         |      |             |      |      |      |
|------------------------|----------|------|---------|------|---------|------|---------|------|---------|------|-------------|------|------|------|
| VARIABILE PRINCIPALE:  | TRAFFICO |      |         |      |         |      |         |      | VENTO   |      | TEMPERATURA |      |      |      |
| CARICHI                | SW2      |      |         |      | LM71    |      |         |      | STR.    |      | SW2         |      | LM71 |      |
|                        | GRUPPO1  |      | GRUPPO3 |      | GRUPPO1 |      | GRUPPO3 |      | SCARICA |      | GR1         | GR3  | GR1  | GR3  |
| <i>combinazioni</i>    | 01       | 02   | 03      | 04   | 05      | 06   | 07      | 08   | 09      | 10   | 11          | 12   | 13   | 14   |
| Peso Proprio (G1)      | 1.35     | 1.35 | 1.35    | 1.35 | 1.35    | 1.35 | 1.35    | 1.35 | 1.35    | 1.35 | 1.35        | 1.35 | 1.35 | 1.35 |
| Permanent Portati (G2) | 1.5      | 1.5  | 1.5     | 1.5  | 1.5     | 1.5  | 1.5     | 1.5  | 1.5     | 1.5  | 1.5         | 1.5  | 1.5  | 1.5  |
| SW2                    | 1.45     | 1.45 | 1.45    | 1.45 | 1.45    | 1.45 | 1.45    | 1.45 | 0       | 0    | 1.16        | 1.16 | 1.16 | 1.16 |
| LM71                   | 0        | 0    | 0       | 0    | 1.45    | 1.45 | 1.45    | 1.45 | 0       | 0    | 0           | 0    | 1.16 | 1.16 |
| Serp_SW2               | 1.45     | 1.45 | 0.73    | 0.73 | 1.45    | 1.45 | 0.73    | 0.73 | 0       | 0    | 1.16        | 0.58 | 1.16 | 0.58 |
| Serp_LM71              | 0        | 0    | 0       | 0    | 1.45    | 1.45 | 0.73    | 0.73 | 0       | 0    | 0           | 0    | 1.16 | 0.58 |
| F-A_SW2                | 0.73     | 0.73 | 1.45    | 1.45 | 0.73    | 0.73 | 1.45    | 1.45 | 0       | 0    | 0.58        | 1.16 | 0.58 | 1.16 |
| F-A_LM71               | 0        | 0    | 0       | 0    | 0.73    | 0.73 | 1.45    | 1.45 | 0       | 0    | 0           | 0    | 0.58 | 1.16 |
| centrifuga_SW2         | 1.45     | 1.45 | 0.73    | 0.73 | 1.45    | 1.45 | 0.73    | 0.73 | 0       | 0    | 1.16        | 0.58 | 1.16 | 0.58 |
| centrifuga_LM71        | 0        | 0    | 0       | 0    | 1.45    | 1.45 | 0.73    | 0.73 | 0       | 0    | 0           | 0    | 1.16 | 0.58 |
| Eff_aerodinamici       | 1.5      | 1.5  | 1.5     | 1.5  | 1.5     | 1.5  | 1.5     | 1.5  | 0       | 0    | 1.20        | 1.20 | 1.20 | 1.20 |
| Vento_scarico          | 0.9      | 0.9  | 0.9     | 0.9  | 0.9     | 0.9  | 0.9     | 0.9  | 1.5     | 1.5  | 0.9         | 0.9  | 0.9  | 0.9  |
| Vento_carico           | 0.9      | 0.9  | 0.9     | 0.9  | 0.9     | 0.9  | 0.9     | 0.9  | 0       | 0    | 0.9         | 0.9  | 0.9  | 0.9  |
| Temp_SLU               | 0        | 0.9  | 0       | 0.9  | 0       | 0.9  | 0       | 0.9  | 0       | 0.9  | 1.5         | 1.5  | 1.5  | 1.5  |



## 6 SEZIONI ELEMENTI IMPALCATO

- TRAVI PRINCIPALI:

Section Name: **TRAVE** Display Color: ■

Section Notes:

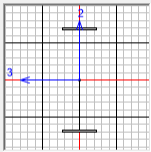
**Dimensions**

|                                 |      |
|---------------------------------|------|
| Outside height ( t3 )           | 2.1  |
| Top flange width ( t2 )         | 0.7  |
| Top flange thickness ( tf )     | 0.03 |
| Web thickness ( tw )            | 0.02 |
| Bottom flange width ( t2b )     | 0.7  |
| Bottom flange thickness ( tfb ) | 0.03 |

**Material**: + S355

**Property Modifiers**:

**Section**



**Properties**

**Property Data**

Section Name: **TRAVE**

**Properties**

|                                |           |                                 |           |
|--------------------------------|-----------|---------------------------------|-----------|
| Cross-section (axial) area     | 0.0828    | Section modulus about 3 axis    | 0.0563    |
| Moment of Inertia about 3 axis | 0.0591    | Section modulus about 2 axis    | 4.904E-03 |
| Moment of Inertia about 2 axis | 1.716E-03 | Plastic modulus about 3 axis    | 0.0643    |
| Product of Inertia about 2-3   | 0.        | Plastic modulus about 2 axis    | 7.554E-03 |
| Shear area in 2 direction      | 0.042     | Radius of Gyration about 3 axis | 0.8452    |
| Shear area in 3 direction      | 0.035     | Radius of Gyration about 2 axis | 0.144     |
| Torsional constant             | 1.767E-05 | Shear Center Eccentricity (x3)  | 0.        |

- TRAVI TRASVERSALI:

Section Name: **TRAVERSI** Display Color: ■

Section Notes:

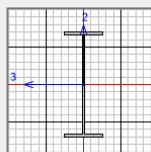
**Dimensions**

|                                 |      |
|---------------------------------|------|
| Outside height ( t3 )           | 1.1  |
| Top flange width ( t2 )         | 0.4  |
| Top flange thickness ( tf )     | 0.03 |
| Web thickness ( tw )            | 0.02 |
| Bottom flange width ( t2b )     | 0.4  |
| Bottom flange thickness ( tfb ) | 0.03 |

**Material**: + S355

**Property Modifiers**:

**Section**



**Properties**

**Property Data**

Section Name: **TRAVERSI**

**Properties**

|                                |           |                                 |           |
|--------------------------------|-----------|---------------------------------|-----------|
| Cross-section (axial) area     | 0.0448    | Section modulus about 3 axis    | 0.0159    |
| Moment of Inertia about 3 axis | 8.746E-03 | Section modulus about 2 axis    | 1.603E-03 |
| Moment of Inertia about 2 axis | 3.207E-04 | Plastic modulus about 3 axis    | 0.0182    |
| Product of Inertia about 2-3   | 0.        | Plastic modulus about 2 axis    | 2.504E-03 |
| Shear area in 2 direction      | 0.022     | Radius of Gyration about 3 axis | 0.4418    |
| Shear area in 3 direction      | 0.02      | Radius of Gyration about 2 axis | 0.0846    |
| Torsional constant             | 9.600E-06 | Shear Center Eccentricity (x3)  | 0.        |

- LONGHERINE

Section Name: **LONGHERINE** Display Color: ■

Section Notes:

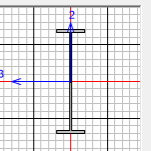
**Dimensions**

|                                 |      |
|---------------------------------|------|
| Outside height ( t3 )           | 1.1  |
| Top flange width ( t2 )         | 0.3  |
| Top flange thickness ( tf )     | 0.03 |
| Web thickness ( tw )            | 0.02 |
| Bottom flange width ( t2b )     | 0.3  |
| Bottom flange thickness ( tfb ) | 0.03 |

**Material**: + S355

**Property Modifiers**:

**Section**



**Properties**

**Property Data**

Section Name: **LONGHERINE**

**Properties**

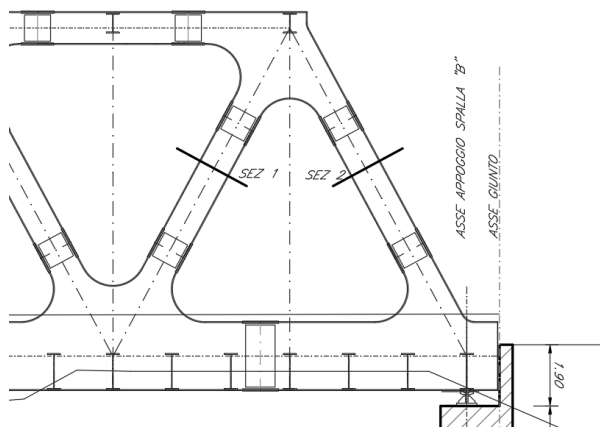
|                                |           |                                 |           |
|--------------------------------|-----------|---------------------------------|-----------|
| Cross-section (axial) area     | 0.0388    | Section modulus about 3 axis    | 0.0128    |
| Moment of Inertia about 3 axis | 7.028E-03 | Section modulus about 2 axis    | 9.046E-04 |
| Moment of Inertia about 2 axis | 1.357E-04 | Plastic modulus about 3 axis    | 0.015     |
| Product of Inertia about 2-3   | 0.        | Plastic modulus about 2 axis    | 1.454E-03 |
| Shear area in 2 direction      | 0.022     | Radius of Gyration about 3 axis | 0.4256    |
| Shear area in 3 direction      | 0.015     | Radius of Gyration about 2 axis | 0.0591    |
| Torsional constant             | 7.800E-06 | Shear Center Eccentricity (x3)  | 0.        |

- VASCA PORTABALLAST

La piastra metallica, posizionata su traversi e longherine ha uno spessore pari a 30mm.

• DIAGONALI

Tutti i diagonali hanno medesima sezione (sez 1) eccetto quelli alle estremità (sez.2).



**Section Name** PARETI SEZ 1 **Display Color** [Magenta]

**Section Notes** [Modify/Show Notes...]

**Dimensions**

|                                 |      |
|---------------------------------|------|
| Outside height ( t3 )           | 1.   |
| Top flange width ( t2 )         | 0.8  |
| Top flange thickness ( tf )     | 0.03 |
| Web thickness ( tw )            | 0.02 |
| Bottom flange width ( t2b )     | 0.8  |
| Bottom flange thickness ( tfb ) | 0.03 |

**Material** S355

**Property Modifiers** [Set Modifiers...]

**Section** [Diagram showing section geometry]

**Properties** [Section Properties... Time Dependent Properties...]

**Property Data**

**Section Name** PARETI

**Properties**

|                                |           |                                 |           |
|--------------------------------|-----------|---------------------------------|-----------|
| Cross-section (axial) area     | 0.0668    | Section modulus about 3 axis    | 0.0254    |
| Moment of Inertia about 3 axis | 0.0127    | Section modulus about 2 axis    | 6.402E-03 |
| Moment of Inertia about 2 axis | 2.561E-03 | Plastic modulus about 3 axis    | 0.0277    |
| Product of Inertia about 2-3   | 0.        | Plastic modulus about 2 axis    | 9.694E-03 |
| Shear area in 2 direction      | 0.02      | Radius of Gyration about 3 axis | 0.4357    |
| Shear area in 3 direction      | 0.04      | Radius of Gyration about 2 axis | 0.1958    |
| Torsional constant             | 1.653E-05 | Shear Center Eccentricity (x3)  | 0.        |

**Section Name** Pareti SEZ 2 **Display Color** [Cyan]

**Section Notes** [Modify/Show Notes...]

**Dimensions**

|                                 |      |
|---------------------------------|------|
| Outside height ( t3 )           | 1.   |
| Top flange width ( t2 )         | 0.8  |
| Top flange thickness ( tf )     | 0.04 |
| Web thickness ( tw )            | 0.02 |
| Bottom flange width ( t2b )     | 0.8  |
| Bottom flange thickness ( tfb ) | 0.04 |

**Material** S355

**Property Modifiers** [Set Modifiers...]

**Section** [Diagram showing section geometry]

**Properties** [Section Properties... Time Dependent Properties...]

**Property Data**

**Section Name** Pareti SEZ 2

**Properties**

|                                |           |                                 |           |
|--------------------------------|-----------|---------------------------------|-----------|
| Cross-section (axial) area     | 0.0824    | Section modulus about 3 axis    | 0.0321    |
| Moment of Inertia about 3 axis | 0.0161    | Section modulus about 2 axis    | 8.535E-03 |
| Moment of Inertia about 2 axis | 3.414E-03 | Plastic modulus about 3 axis    | 0.035     |
| Product of Inertia about 2-3   | 0.        | Plastic modulus about 2 axis    | 0.0129    |
| Shear area in 2 direction      | 0.02      | Radius of Gyration about 3 axis | 0.4414    |
| Shear area in 3 direction      | 0.0533    | Radius of Gyration about 2 axis | 0.2035    |
| Torsional constant             | 3.548E-05 | Shear Center Eccentricity (x3)  | 0.        |



• CONTROVENTI:

Section Name: 2L150X15/6/ Display Color: [X]

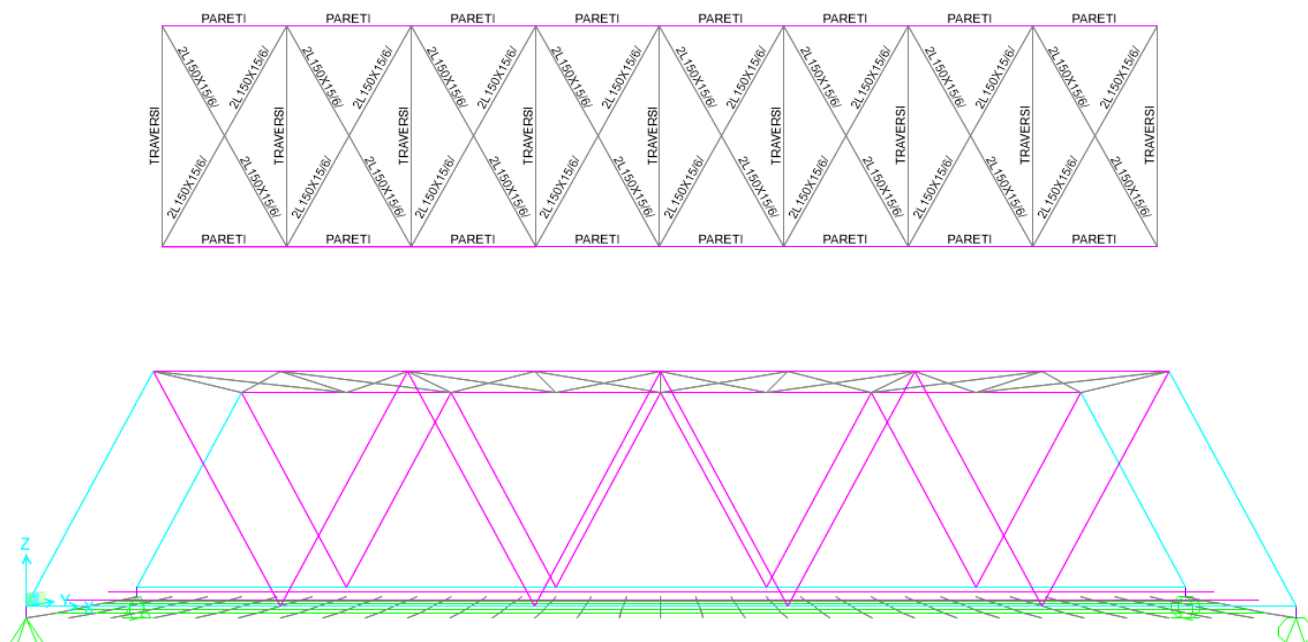
Property Data

Section Name: [X]

Properties

|                                |           |                                 |           |
|--------------------------------|-----------|---------------------------------|-----------|
| Cross-section (axial) area     | 8.605E-03 | Section modulus about 3 axis    | 1.670E-04 |
| Moment of Inertia about 3 axis | 1.796E-05 | Section modulus about 2 axis    | 2.337E-04 |
| Moment of Inertia about 2 axis | 3.575E-05 | Plastic modulus about 3 axis    | 3.070E-04 |
| Product of Inertia about 2-3   | 0.        | Plastic modulus about 2 axis    | 3.913E-04 |
| Shear area in 2 direction      | 4.500E-03 | Radius of Gyration about 3 axis | 0.0457    |
| Shear area in 3 direction      | 3.735E-03 | Radius of Gyration about 2 axis | 0.0645    |
| Torsional constant             | 6.413E-07 | Shear Center Eccentricity (x3)  | 0.        |

Sono posizionati solo nel piano tra le briglie superiori:



## 7 VERIFICHE SLU

Si riportano di seguito le verifiche agli SLU dei singoli elementi costituenti l'impalcato.

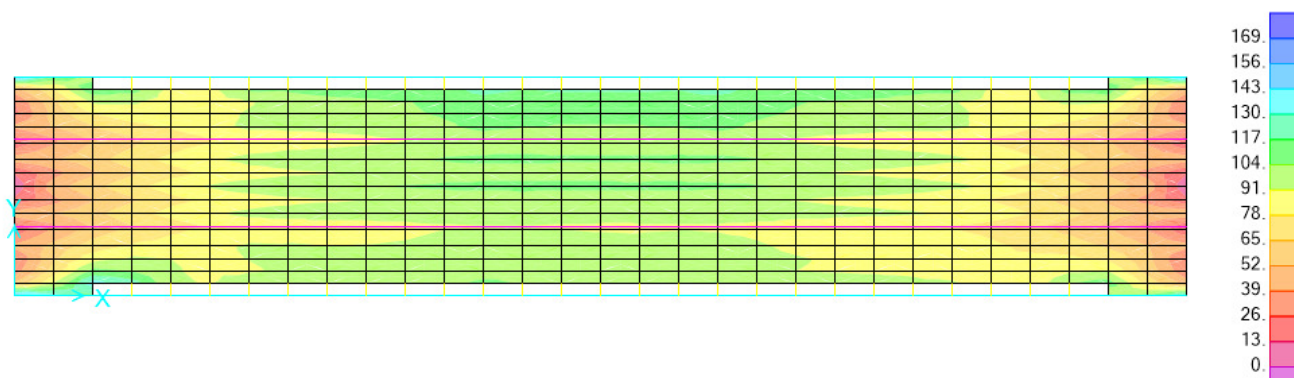
### 7.1 PIASTRA CON NERVATURE LONGITUDINALI

#### 7.1.1 Verifiche di resistenza - SLU

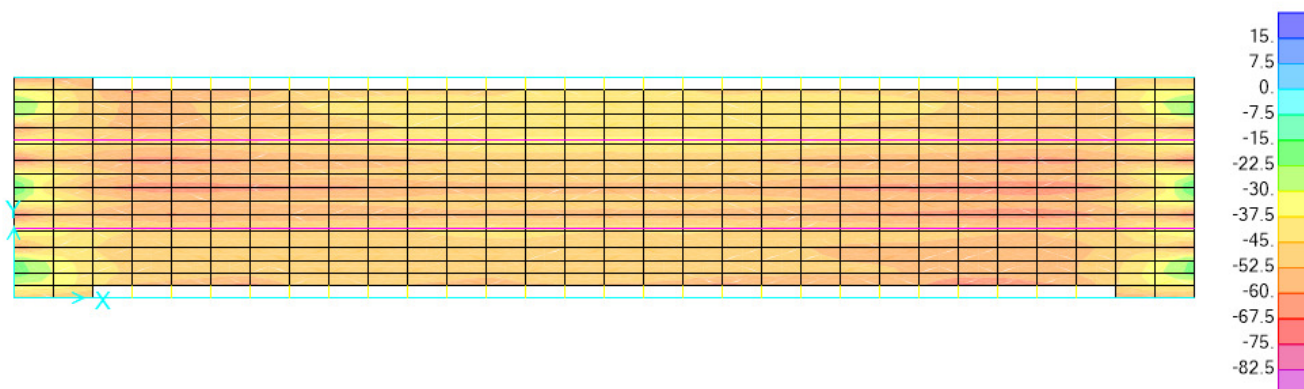
Viene prevista una vasca portaballast in carpenteria metallica di spessore costante pari a 30mm.

Di seguito viene riportata la mappatura delle tensioni ottenute sommando in combinazione allo SLU gli effetti dei carichi permanenti e dei carichi da traffico con i coefficienti dinamici definiti.

Stress S11 Diagram - Abs Max (COMB TOT - Max)



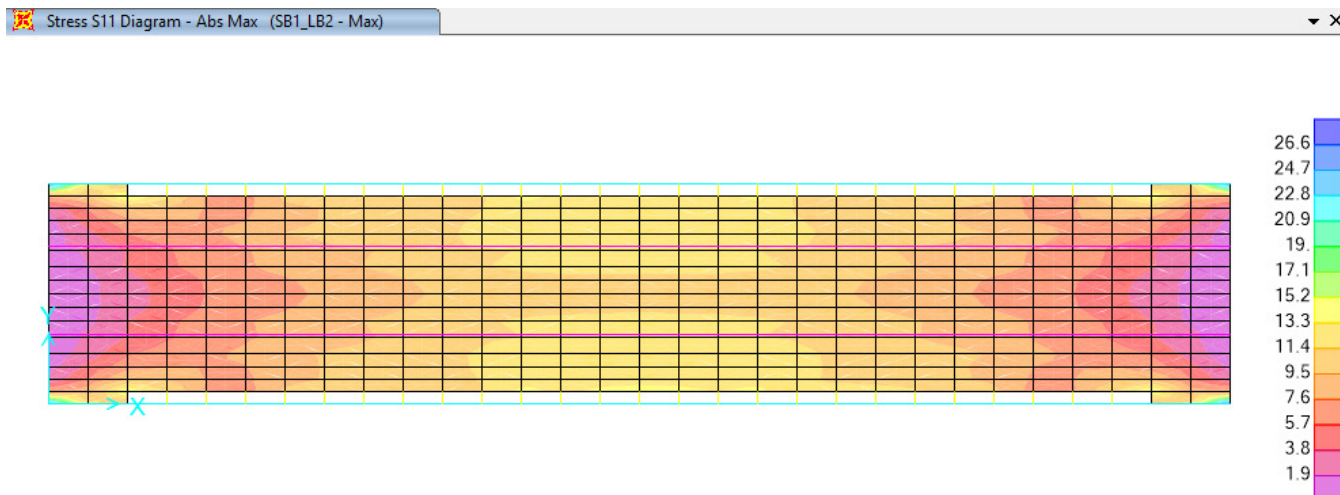
Stress S11 Diagram - Abs Max (COMB TOT - Min)



Il valore massimo riscontrato, trascurando effetti puntuali dovuti alla modellazione, è pari a 170MPa < 355Mpa.

Le verifiche di resistenza risultano pertanto soddisfatte.

Considerando solo lo stato tensionale associato ai treni, le tensioni normali massime risultano pari a 27 Mpa.



Considerando come particolare a fatica  $\Delta\sigma = 80$  MPa la verifica risulta soddisfatta:  $27\text{Mpa} < 80/1.35 = 59.2$  MPa.

Il dettaglio di fatica dimensionante è quello relativo ai connettori saldati sulla piastra, dal Manuale di progettazione RFI [N3]:

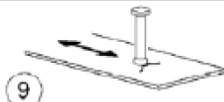
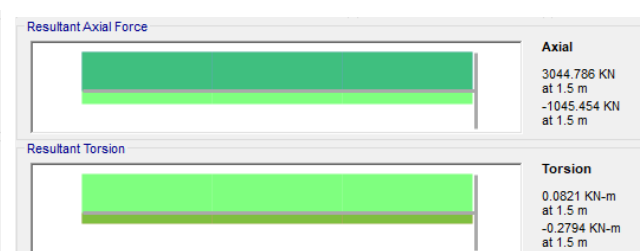
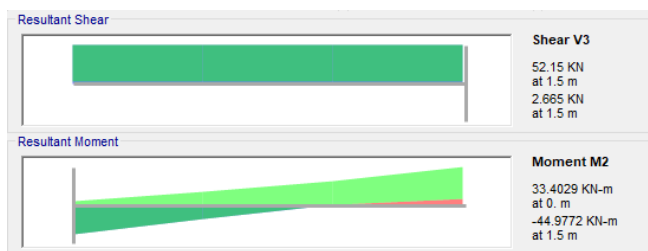
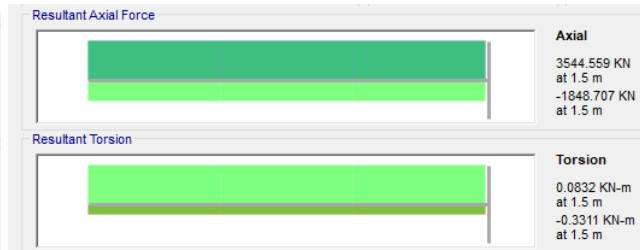
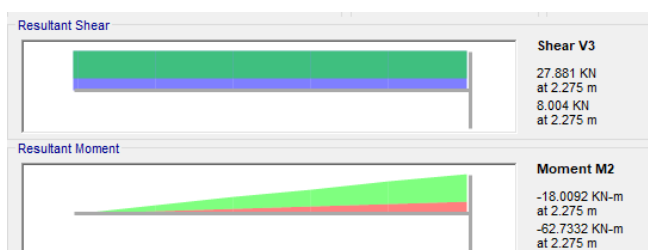
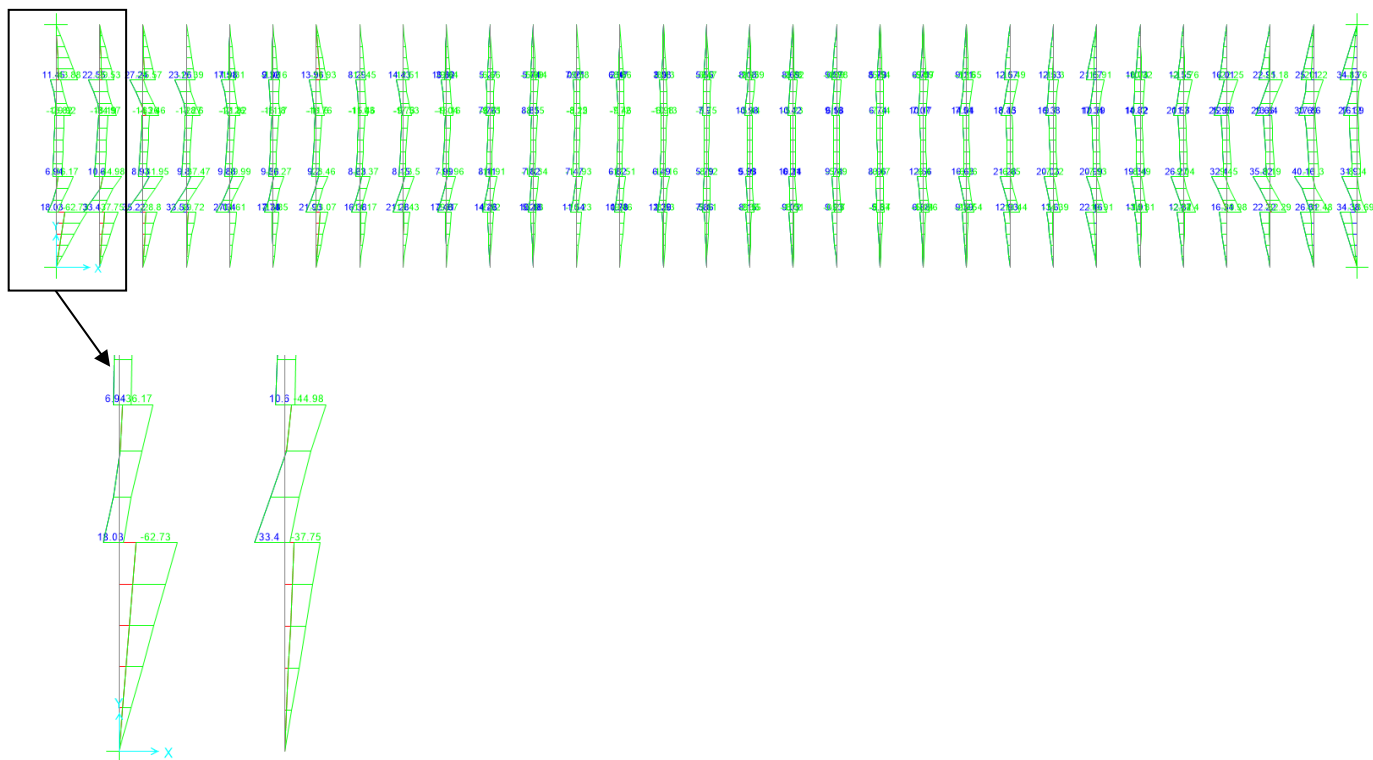
|    |                                                                                     |                                                                       |  |
|----|-------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------|--|
| 80 |  | 9) effetto della saldatura del piolo sul materiale base della piastra |  |
|----|-------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------|--|

Tabella 2-5.a – Connessioni saldate direttamente sollecitate ( $\Delta\sigma$ )

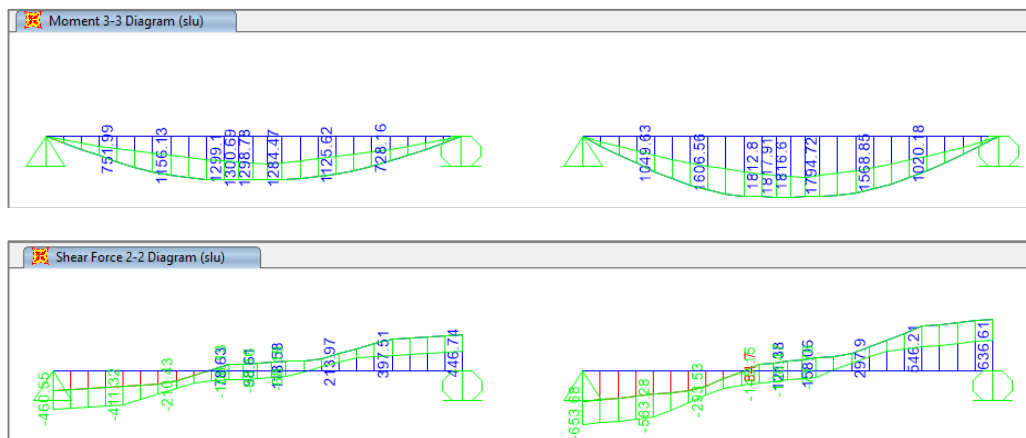
## 7.2 TRAVERSI

### 7.2.1 Verifiche di resistenza – SLU (metodo elastico)

Di seguito le sollecitazioni nel piano ricavate dal modello globale con applicazione di tutti i carichi combinati allo SLU, si evince che i traversi maggiormente sollecitati sono quello di testata e il successivo:



A queste sollecitazioni vanno sommate quelle nel piano verticale estrapolate da un modello locale.



| TRAVERSO DI TESTATA                |                    |              |
|------------------------------------|--------------------|--------------|
| Caratteristiche del profilo forato |                    |              |
| A <sub>NETTA</sub>                 | m <sup>2</sup>     | 0.336        |
| A <sub>anima,NETTA</sub>           | m <sup>2</sup>     | 0.0156       |
| A <sub>ali,NETTA</sub>             | m <sup>2</sup>     | 0.0180       |
| W <sub>x,NETTA</sub>               | m <sup>3</sup>     | 0.0119       |
| W <sub>y, LORDA</sub>              | m <sup>3</sup>     | 1.603E-03    |
| Locali                             |                    |              |
| M <sub>x</sub>                     | KNm                | 1299         |
| T <sub>y</sub>                     | kN                 | 461          |
| σ <sub>Mx</sub>                    | N/mm <sup>2</sup>  | 108.93       |
| τ <sub>y</sub>                     | N/mm <sup>2</sup>  | 29.55        |
| σ <sub>ID_(anima-piatt.)</sub>     | N/mm <sup>2</sup>  | 120.36       |
| Globali                            |                    |              |
| N                                  | KN                 | 3544         |
| M <sub>y</sub>                     | KNm                | 62.73        |
| T <sub>x</sub>                     | kN                 | 27.88        |
| σ <sub>N</sub>                     | N/mm <sup>2</sup>  | 10.55        |
| σ <sub>My</sub>                    | N/mm <sup>2</sup>  | 39.13        |
| τ <sub>x</sub>                     | N/mm <sup>2</sup>  | 1.55         |
| σ <sub>tot</sub>                   | N/mm <sup>2</sup>  | 158.61       |
| σ <sub>ID_(bordo ala)</sub>        | N/mm <sup>2</sup>  | <b>158.6</b> |
| γ <sub>M2</sub> =                  | -                  | 1.25         |
| f <sub>yk</sub> =                  | N/mm <sup>2</sup>  | 275          |
| f <sub>yd</sub> =                  | N/mm <sup>2</sup>  | <b>220</b>   |
| <b>Verifica</b>                    | <b>soddisfatta</b> |              |

| TRAVERSO INTERMEDIO            |                    |              |
|--------------------------------|--------------------|--------------|
| Caratteristiche del profilo    |                    |              |
| A <sub>NETTA</sub>             | m <sup>2</sup>     | 0.336        |
| A <sub>anima,NETTA</sub>       | m <sup>2</sup>     | 0.0156       |
| A <sub>ali,NETTA</sub>         | m <sup>2</sup>     | 0.0180       |
| W <sub>x,NETTA</sub>           | m <sup>3</sup>     | 0.0119       |
| W <sub>y, LORDA</sub>          | m <sup>3</sup>     | 1.603E-03    |
| Locali                         |                    |              |
| M <sub>x</sub>                 | KNm                | 1816.6       |
| T <sub>y</sub>                 | kN                 | 636.6        |
| σ <sub>Mx</sub>                | N/mm <sup>2</sup>  | 152.34       |
| τ <sub>y</sub>                 | N/mm <sup>2</sup>  | 40.81        |
| σ <sub>ID_(anima-piatt.)</sub> | N/mm <sup>2</sup>  | 167.93       |
| Globali                        |                    |              |
| N                              | KN                 | 3045         |
| M <sub>y</sub>                 | KNm                | 45.0         |
| T <sub>x</sub>                 | kN                 | 52.2         |
| σ <sub>N</sub>                 | N/mm <sup>2</sup>  | 9.06         |
| σ <sub>My</sub>                | N/mm <sup>2</sup>  | 28.07        |
| τ <sub>x</sub>                 | N/mm <sup>2</sup>  | 2.90         |
| σ <sub>tot</sub>               | N/mm <sup>2</sup>  | 189.47       |
| σ <sub>ID_(bordo ala)</sub>    | N/mm <sup>2</sup>  | <b>189.5</b> |
| γ <sub>M0</sub> =              | -                  | 1.05         |
| f <sub>yk</sub> =              | N/mm <sup>2</sup>  | 355          |
| f <sub>yd</sub> =              | N/mm <sup>2</sup>  | <b>338</b>   |
| <b>Verifica</b>                | <b>soddisfatta</b> |              |

## 7.2.2 Verifiche a fatica

### TRAVERSO INTERMEDIO:

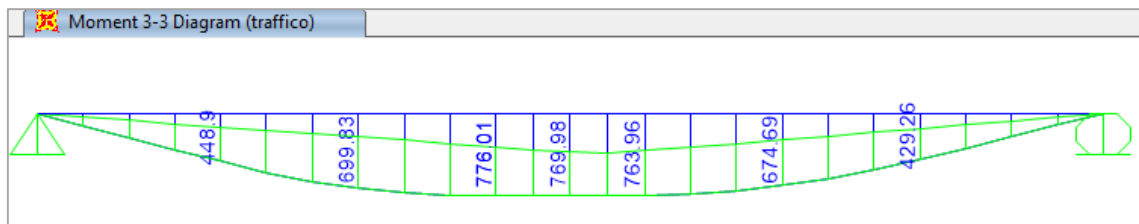
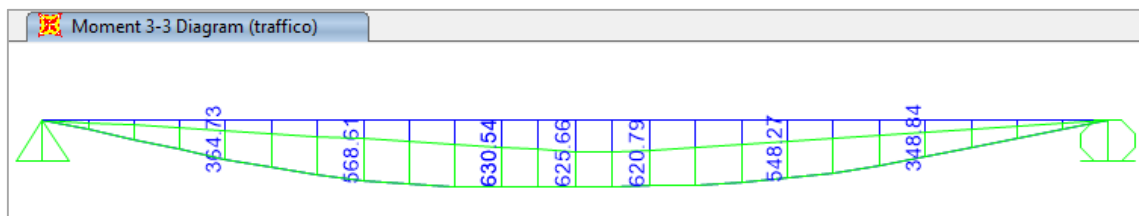


Figura 7\_Sollecitazioni relative alla combinazione di due treni

| VERIFICA A FATICA DEL PROFILO BULLONATO                                                                           |                   |        |                                                          |                   |       |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------|--------|----------------------------------------------------------|-------------------|-------|
| VERIFICA A FATICA - trasversi - verifica del profilo forato - <b>traverso intermedio</b>                          |                   |        |                                                          |                   |       |
| $\gamma_{Mf}$                                                                                                     | -                 | 1.35   |                                                          |                   |       |
| $\Delta\sigma_c$                                                                                                  | N/mm <sup>2</sup> | 125.00 |                                                          |                   |       |
| t                                                                                                                 | mm                | 30.00  |                                                          |                   |       |
| $k_s$                                                                                                             | -                 | 0.96   |                                                          |                   |       |
| $k_s \cdot \Delta\sigma_c / \gamma_{Mf}$                                                                          | N/mm <sup>2</sup> | 88.47  |                                                          |                   |       |
| EFFETTI LOCALI                                                                                                    |                   |        | EFFETTI GLOBALI                                          |                   |       |
| $\lambda_1$                                                                                                       | -                 | 0.67   | $\lambda_1$                                              | -                 | 0.63  |
| $\lambda_2$                                                                                                       | -                 | 1.00   | $\lambda_2$                                              | -                 | 1.00  |
| $\lambda_3$                                                                                                       | -                 | 1.00   | $\lambda_3$                                              | -                 | 1.00  |
| $\lambda_4$                                                                                                       | -                 | 1.00   | $\lambda_4$                                              | -                 | 1.00  |
| $\lambda_{MAX}$                                                                                                   | -                 | 1.40   | $\lambda_{MAX}$                                          | -                 | 1.40  |
| $\lambda_{Ed}$                                                                                                    | -                 | 0.67   | $\lambda_{Ed}$                                           | -                 | 0.63  |
| $\lambda$                                                                                                         | -                 | 0.67   | $\lambda$                                                | -                 | 0.63  |
| $\phi_2 \cdot \Delta\sigma_{Ed}$                                                                                  | N/mm <sup>2</sup> | 65.07  | $\phi_2 \cdot \Delta\sigma_{Ed}$                         | N/mm <sup>2</sup> | 11.34 |
| $\lambda_{loc} \cdot \phi_2 \cdot \Delta\sigma_{Ed,loc}$                                                          | N/mm <sup>2</sup> | 43.60  | $\lambda_{glo} \cdot \phi_2 \cdot \Delta\sigma_{Ed,glo}$ | N/mm <sup>2</sup> | 7.14  |
| $\lambda_{loc} \cdot \phi_2 \cdot \Delta\sigma_{Ed,loc} + \lambda_{glo} \cdot \phi_2 \cdot \Delta\sigma_{Ed,glo}$ |                   |        | N/mm <sup>2</sup>                                        |                   |       |
|                                                                                                                   |                   |        | 50.74                                                    |                   |       |
| Verifica                                                                                                          |                   |        | soddisfatta                                              |                   |       |

| Caratteristiche del profilo forato |                   |          |
|------------------------------------|-------------------|----------|
| $A_{NETTA}$                        | m <sup>2</sup>    | 3.36E-01 |
| $W_{x,NETTA}$                      | m <sup>3</sup>    | 1.19E-02 |
| $W_{y,NETTA}$                      | m <sup>3</sup>    | 1.20E-03 |
| Tensioni - LM71                    |                   |          |
| N                                  | KN                | 735      |
| $M_x$                              | KNm               | 776      |
| $M_y$                              | KNm               | 11       |
| $\sigma_N$                         | N/mm <sup>2</sup> | 2.19     |
| $\sigma_{Mx}$                      | N/mm <sup>2</sup> | 65.07    |
| $\sigma_{My}$                      | N/mm <sup>2</sup> | 9.15     |
| $\sigma_{tot}$                     | N/mm <sup>2</sup> | 76.41    |

**TRAVERSO DI TESTATA:**



| VERIFICA A FATICA DEL PROFILO BULLONATO                                                                           |          |          |                                      |          |      |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------|----------|--------------------------------------|----------|------|
| VERIFICA A FATICA - trasversi - verifica del profilo forato - <i>traverso testata</i>                             |          |          |                                      |          |      |
| $V_{Mf}$                                                                                                          | -        | 1.35     |                                      |          |      |
| $\Delta\sigma_c$                                                                                                  | $N/mm^2$ | 160.00   |                                      |          |      |
| $t$                                                                                                               | mm       | 30.00    |                                      |          |      |
| $k_s$                                                                                                             | -        | 0.96     |                                      |          |      |
| $k_s \cdot \Delta\sigma_c / \gamma_{Mf}$                                                                          | $N/mm^2$ | 113.24   |                                      |          |      |
| EFFETTI LOCALI                                                                                                    |          |          | EFFETTI GLOBALI                      |          |      |
| $\lambda_1$                                                                                                       | -        | 1.15     | $\lambda_1$                          | -        | 0.63 |
| $\lambda_2$                                                                                                       | -        | 1.00     | $\lambda_2$                          | -        | 1.00 |
| $\lambda_3$                                                                                                       | -        | 1.00     | $\lambda_3$                          | -        | 1.00 |
| $\lambda_4$                                                                                                       | -        | 1.00     | $\lambda_4$                          | -        | 1.00 |
| $\lambda_{MAX}$                                                                                                   | -        | 1.40     | $\lambda_{MAX}$                      | -        | 1.40 |
| $\lambda_{Ed}$                                                                                                    | -        | 1.15     | $\lambda_{Ed}$                       | -        | 0.63 |
| $\lambda$                                                                                                         | -        | 1.15     | $\lambda$                            | -        | 0.63 |
| $\phi_2 \cdot \Delta\sigma_{Ed}$                                                                                  | $N/mm^2$ | 52.83    | $\phi_2 \cdot \Delta\sigma_{Ed}$     | $N/mm^2$ | 7.15 |
| $\lambda_{loc} \cdot \phi_2 \cdot \Delta\sigma_{Ed,loc}$                                                          | $N/mm^2$ | 60.75    | $\phi_2 \cdot \Delta\sigma_{Ed,glo}$ | $N/mm^2$ | 4.51 |
| $\lambda_{loc} \cdot \phi_2 \cdot \Delta\sigma_{Ed,loc} + \lambda_{glo} \cdot \phi_2 \cdot \Delta\sigma_{Ed,glo}$ |          | $N/mm^2$ | 65.26                                |          |      |
| Verifica                                                                                                          |          |          | soddisfatta                          |          |      |

| Caratteristiche del profilo forato |          |          |
|------------------------------------|----------|----------|
| $A_{NETTA}$                        | $m^2$    | 3.36E-01 |
| $W_{x,NETTA}$                      | $m^3$    | 1.19E-02 |
| $W_{y,NETTA}$                      | $m^3$    | 1.20E-03 |
| Tensioni - LM71                    |          |          |
| $N$                                | KN       | 643      |
| $M_x$                              | KNm      | 630      |
| $M_y$                              | KNm      | 6        |
| $\sigma_N$                         | $N/mm^2$ | 1.91     |
| $\sigma_{Mx}$                      | $N/mm^2$ | 52.83    |
| $\sigma_{My}$                      | $N/mm^2$ | 5.24     |
| $\sigma_{tot}$                     | $N/mm^2$ | 59.98    |



## 7.3 TRAVI PRINCIPALI E CONTROVENTI

### 7.3.1 Verifiche di resistenza e di instabilità travi principali – SLU

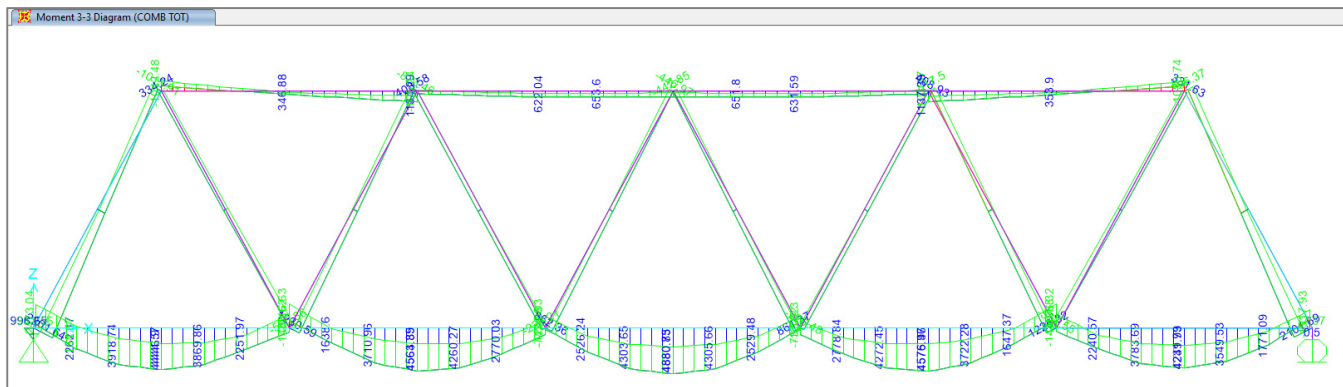


Figura 8\_Sollecitazioni flettenti max parete comb. SLU

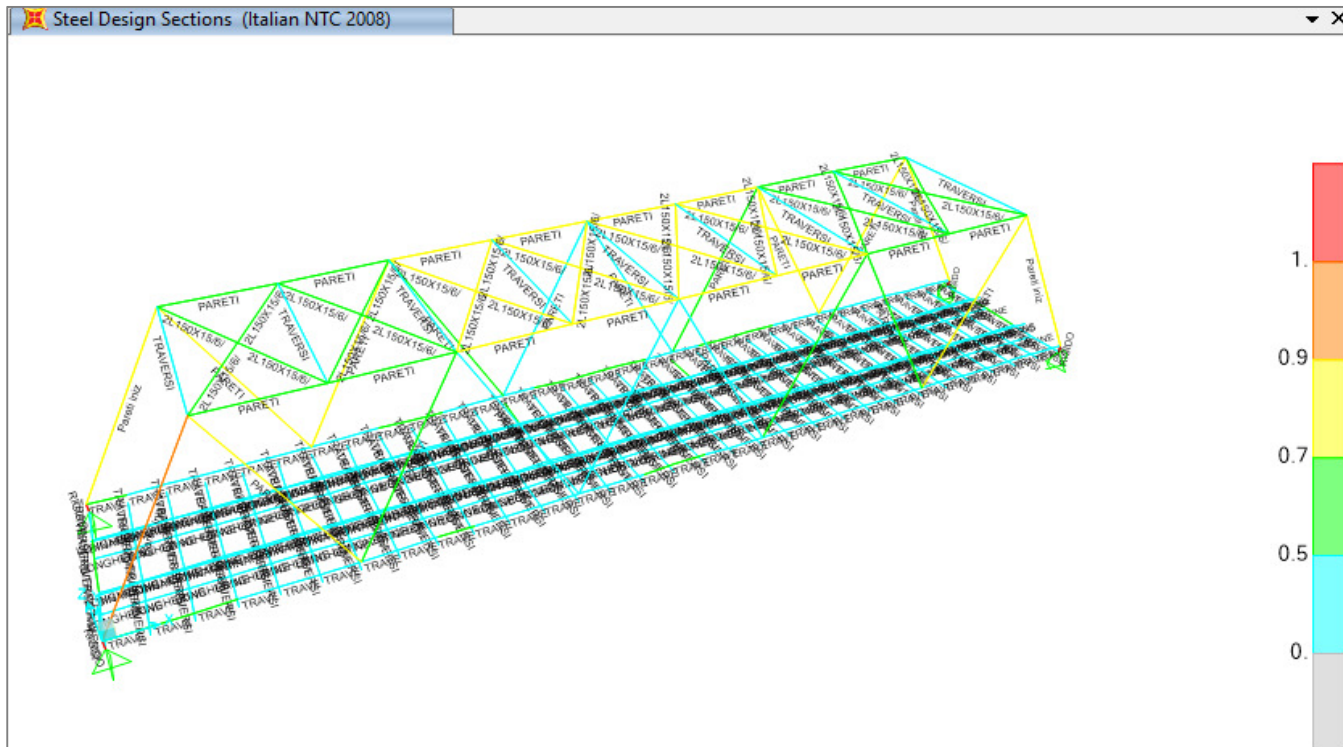


Figura 9\_Verifica di resistenza valida per elementi di parete (modello globale)

Le verifiche di resistenza degli elementi costituenti le pareti, risultano soddisfatte. Di seguito si riportano i coefficienti relativi ai tassi di lavoro ("Ratio" <1) per tutti gli elementi costituenti le pareti della travata metallica ed i controventi.

**TABLE: Steel Design 1 - Summary Data - Italian NTC 2008**

| Frame | DesignSect  | DesignType | Status      | Ratio    | RatioType | Combo    | Location |
|-------|-------------|------------|-------------|----------|-----------|----------|----------|
| Text  | Text        | Text       | Text        | Unitless | Text      | Text     | m        |
| 2     | Pareti iniz | Brace      | No Messages | 0.901093 | PMM       | COMB TOT | 0        |
| 3     | PARETI      | Brace      | No Messages | 0.734434 | PMM       | COMB TOT | 11.36486 |
| 4     | PARETI      | Brace      | No Messages | 0.661449 | PMM       | COMB TOT | 0        |
| 5     | PARETI      | Brace      | No Messages | 0.494372 | PMM       | COMB TOT | 11.36486 |
| 6     | PARETI      | Brace      | No Messages | 0.415296 | PMM       | COMB TOT | 0        |
| 7     | PARETI      | Brace      | No Messages | 0.420345 | PMM       | COMB TOT | 11.36486 |
| 8     | PARETI      | Brace      | No Messages | 0.506239 | PMM       | COMB TOT | 0        |
| 9     | PARETI      | Brace      | No Messages | 0.6711   | PMM       | COMB TOT | 11.36486 |
| 10    | PARETI      | Brace      | No Messages | 0.742782 | PMM       | COMB TOT | 0        |
| 11    | Pareti iniz | Brace      | No Messages | 0.864746 | PMM       | COMB TOT | 11.36486 |
| 14    | Pareti iniz | Brace      | No Messages | 0.845097 | PMM       | COMB TOT | 0        |
| 15    | PARETI      | Brace      | No Messages | 0.86742  | PMM       | COMB TOT | 11.36486 |
| 16    | PARETI      | Brace      | No Messages | 0.741452 | PMM       | COMB TOT | 0        |
| 17    | PARETI      | Brace      | No Messages | 0.589316 | PMM       | COMB TOT | 11.36486 |
| 18    | PARETI      | Brace      | No Messages | 0.493964 | PMM       | COMB TOT | 0        |
| 19    | PARETI      | Brace      | No Messages | 0.491786 | PMM       | COMB TOT | 11.36486 |
| 20    | PARETI      | Brace      | No Messages | 0.58419  | PMM       | COMB TOT | 0        |
| 21    | PARETI      | Brace      | No Messages | 0.730853 | PMM       | COMB TOT | 11.36486 |
| 22    | PARETI      | Brace      | No Messages | 0.850458 | PMM       | COMB TOT | 0        |
| 23    | Pareti iniz | Brace      | No Messages | 0.864263 | PMM       | COMB TOT | 11.36486 |
| 70    | TRAVE       | Beam       | No Messages | 0.553766 | PMM       | COMB TOT | 0.1      |
| 71    | TRAVE       | Beam       | No Messages | 0.52664  | PMM       | COMB TOT | 1.8      |
| 72    | TRAVE       | Beam       | No Messages | 0.516401 | PMM       | COMB TOT | 1.8      |
| 73    | TRAVE       | Beam       | No Messages | 0.497952 | PMM       | COMB TOT | 0        |
| 74    | TRAVE       | Beam       | No Messages | 0.430513 | PMM       | COMB TOT | 0        |
| 75    | TRAVE       | Beam       | No Messages | 0.360448 | PMM       | COMB TOT | 0.45     |
| 76    | TRAVE       | Beam       | No Messages | 0.494791 | PMM       | COMB TOT | 0        |
| 77    | TRAVE       | Beam       | No Messages | 0.480355 | PMM       | COMB TOT | 1.8      |
| 78    | TRAVE       | Beam       | No Messages | 0.506492 | PMM       | COMB TOT | 1.8      |
| 79    | TRAVE       | Beam       | No Messages | 0.494124 | PMM       | COMB TOT | 0        |
| 80    | TRAVE       | Beam       | No Messages | 0.465095 | PMM       | COMB TOT | 0        |
| 81    | TRAVE       | Beam       | No Messages | 0.374    | PMM       | COMB TOT | 0        |
| 82    | TRAVE       | Beam       | No Messages | 0.416891 | PMM       | COMB TOT | 1.8      |
| 83    | TRAVE       | Beam       | No Messages | 0.490964 | PMM       | COMB TOT | 1.8      |
| 84    | TRAVE       | Beam       | No Messages | 0.516703 | PMM       | COMB TOT | 1.8      |
| 85    | TRAVE       | Beam       | No Messages | 0.514258 | PMM       | COMB TOT | 0        |

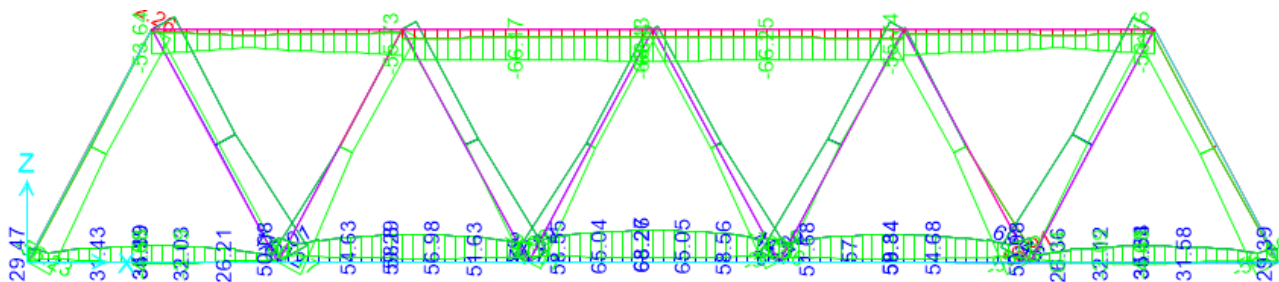
|     |       |      |             |          |     |          |      |
|-----|-------|------|-------------|----------|-----|----------|------|
| 86  | TRAVE | Beam | No Messages | 0.485507 | PMM | COMB TOT | 0    |
| 87  | TRAVE | Beam | No Messages | 0.409073 | PMM | COMB TOT | 0    |
| 88  | TRAVE | Beam | No Messages | 0.362207 | PMM | COMB TOT | 1.8  |
| 89  | TRAVE | Beam | No Messages | 0.450047 | PMM | COMB TOT | 1.8  |
| 90  | TRAVE | Beam | No Messages | 0.477066 | PMM | COMB TOT | 1.8  |
| 91  | TRAVE | Beam | No Messages | 0.488138 | PMM | COMB TOT | 0    |
| 92  | TRAVE | Beam | No Messages | 0.45968  | PMM | COMB TOT | 0    |
| 93  | TRAVE | Beam | No Messages | 0.466664 | PMM | COMB TOT | 1.8  |
| 94  | TRAVE | Beam | No Messages | 0.381585 | PMM | COMB TOT | 0    |
| 95  | TRAVE | Beam | No Messages | 0.4128   | PMM | COMB TOT | 0    |
| 96  | TRAVE | Beam | No Messages | 0.418263 | PMM | COMB TOT | 1.8  |
| 97  | TRAVE | Beam | No Messages | 0.432325 | PMM | COMB TOT | 0    |
| 98  | TRAVE | Beam | No Messages | 0.408425 | PMM | COMB TOT | 0    |
| 99  | TRAVE | Beam | No Messages | 0.476175 | PMM | COMB TOT | 1.7  |
| 104 | TRAVE | Beam | No Messages | 0.537624 | PMM | COMB TOT | 0.1  |
| 105 | TRAVE | Beam | No Messages | 0.44561  | PMM | COMB TOT | 1.8  |
| 106 | TRAVE | Beam | No Messages | 0.464838 | PMM | COMB TOT | 1.8  |
| 107 | TRAVE | Beam | No Messages | 0.455594 | PMM | COMB TOT | 0    |
| 108 | TRAVE | Beam | No Messages | 0.410378 | PMM | COMB TOT | 0.45 |
| 109 | TRAVE | Beam | No Messages | 0.359855 | PMM | COMB TOT | 0    |
| 110 | TRAVE | Beam | No Messages | 0.491855 | PMM | COMB TOT | 0    |
| 111 | TRAVE | Beam | No Messages | 0.494271 | PMM | COMB TOT | 1.8  |
| 112 | TRAVE | Beam | No Messages | 0.525393 | PMM | COMB TOT | 1.8  |
| 113 | TRAVE | Beam | No Messages | 0.521322 | PMM | COMB TOT | 0    |
| 114 | TRAVE | Beam | No Messages | 0.497287 | PMM | COMB TOT | 0    |
| 115 | TRAVE | Beam | No Messages | 0.411424 | PMM | COMB TOT | 0    |
| 116 | TRAVE | Beam | No Messages | 0.461073 | PMM | COMB TOT | 1.8  |
| 117 | TRAVE | Beam | No Messages | 0.539026 | PMM | COMB TOT | 1.8  |
| 118 | TRAVE | Beam | No Messages | 0.569677 | PMM | COMB TOT | 1.8  |
| 119 | TRAVE | Beam | No Messages | 0.568858 | PMM | COMB TOT | 0    |
| 120 | TRAVE | Beam | No Messages | 0.5392   | PMM | COMB TOT | 0    |
| 121 | TRAVE | Beam | No Messages | 0.462757 | PMM | COMB TOT | 0    |
| 122 | TRAVE | Beam | No Messages | 0.41397  | PMM | COMB TOT | 1.8  |
| 123 | TRAVE | Beam | No Messages | 0.502889 | PMM | COMB TOT | 1.8  |
| 124 | TRAVE | Beam | No Messages | 0.52753  | PMM | COMB TOT | 1.8  |
| 125 | TRAVE | Beam | No Messages | 0.530039 | PMM | COMB TOT | 0    |
| 126 | TRAVE | Beam | No Messages | 0.499221 | PMM | COMB TOT | 0    |
| 127 | TRAVE | Beam | No Messages | 0.496701 | PMM | COMB TOT | 1.8  |
| 128 | TRAVE | Beam | No Messages | 0.340511 | PMM | COMB TOT | 0    |
| 129 | TRAVE | Beam | No Messages | 0.401207 | PMM | COMB TOT | 1.8  |
| 130 | TRAVE | Beam | No Messages | 0.440755 | PMM | COMB TOT | 1.8  |
| 131 | TRAVE | Beam | No Messages | 0.446546 | PMM | COMB TOT | 0    |

|     |             |      |             |          |     |          |         |
|-----|-------------|------|-------------|----------|-----|----------|---------|
| 132 | TRAVE       | Beam | No Messages | 0.41623  | PMM | COMB TOT | 0       |
| 133 | TRAVE       | Beam | No Messages | 0.489327 | PMM | COMB TOT | 1.7     |
| 1   | TRAVERSI    | Beam | No Messages | 0.182356 | PMM | COMB TOT | 0       |
| 12  | TRAVERSI    | Beam | No Messages | 0.026396 | PMM | COMB TOT | 0       |
| 13  | TRAVERSI    | Beam | No Messages | 0.151847 | PMM | COMB TOT | 0       |
| 24  | TRAVERSI    | Beam | No Messages | 0.038623 | PMM | COMB TOT | 1.43571 |
| 25  | TRAVERSI    | Beam | No Messages | 0.163509 | PMM | COMB TOT | 0       |
| 26  | TRAVERSI    | Beam | No Messages | 0.038615 | PMM | COMB TOT | 0       |
| 27  | TRAVERSI    | Beam | No Messages | 0.151495 | PMM | COMB TOT | 0       |
| 28  | TRAVERSI    | Beam | No Messages | 0.026179 | PMM | COMB TOT | 0       |
| 29  | TRAVERSI    | Beam | No Messages | 0.17274  | PMM | COMB TOT | 0       |
| B62 | 2L150X15/6/ | Beam | No Messages | 0.630512 | PMM | COMB TOT | 0       |
| B63 | 2L150X15/6/ | Beam | No Messages | 0.632068 | PMM | COMB TOT | 0       |
| B64 | 2L150X15/6/ | Beam | No Messages | 0.661999 | PMM | COMB TOT | 0       |
| B65 | 2L150X15/6/ | Beam | No Messages | 0.663501 | PMM | COMB TOT | 0       |
| B66 | 2L150X15/6/ | Beam | No Messages | 0.615356 | PMM | COMB TOT | 0       |
| B67 | 2L150X15/6/ | Beam | No Messages | 0.615344 | PMM | COMB TOT | 0       |
| B68 | 2L150X15/6/ | Beam | No Messages | 0.633174 | PMM | COMB TOT | 0       |
| B69 | 2L150X15/6/ | Beam | No Messages | 0.63327  | PMM | COMB TOT | 0       |
| B70 | 2L150X15/6/ | Beam | No Messages | 0.759444 | PMM | COMB TOT | 0       |
| B71 | 2L150X15/6/ | Beam | No Messages | 0.7606   | PMM | COMB TOT | 0       |
| B72 | 2L150X15/6/ | Beam | No Messages | 0.801335 | PMM | COMB TOT | 0       |
| B73 | 2L150X15/6/ | Beam | No Messages | 0.802382 | PMM | COMB TOT | 0       |
| B74 | 2L150X15/6/ | Beam | No Messages | 0.761679 | PMM | COMB TOT | 0       |
| B75 | 2L150X15/6/ | Beam | No Messages | 0.76112  | PMM | COMB TOT | 0       |
| B76 | 2L150X15/6/ | Beam | No Messages | 0.780522 | PMM | COMB TOT | 0       |
| B77 | 2L150X15/6/ | Beam | No Messages | 0.78006  | PMM | COMB TOT | 0       |
| B78 | 2L150X15/6/ | Beam | No Messages | 0.762996 | PMM | COMB TOT | 0       |
| B79 | 2L150X15/6/ | Beam | No Messages | 0.763528 | PMM | COMB TOT | 0       |
| B80 | 2L150X15/6/ | Beam | No Messages | 0.774329 | PMM | COMB TOT | 0       |
| B81 | 2L150X15/6/ | Beam | No Messages | 0.774924 | PMM | COMB TOT | 0       |
| B82 | 2L150X15/6/ | Beam | No Messages | 0.783202 | PMM | COMB TOT | 0       |
| B83 | 2L150X15/6/ | Beam | No Messages | 0.782049 | PMM | COMB TOT | 0       |
| B84 | 2L150X15/6/ | Beam | No Messages | 0.770356 | PMM | COMB TOT | 0       |
| B85 | 2L150X15/6/ | Beam | No Messages | 0.769447 | PMM | COMB TOT | 0       |
| B86 | 2L150X15/6/ | Beam | No Messages | 0.624947 | PMM | COMB TOT | 0       |
| B87 | 2L150X15/6/ | Beam | No Messages | 0.624735 | PMM | COMB TOT | 0       |
| B88 | 2L150X15/6/ | Beam | No Messages | 0.61562  | PMM | COMB TOT | 0       |
| B89 | 2L150X15/6/ | Beam | No Messages | 0.615843 | PMM | COMB TOT | 0       |
| B90 | 2L150X15/6/ | Beam | No Messages | 0.657263 | PMM | COMB TOT | 0       |
| B91 | 2L150X15/6/ | Beam | No Messages | 0.655595 | PMM | COMB TOT | 0       |
| B92 | 2L150X15/6/ | Beam | No Messages | 0.628769 | PMM | COMB TOT | 0       |

|     |             |      |             |          |     |          |         |
|-----|-------------|------|-------------|----------|-----|----------|---------|
| B93 | 2L150X15/6/ | Beam | No Messages | 0.627638 | PMM | COMB TOT | 0       |
| 34  | PARETI      | Beam | No Messages | 0.662803 | PMM | COMB TOT | 0       |
| 35  | PARETI      | Beam | No Messages | 0.671716 | PMM | COMB TOT | 0       |
| 36  | PARETI      | Beam | No Messages | 0.844613 | PMM | COMB TOT | 2.45455 |
| 37  | PARETI      | Beam | No Messages | 0.846741 | PMM | COMB TOT | 0       |
| 38  | PARETI      | Beam | No Messages | 0.846773 | PMM | COMB TOT | 0       |
| 39  | PARETI      | Beam | No Messages | 0.842716 | PMM | COMB TOT | 0       |
| 40  | PARETI      | Beam | No Messages | 0.665239 | PMM | COMB TOT | 0       |
| 41  | PARETI      | Beam | No Messages | 0.663314 | PMM | COMB TOT | 0.98182 |
| 42  | PARETI      | Beam | No Messages | 0.65697  | PMM | COMB TOT | 0       |
| 43  | PARETI      | Beam | No Messages | 0.664629 | PMM | COMB TOT | 0       |
| 44  | PARETI      | Beam | No Messages | 0.842433 | PMM | COMB TOT | 2.45455 |
| 45  | PARETI      | Beam | No Messages | 0.845359 | PMM | COMB TOT | 0       |
| 46  | PARETI      | Beam | No Messages | 0.845343 | PMM | COMB TOT | 0       |
| 47  | PARETI      | Beam | No Messages | 0.842411 | PMM | COMB TOT | 0       |
| 48  | PARETI      | Beam | No Messages | 0.662634 | PMM | COMB TOT | 0       |
| 49  | PARETI      | Beam | No Messages | 0.655887 | PMM | COMB TOT | 0.98182 |

### 7.3.2 Verifiche a fatica

Di seguito gli andamenti delle tensioni massime e minime, per gli elementi di parete, considerando i carichi accidentali amplificati con coefficiente dinamico:  $\Phi_3 = 1.02$



Si riportano le verifiche per le tensioni massime di ciascun elemento:

|               | Frame | Station | OutputCase | CaseType    | StepType | P       | M3     | spess | W       | σM   | area   | area netta | σN   | Ymf  | Δ6c | λ    | ks   | σed   | σlim  | test |
|---------------|-------|---------|------------|-------------|----------|---------|--------|-------|---------|------|--------|------------|------|------|-----|------|------|-------|-------|------|
|               | Text  | m       | Text       | Text        | Text     | KN      | KN-m   | mm    | m3      | MPa  | m2     | m2         | MPa  |      | MPa |      |      | MPa   | MPa   |      |
| diag. Inter.  | 10    | 0       | FATICA     | Combination | Max      | 2990.5  | 76.6   | 30    | 0.0254  | 3.0  | 0.0668 | 0.05       | 59.7 | 1.35 | 90  | 0.63 | 0.96 | 40.62 | 63.70 | ok   |
| diag. estrem. | 2     | 11      | FATICA     | Combination | Min      | -3104.8 | -217.4 | 40    | 0.0321  | 6.8  | 0.0824 | 0.06       | 50.2 | 1.35 | 90  | 0.67 | 0.89 | 40.43 | 59.28 | ok   |
| travi         | 85    | 0       | FATICA     | Combination | Max      | 3733.1  | 1406.4 | 30    | 0.0563  | 25.0 | 0.0828 | 0.06       | 60.1 | 1.35 | 90  | 0.63 | 0.96 | 62.85 | 63.70 | ok   |
| briglia sup   | 36    | 0       | FATICA     | Combination | Min      | -4259.7 | -28.5  | 30    | 0.0254  | 1.1  | 0.0668 | 0.05       | 85.0 | 1.35 | 90  | 0.63 | 0.96 | 54.69 | 63.70 | ok   |
| controventi   | B71   | 0       | FATICA     | Combination | Min      | -104.4  | -0.1   | 15    | 8.5E-05 | 1.2  | 0.0055 | 0.004      | 25.3 | 1.35 | 90  | 0.63 | 0.96 | 17.14 | 63.70 | ok   |

$$\sigma_{ed} = \sigma_M + \sigma_N \cdot \lambda$$

$$\sigma_{lim} = \sigma_c \cdot k_s / Y_{mf}$$

Le verifiche risultano soddisfatte

## 7.4 LONGHERINE

### 7.4.1 Verifiche di resistenza

È stato realizzato il modello di calcolo del singolo elemento avente luce di calcolo pari a 1.8 m per effettuare le verifiche allo SLU ed a fatica delle longherine.

Il coefficiente dinamico sarà pari a

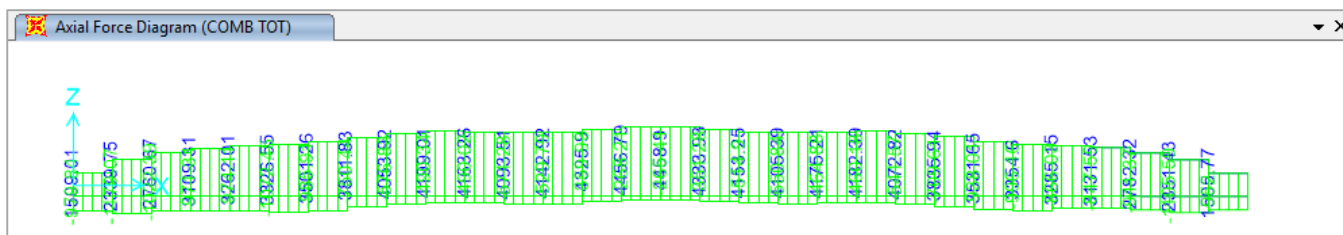
$$\Phi_3 = \frac{2.16}{\sqrt{L_\Phi} - 0.2} + 0.73 \quad \text{con la limitazione} \quad 1 \leq \Phi_3 \leq 2$$

con la lunghezza  $L_\Phi$  valutata secondo la Tabella 2.51.4.2.5.3.1:

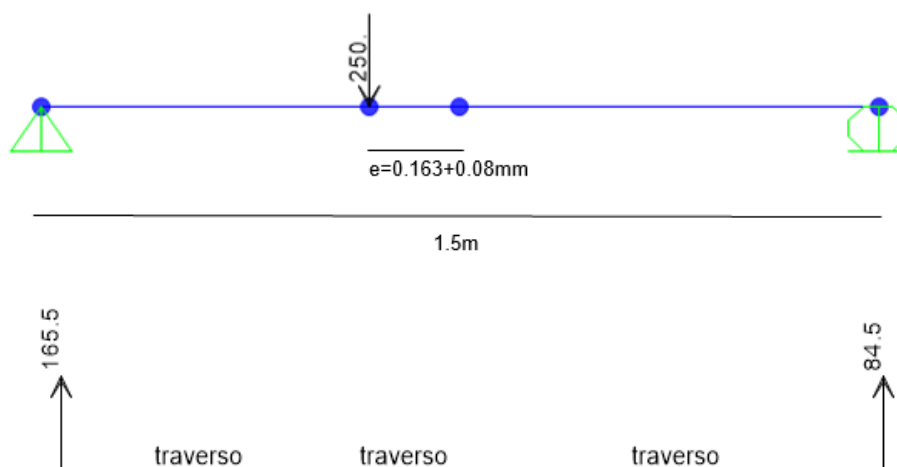
- Nervature longitudinali  $L_\Phi = 3 * 1.8 = 5.4 \text{ m}$ ;

$$\Phi_3 = 1.75$$

Dal modello globale si ricava il valore di TRAZIONE MAX (valore già amplificato del coefficiente di combinazione dei carichi) pari a 4459kN:

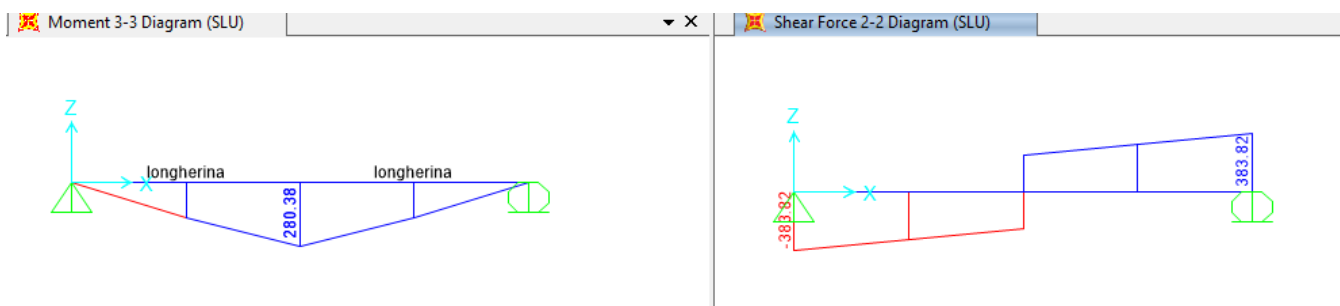


Dal modello locale applicando cautelativamente il carico concentrato relativo all'LM71 si ottiene la quota parte di carico verticale da applicare alla longherina tenendo conto delle eccentricità:



Alla reazione massima pari a  $165.5 \text{ KN} \cdot 1.1 \cdot 1.75$  (318.6kN), vanno sommati i carichi permanenti e la trazione da modello globale.

| Load Case Name | Load Case Type | Scale Factor |
|----------------|----------------|--------------|
| DEAD           | Linear Static  | 1.35         |
| DEAD           | Linear Static  | 1.35         |
| trazione       | Linear Static  | 1.           |
| LM71           | Linear Static  | 1.5          |
| PERM PORT      | Linear Static  | 1.35         |



| Caratteristiche del profilo |                    |         |
|-----------------------------|--------------------|---------|
| $A_{LORDA}$                 | $\text{cm}^2$      | 388.0   |
| $A_{anima}$                 | $\text{cm}^2$      | 208.0   |
| $W_x$                       | $\text{cm}^3$      | 12778.5 |
| $W_y$                       | $\text{cm}^3$      | 904.6   |
| Locali                      |                    |         |
| $M_x$                       | KNm                | 280.4   |
| $T_y$                       | kN                 | 384     |
| $\sigma_M$                  | $\text{N/mm}^2$    | 21.94   |
| $\tau_y$                    | $\text{N/mm}^2$    | 18.46   |
| Globali                     |                    |         |
| $N$                         | KN                 | 4459    |
| $\sigma_N$                  | $\text{N/mm}^2$    | 114.92  |
| $\sigma_{ID}$               | $\text{N/mm}^2$    | 140.6   |
| $\gamma_{M0} =$             | -                  | 1.05    |
| $f_{yk} =$                  | $\text{N/mm}^2$    | 355     |
| $f_{yd} =$                  | $\text{N/mm}^2$    | 338     |
| <b>Verifica</b>             | <b>soddisfatta</b> |         |



## 7.4.2 Verifiche a fatica

Come fatto per le verifiche di resistenza, si considerano gli effetti locali e globali;  
I carichi sono quelli da traffico.

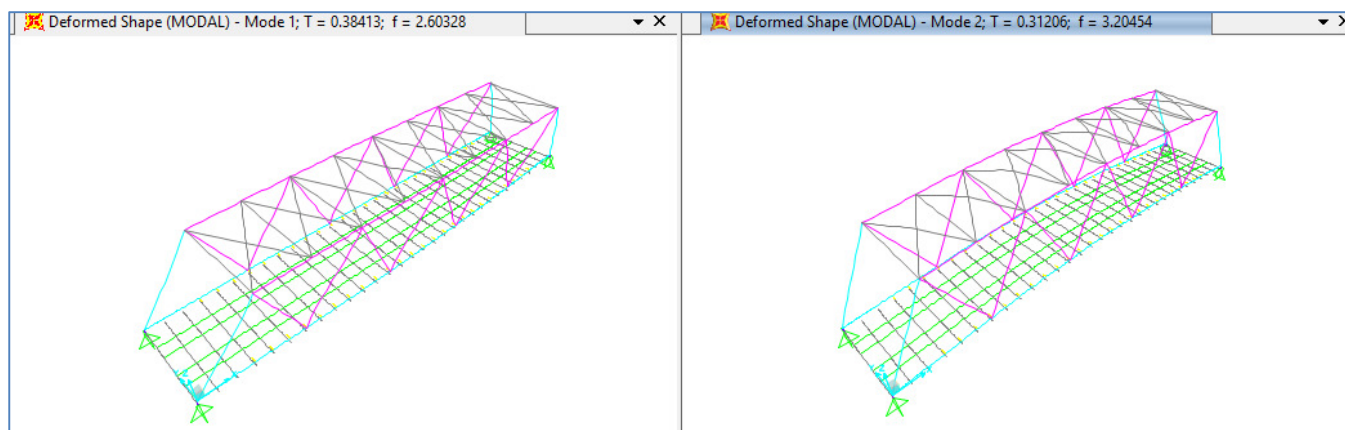
| VERIFICA A FATICA                                                                                                 |                   |       |                                                          |                   |       |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------|-------|----------------------------------------------------------|-------------------|-------|
| VERIFICA A FATICA - trasversi - verifica del profilo forato                                                       |                   |       |                                                          |                   |       |
| $\gamma_{Mf}$                                                                                                     | -                 |       | 1.35                                                     |                   |       |
| $\Delta\sigma_C$                                                                                                  | N/mm <sup>2</sup> |       | 125.00                                                   |                   |       |
| t                                                                                                                 | mm                |       | 30.00                                                    |                   |       |
| $k_s$                                                                                                             | -                 |       | 0.96                                                     |                   |       |
| $k_s \cdot \Delta\sigma_c / \gamma_{Mf}$                                                                          | N/mm <sup>2</sup> |       | 88.47                                                    |                   |       |
| <u>EFFETTI LOCALI</u>                                                                                             |                   |       | <u>EFFETTI GLOBALI</u>                                   |                   |       |
| $\lambda_1$                                                                                                       | -                 | 1.03  | $\lambda_1$                                              | -                 | 0.63  |
| $\lambda_2$                                                                                                       | -                 | 1.00  | $\lambda_2$                                              | -                 | 1.00  |
| $\lambda_3$                                                                                                       | -                 | 1.00  | $\lambda_3$                                              | -                 | 1.00  |
| $\lambda_4$                                                                                                       | -                 | 1.00  | $\lambda_4$                                              | -                 | 1.00  |
| $\lambda_{MAX}$                                                                                                   | -                 | 1.40  | $\lambda_{MAX}$                                          | -                 | 1.40  |
| $\lambda_{Ed}$                                                                                                    | -                 | 1.03  | $\lambda_{Ed}$                                           | -                 | 0.63  |
| $\lambda$                                                                                                         | -                 | 1.03  | $\lambda$                                                | -                 | 0.63  |
| $\phi_2 \cdot \Delta\sigma_{Ed}$                                                                                  | N/mm <sup>2</sup> | 15.03 | $\phi_2 \cdot \Delta\sigma_{Ed}$                         | N/mm <sup>2</sup> | 48.18 |
| $\lambda_{loc} \cdot \phi_2 \cdot \Delta\sigma_{Ed,loc}$                                                          | N/mm <sup>2</sup> | 15.48 | $\lambda_{glo} \cdot \phi_2 \cdot \Delta\sigma_{Ed,glo}$ | N/mm <sup>2</sup> | 30.35 |
| $\lambda_{loc} \cdot \phi_2 \cdot \Delta\sigma_{Ed,loc} + \lambda_{glo} \cdot \phi_2 \cdot \Delta\sigma_{Ed,glo}$ |                   |       | N/mm <sup>2</sup>                                        |                   | 45.83 |
| Verifica                                                                                                          |                   |       |                                                          | soddisfatta       |       |

| Caratteristiche del profilo forato |                   |          |
|------------------------------------|-------------------|----------|
| $A_{NETTA}$                        | m <sup>2</sup>    | 2.91E-02 |
| $W_{x,NETTA}$                      | m <sup>3</sup>    | 9.58E-03 |
| $W_{y,NETTA}$                      | m <sup>3</sup>    | 6.78E-04 |
| Tensioni - LM71                    |                   |          |
| N                                  | KN                | 1402     |
| $M_x$                              | KNm               | 144      |
| $\sigma_N$                         | N/mm <sup>2</sup> | 48.18    |
| $\sigma_{Mx}$                      | N/mm <sup>2</sup> | 15.03    |
| $\sigma_{tot}$                     | N/mm <sup>2</sup> | 63.20    |

Le verifiche risultano soddisfatte.

## 8 ANALISI MODALE

L'analisi modale effettuata con programma di calcolo Sap2000, fornisce le frequenze proprie di vibrare dell'impalcato in esame: la prima è traslazionale, la seconda flessionale verticale.



L'analisi è stata condotta verificando che il numero totale di mdv consentisse l'eccitazione dell'85% della massa in tutte le componenti di spostamento.

### 8.1 Verifica della prima frequenza flessionale

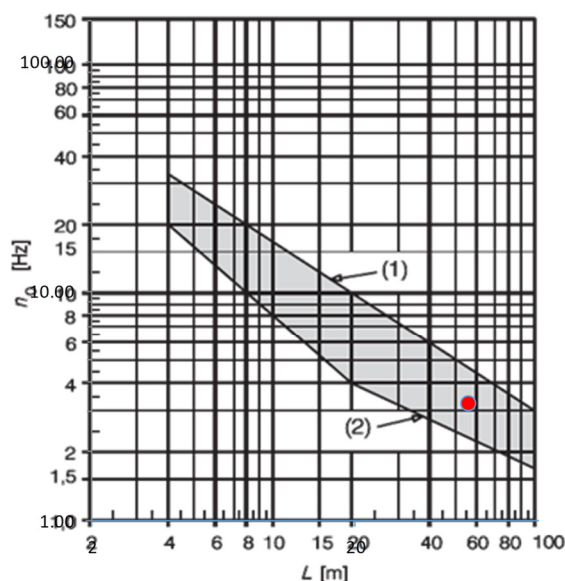
Considerando la prima frequenza propria flessionale dell'impalcato, si valuta la necessità o meno di effettuare analisi dinamiche piuttosto che statiche, in base alle indicazioni del **RFI DTC INC PO SP IFS 001 A** § 1.4.2.4., verificando che essa ricada nel fuso dei *Limiti della frequenza naturale del ponte  $n_0$  [Hz] in funzione di L [m]*:

|   |    |   |
|---|----|---|
| L | 54 | m |
|---|----|---|

|            |      |    |
|------------|------|----|
| $\delta_0$ | 29.7 | mm |
| $N_0$      | 3.26 | Hz |

$\delta_0$  è la freccia in mezz'aria dovuta alle azioni permanenti

$N_0$  è la prima frequenza naturale flessionale del ponte



(1) Limite superiore della frequenza naturale

(2) Limite inferiore della frequenza naturale

|     |      |    |
|-----|------|----|
| (1) | 4.80 | Hz |
| (2) | 2.22 | Hz |

Per un impalcato a trave semplicemente appoggiata risulta:

- $L = 54m$ ;
- $n_0 = \frac{17.75}{\sqrt{\delta_0}} = \frac{17.75}{\sqrt{21}} = 3.26 \text{ Hz}$

La frequenza  $n_0$  risulta compresa tra i limiti del fuso. Non risulta pertanto necessaria l'analisi dinamica della struttura in oggetto.

## 9 VERIFICHE SLE

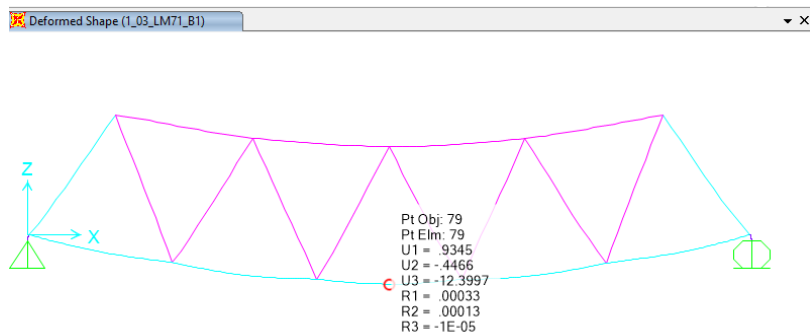
### 9.1 Verifiche dell'inflessione impalcato nel piano verticale

È stata verificata l'inflessione nel piano verticale dell'impalcato.

Sono stati considerati agenti i treni di carico LM71 e SW2 incrementati con il corrispondente coefficiente dinamico e con il coefficiente  $\alpha$ .

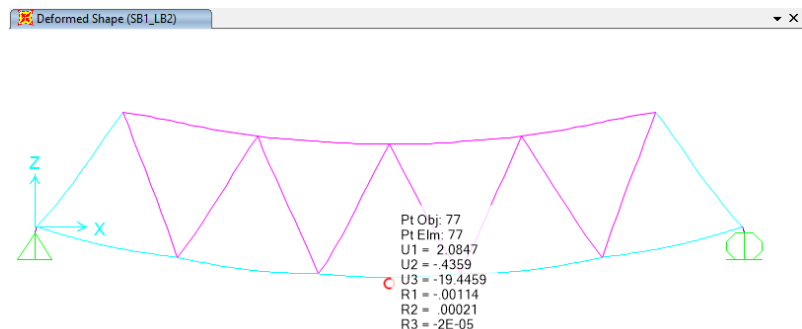
#### LM71

Abbassamento  $12.4 < L/1000 = 54 \text{ mm}$



#### SW2 + LM71

Abbassamento  $19.5 \text{ mm} < L/600 = 90 \text{ mm}$



### Stati limite per il comfort dei passeggeri

$$\delta_v = 12.4 \text{ mm}$$

$$L / \delta_v = 54000 / 12.4 * 0.7 = 3048.4 > 1000$$

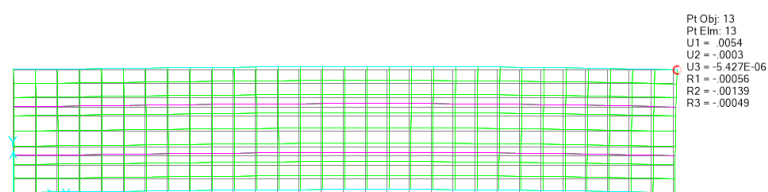
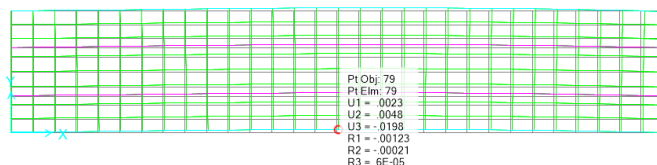
## 9.2 Verifiche dell'inflessione impalcato nel piano orizzontale

Considerando la presenza del treno di carico LM71, incrementato con il corrispondente coefficiente dinamico e con il coefficiente  $\alpha$ , l'azione del vento, la forza laterale (serpeggio), la forza centrifuga e gli effetti della variazione di temperatura lineare fra i due lati dell'impalcato stabilita al §5.2.2.4, l'inflessione nel piano orizzontale dell'impalcato non deve produrre:

- una variazione angolare maggiore di quella fornita nella successiva Tab. 5.2.VIII;
- un raggio di curvatura orizzontale minore dei valori di cui alla citata tabella.

**Tabella 5.2.VIII - Massima variazione angolare e minimo raggio di curvatura**

| Velocità<br>[km/h] | Variazione<br>Angolare<br>massima | Raggio minimo di curvatura |             |
|--------------------|-----------------------------------|----------------------------|-------------|
|                    |                                   | Singola campata            | Più campate |
| $V \leq 120$       | 0,0035 rd                         | 1700 m                     | 3500 m      |
| $120 < V \leq 200$ | 0,0020 rd                         | 6000 m                     | 9500 m      |
| $200 < V$          | 0,0015 rd                         | 14000 m                    | 17500 m     |



Ipotizzando una massima velocità di percorrenza del ponte risulta pari a 160 Km/h, è stato verificato che:

$$\text{Raggio di curvatura: } R = \frac{L^2}{8 \cdot \delta_h}$$

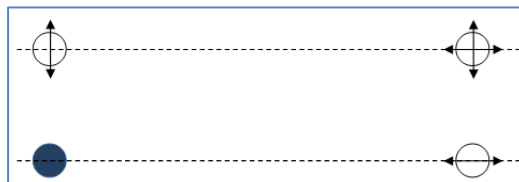
$$\delta_h = 4.8 \text{ mm}$$

$$\text{RAGGIO MINIMO DI CURVATURA: } R = 75937.5 \text{ m} > 6000 \text{ m}$$

$$\text{VARIAZIONE ANGOLARE MASSIMA: } 0.00139 < 0.002 \text{ rad}$$

## 10 REAZIONI VINCOLARI

Lo schema dei vincoli della travata metallica è il seguente:



Apparecchio di appoggio di tipo fisso, F



Apparecchio di appoggio di tipo unidirezionale disposto in direzione trasversale, UT



Apparecchio di appoggio di tipo unidirezionale disposto in direzione longitudinale, UL



Apparecchio di appoggio di tipo unidirezionale disposto in direzione trasversale, M

I carichi massimi, verticali ed orizzontali, si riportano sinteticamente nella tabella di seguito.

COMB TOT = INVILUPPO\_SLU + PERMANENTI (G1+G2)

INVILUPPO\_SLU è l'inviluppo delle 15 combinazioni SLU definite al paragrafo 5.6.

| TABLE: Joint Reactions |            |             |          |         |         |         |      |      |      |
|------------------------|------------|-------------|----------|---------|---------|---------|------|------|------|
| Joint                  | OutputCase | CaseType    | StepType | F1      | F2      | F3      | M1   | M2   | M3   |
| Text                   | Text       | Text        | Text     | KN      | KN      | KN      | KN-m | KN-m | KN-m |
| F                      | COMB TOT   | Combination | Max      | -513.3  | -452.5  | 10989.5 | 0    | 0    | 0    |
| F                      | COMB TOT   | Combination | Min      | -4540.5 | -2475.6 | 6024.1  | 0    | 0    | 0    |
| F                      | SISMA      | Combination | Max      | 2514.0  | 1899.2  | 682.0   | 0    | 0    | 0    |
| F                      | SISMA      | Combination | Min      | -2514.0 | -1899.2 | -682.0  | 0    | 0    | 0    |
| M                      | COMB TOT   | Combination | Max      | 0.0     | 0.0     | 11443.1 | 0    | 0    | 0    |
| M                      | COMB TOT   | Combination | Min      | 0.0     | 0.0     | 6492.5  | 0    | 0    | 0    |
| M                      | SISMA      | Combination | Max      | 0.0     | 0.0     | 567.7   | 0    | 0    | 0    |
| M                      | SISMA      | Combination | Min      | 0.0     | 0.0     | -567.7  | 0    | 0    | 0    |
| UL                     | COMB TOT   | Combination | Max      | 0       | -259.7  | 11089.9 | 0    | 0    | 0    |
| UL                     | COMB TOT   | Combination | Min      | 0       | -1719.0 | 6092.5  | 0    | 0    | 0    |
| UL                     | SISMA      | Combination | Max      | 0       | 1260.5  | 618.2   | 0    | 0    | 0    |
| UL                     | SISMA      | Combination | Min      | 0       | -1260.5 | -618.2  | 0    | 0    | 0    |
| UT                     | COMB TOT   | Combination | Max      | 2078.8  | 0.0     | 11521.1 | 0    | 0    | 0    |
| UT                     | COMB TOT   | Combination | Min      | -1773.3 | 0.0     | 6518.8  | 0    | 0    | 0    |
| UT                     | SISMA      | Combination | Max      | 2567.1  | 0.0     | 643.1   | 0    | 0    | 0    |
| UT                     | SISMA      | Combination | Min      | -2567.1 | 0.0     | -643.1  | 0    | 0    | 0    |

|                                          |              |    |
|------------------------------------------|--------------|----|
| carico VERTICALE appoggi MAX             | <b>11600</b> | kN |
| carico ORIZZONTALE appoggi MAX (sismica) | <b>4600</b>  | kN |